

# UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA

## FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

### PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA  
PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO  
LAS GUIAS AASHTO 93 Y AASHTO 2008 EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM  
2+100 HASTA KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO –  
AREQUIPA”**

#### **TOMO I**

Tesis presentada por Bachiller:

**MARINA VANESSA GONZALES GONZALES.**

Para Optar El Titulo Profesional de Ingeniero Civil.

**Arequipa – Perú**

**2014**

## DEDICATORIA

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

*A mis hermanos Licette, Julia y Pedro, por todos los consejos, el apoyo y la ayuda que siempre me dan, no los cambiaría por nada del mundo.*

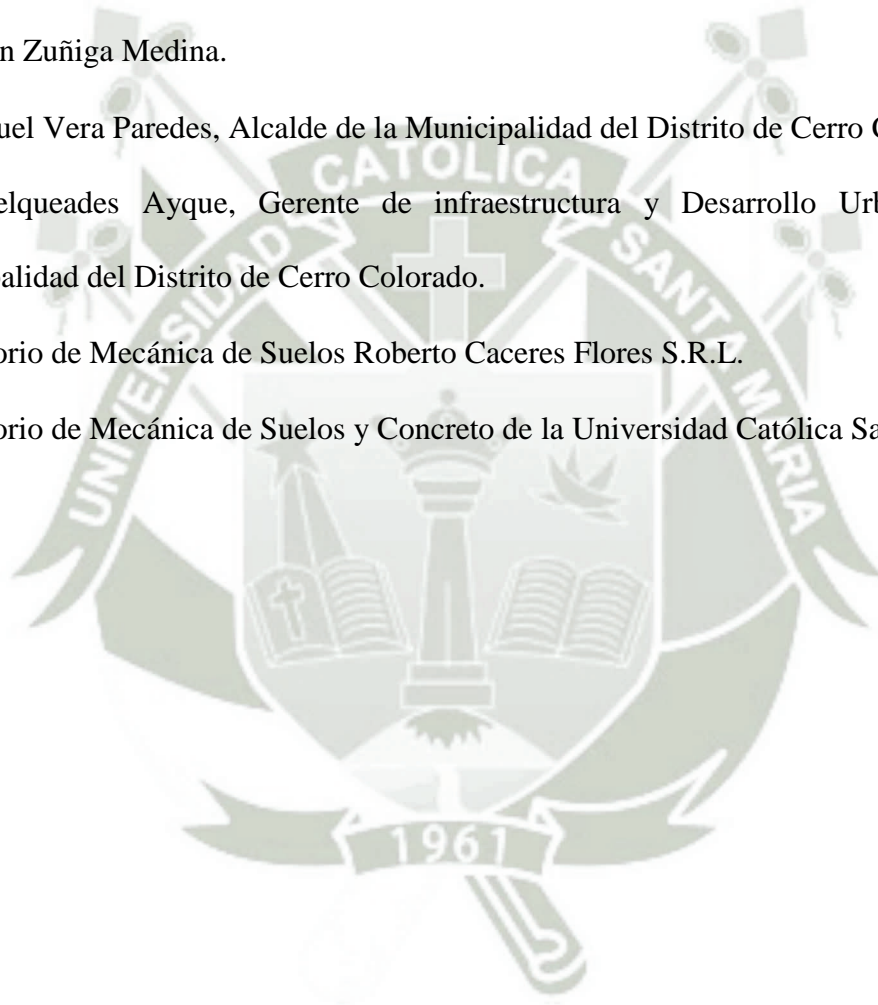
*A Ruben por acompañarme durante todo este arduo camino, por la paciencia, el buen humor y por compartir conmigo las alegrías y penas.*

*A la memoria de mis abuelos Pedro, Julia y Manuel, personas que influyeron mucho en mi vida y a quienes recuerdo con mucho cariño.*

*Para uds.*

## AGRADECIMIENTOS

- Mst. Ing. Oscar Víctor Cordo, Docente de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan – Argentina.
- Mst. Esp. Ing. Ruben Gamarra Tuco.
- Director Regional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ing. Sebastián Zuñiga Medina.
- Sr. Manuel Vera Paredes, Alcalde de la Municipalidad del Distrito de Cerro Colorado.
- Ing. Melqueades Ayque, Gerente de infraestructura y Desarrollo Urbano de la Municipalidad del Distrito de Cerro Colorado.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos Roberto Caceres Flores S.R.L.
- Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Universidad Católica Santa Maria.



## RESUMEN

La Universidad Católica de Santa María (UCSM) a través del Programa Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente y la autora de este tema de tesis, han desarrollado el presente estudio, el que se refiere a la determinación de un plan de mantenimiento para pavimentos, mediante la comparación de diseños de pavimentos utilizando las guías AASHTO 93 y AASHTO 2008, en la Av. Aviación desde el km 2+100 hasta km 6+300, Carril Derecho, Cerro Colorado – Arequipa.

Así, se realizó un muestreo y análisis de la estructura de pavimento existente de la Av. Aviación, realizando 2 tipos de evaluaciones: Destructiva y no destructiva, se realizó también el estudio del tránsito y con todos estos datos se realizó el diseño con las guías de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2008, teniendo en cuenta que el diseño con la guía AASHTO 93 fue un diseño en retrospectiva del 2012 al 2004 para comprobar el diseño original y el diseño con la guía AASHTO 2008 se utilizó para calibrar el programa MEPDG que es el programa que rige este diseño.

Al obtener esta calibración se logró determinar el deterioro acumulado para los años de servicio de esta estructura de pavimento, obteniendo así el plan de mejoramiento y mantenimiento para la estructura en estudio.

## SUMMARY

The Catholic University of Santa Maria (UCSM) through the Civil Engineering Professional Program of the School of Architecture and Civil Engineering and the Environment and the author of this thesis topic, have developed the present study, which concerns the determination of a pavement maintenance plan, by comparing pavement designs using AASHTO guidelines and AASHTO 93 2008 in Aviation Avenue from km 2 +100 to km 6 +300, Right lane, Cerro Colorado - Arequipa.

Thus , we conducted sampling and analysis of the existing pavement structure Aviation Avenue , carrying two types of evaluations: Destructive and non-destructive , the study was also conducted traffic and all these data was performed with design guidelines 93 and AASHTO design AASHTO 2008 , considering that the design guide 93 AASHTO design was retrospective from 2012 to 2004 to check the original design and the design with the 2008 AASHTO guide was used to calibrate the MEPDG program is governs this design program .

By obtaining this calibration it was determined the cumulative impairment for the years of service this pavement structure, thus obtaining the improvement and maintenance plan for the structure under study.

## INTRODUCCION

Se sabe que Arequipa es una ciudad en la cual los últimos años ha tenido un desarrollo relativamente alto, en lo que refiere a la población, economía y construcción, es por ello que el parque automotor tiene también un crecimiento de igual magnitud por lo que exige diseños de pavimentos con un plan de mantenimiento para su vida útil.

Es por ello que se realizaron los trabajos de calibración preliminar del programa MEPDG a condiciones locales, con el estudio y análisis de la estructura de pavimento en la Av. Aviación.

Se describió a detalle el diseño del expediente técnico de la Av. Aviación, analizando también los ensayos de las evaluaciones de control de calidad realizados en la construcción del pavimento.

Es necesario conocer todas las características reales de la estructura del pavimento en estudio, es decir evaluación de capas de la estructura, materiales, estado actual de la vía, es decir índice de rugosidad, deflexión característica y tipos de fallas existentes, todos estos datos serán utilizados tanto en la Guía de diseño AASHTO 1993 y AASHTO 2008.

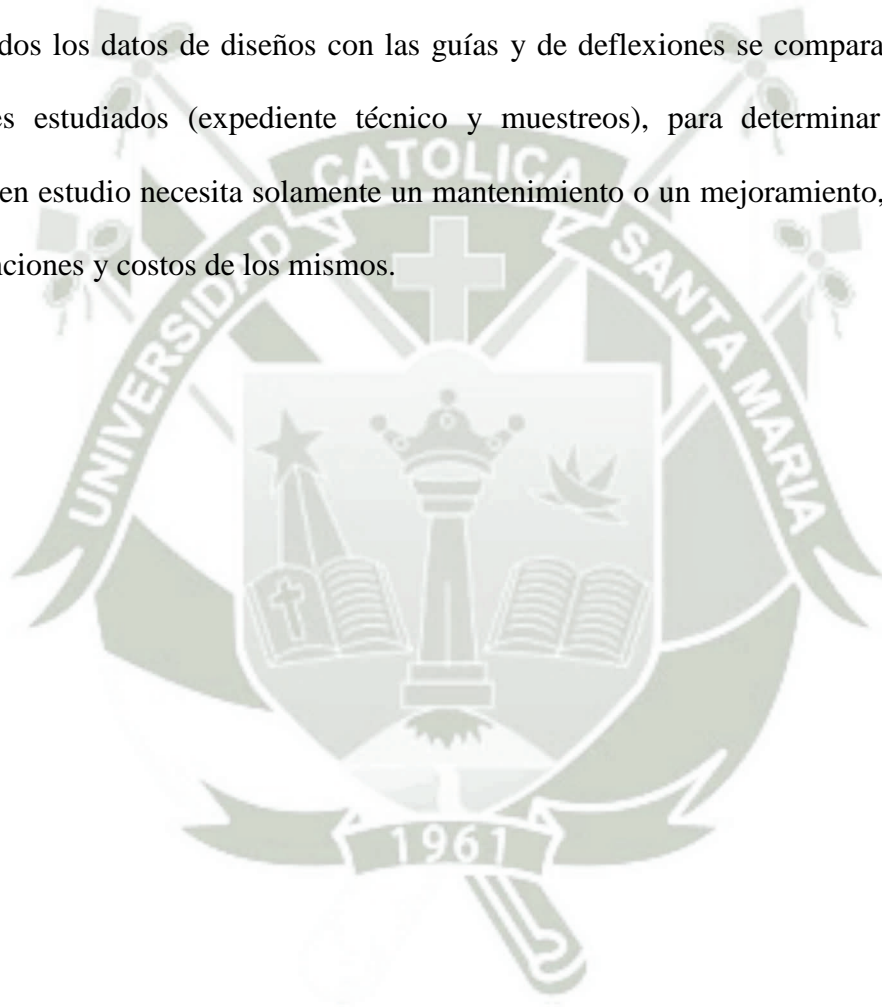
Con los datos reales encontrados en los ensayos de materiales y realizando un estudio del tránsito se calculó el número estructural necesario de la estructura de pavimento con la guía de diseño AASHTO 1993, demostrando así mediante la comparación de diseño con el diseño real de la estructura si este está súper-dimensionado o sub-dimensionado.

Aplicando los datos y estudios de materiales hallados se ingresó al programa MEPDG, que es el programa que rige la guía de diseño AASHTO 2008, y comparando los resultados de deterioros con los estudios de deterioros realizados en el muestreo y análisis, se realizó una

calibración preliminar con la cual se podrá obtener modelos de deterioros a condiciones locales para diseño de pavimentos flexibles nuevos o rehabilitados.

Se obtuvieron los resultados de deflexiones con el ensayo de la Viga Benkelman, comparando esta deflexión característica con las deflexiones admisibles para cada carga de tránsito calculada, es decir para la carga de tránsito de diseño en el año 2004 y para la carga de tránsito hallada del 2012 al 2004.

Al tener todos los datos de diseños con las guías y de deflexiones se compararon con los datos reales estudiados (expediente técnico y muestreos), para determinar si nuestro pavimento en estudio necesita solamente un mantenimiento o un mejoramiento, analizando las intervenciones y costos de los mismos.



## INDICE

	Pag.
Dedicatorias.	01
Agradecimientos.	02
Resumen.	03
Introducción.	05
Índice.	07
Índice de tablas.	10
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO.</b>	
1.1. Pavimento Flexible.	13
1.2. Teorías para el diseño de pavimentos flexibles.	14
1.3. Líneas de diseño para pavimentos flexibles.	15
1.4. Mantenimiento en pavimentos flexibles.	16
1.4.1. Definición de mantenimiento.	16
1.4.2. Tipos de mantenimiento.	16
1.4.3. Fallas en pavimentos flexibles.	18
1.4.4. Mantenimiento de acuerdo al tipo de falla.	19
<b>CAPITULO II: DESCRIPCION, DISEÑO Y EVALUACION DEL PROYECTO EN ESTUDIO.</b>	
2.1. Memoria descriptiva.	21
2.2. Localización y ubicación.	21
2.3. Descripción del proyecto.	23
2.4. Diseño de pavimento flexible AASHTO 1993 del proyecto.	24
2.4.1. Diseño final de la estructura del pavimento.	25
2.5. Diseño de mezcla asfáltica.	25
2.6. Control de calidad.	27
<b>CAPITULO III: MUESTREO Y ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA.</b>	
3.1. Determinación del tramo a evaluar.	30
3.2. Evaluación destructiva del pavimento.	31
3.2.1. Espesores de capas.	31
3.2.2. Clasificación granulométrica.	32
3.2.3. Ensayo de compactación.	32
3.2.4. Ensayo de CBR (California Bearin Ratio).	33
3.2.5. Perfil estratigráfico.	34
3.2.6. Lavado Asfaltico	34
3.2.7. Análisis granulométrico del agregado de la mezcla.	35
3.2.8. Peso unitario del asfalto.	37
3.3. Evaluación no destructiva del pavimento.	38
3.3.1. Ensayo del Rugosímetro de MERLIN.	38
3.3.2. Relevamiento de deterioro de pavimento.	41
3.3.3. Ensayo de la viga BENKELMAN.	44
<b>CAPITULO IV: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 1993 ACTUALIZADO.</b>	
4.1. Clima - drenaje.	54
4.2. Tránsito.	61
4.2.1. Determinación del sentido de máxima demanda.	61
4.2.2. Determinación del volumen horario y transito medio diario anual para el 2012.	62
4.2.3. Determinación de la tasa de crecimiento.	67
4.2.4. Determinación del tránsito medio diario anual al 2004.	70
4.2.5. Determinación de la composición del tránsito.	71
4.2.6. Determinación de los factores de distribución por dirección y carril.	72
4.2.7. Determinación del periodo de análisis.	73
4.2.8. Determinación del número total de repeticiones de ejes equivalentes.	73

4.4.	Subrasante.	91
4.5.	Confiabilidad.	94
4.6.	Desviación estándar.	95
4.7.	Determinación del número estructural requerido.	96
4.8.	Determinación de espesores.	96
4.9.	Propuesta de diseño.	97

**CAPITULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 2008.**

5.1.	Diseño de pavimento flexible AASHTO 2008.	99
5.2.	Estructuras y componentes del diseño mecánico - empírico.	99
5.3.	Beneficios del procedimiento mecánico - empírico.	100
5.4.	Jerarquía de los parámetros de diseño.	100
5.5.	Diseño de pavimentos flexibles.	101
5.5.1.	Procesamiento de datos de entradas a través del periodo de diseño.	101
5.5.2.	Modelo de respuesta estructural.	102
5.5.3.	Acumulación de daño incremental.	103
5.5.4.	Predicción del deterioro.	103
5.6.	Datos para el diseño de pavimentos flexibles.	104
5.6.1.	Información general.	104
5.6.2.	Ubicación del proyecto.	105
5.6.3.	Parámetros de análisis.	105
5.6.4.	Tránsito.	108
5.6.5.	Clima.	119
5.6.6.	Estructura del pavimento.	120
5.9.	Resultados.	127

**CAPITULO VI: COMPARACION DE RESULTADOS Y CALIBRACION PRELIMINAR DEL PROGRAMA MEPDG.**

6.1.	Calibración.	135
6.2.	Procedimiento de calibración local o regional preliminar.	135
6.3.	Comparación de fallas calculadas y relevadas.	137
6.4.	Análisis de sensibilidad de las ecuaciones de falla.	140
6.4.1.	Análisis de sensibilidad ecuación de agrietamiento por fatiga.	140
6.4.2.	Análisis de sensibilidad ecuación de agrietamiento transversal o térmico.	147
6.4.3.	Análisis de sensibilidad ecuación de ahuellamiento.	149
6.5.	Calibración preliminar en el programa.	155
6.6.	Resultados del programa calibrado.	155
6.7.	Propuesta de diseño.	156
6.7.1.	Espesores a analizar.	157
6.7.2.	Ingreso de los materiales.	157
6.7.3.	Resultados del programa calibrado.	158

**CAPITULO VII: DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR EL METODO DE DEFLEXIONES.**

7.1.	Deflectometría y sus usos.	162
7.2.	Determinación de la deflexión característica.	164
7.3.	Determinación de la deflexión admisible.	164
7.3.1.	Método del instituto del asfalto.	166
7.3.2.	Método de criterio de california.	167

**CAPITULO VIII: ANALISIS E INTERPRETACION DE METODOLOGIAS DE DISEÑO.**

8.1.	Análisis AASHTO 1993.	168
8.2.	Análisis AASHTO 2008 calibrado.	170
8.3.	Análisis de deflexiones.	171
8.4.	Índice de rugosidad.	173
8.5.	Comparación de los materiales.	175

8.5.1.	Granulometría.	175
8.5.2.	Porcentaje de asfalto.	176
8.6.	Determinación del plan de trabajo.	176

**CAPITULO IX: DETERMINACION DEL REFUERZO.**

9.1.	Refuerzo estructural.	178
9.2.	Diseño de refuerzo según método AASHTO 1993.	178
9.2.1.	Inspección visual.	184
9.2.1.	Vida remanente.	187
9.3.	Diseño de refuerzo según método AASHTO 2008.	190
9.3.1.	Información general.	196
9.3.2.	Ubicación del proyecto.	191
9.3.3.	Parámetro de análisis.	191
9.3.4.	Tránsito.	191
9.3.5.	Clima.	194
9.3.6.	Estructura del pavimento.	195
9.3.7.	Coefficientes de calibración.	198
9.3.8.	Resultados.	198
9.4.	Diseño de refuerzo según método del Instituto del Asfalto.	201
9.4.1.	Método de diseño empírico por medida de deflexión.	201
9.4.2.	Factor de ajuste por temperatura.	202
9.4.3.	Factor de ajuste por periodo crítico.	206
9.4.4.	Deflexión de diseño.	207
9.4.5.	Determinación del espesor de refuerzo.	208
9.5.	Comparación de los métodos y elección del espesor de diseño.	209

**CAPITULO X: PLAN DE MEJORAMIENTO**

10.1.	Determinación de las intervenciones totales según relevamiento actual de fallas.	211
10.2.	Determinación de las partidas a ejecutar.	215
10.3.	Determinación de los metrados para las partidas a ejecutar.	216
10.4.	Especificaciones técnicas.	217
10.5.	Determinación de los análisis de costos unitarios de las partidas a ejecutar.	218
10.6.	Determinación del costo total del mejoramiento.	218

**CAPITULO XI: PLAN DE MANTENIMIENTO.**

11.1	Plan de mantenimiento.	219
11.2.	Estrategia para tratamiento de fisuras y grietas.	220
11.2.1.	Determinación del número de intervenciones a lo largo del periodo de diseño.	220
11.2.2.	Determinación de partidas.	227
11.2.3.	Determinación de metrados.	227
11.2.4.	Especificaciones técnicas.	228
11.2.5.	Determinación de costos unitarios.	228
11.2.6.	Determinación del costo actual de la estrategia.	228
11.3.	Estrategia tratamiento superficial con Slurry Seal o lechada asfáltica.	229
11.3.1.	Determinación de partidas.	230
11.3.2.	Determinación de metrados.	230
11.3.3.	Especificaciones técnicas.	231
11.3.4.	Determinación de costos unitarios.	231
11.3.5.	Determinación del costo total actual de la estrategia.	232
11.4.	Determinación del plan de mantenimiento.	232

**CONCLUSIONES.** 235

**RECOMENDACIONES.** 240

**Bibliografía.**

**Anexos.**

**Planos.**

**INDICE DE TABLAS.**

	<b>Pag.</b>
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO.</b>	
Tabla 1.1. Mantenimiento de acuerdo al nivel de cada tipo de falla.	19
<b>CAPITULO II: DESCRIPCION, DISEÑO Y EVALUACION DEL PROYECTO EN ESTUDIO.</b>	
Tabla 2.1. Partidas de la ejecución del proyecto.	23
Tabla 2.2. Resumen de datos.	24
Tabla 2.3. Calculo de números estructurales.	24
Tabla 2.4. Espesores asumidos.	25
Tabla 2.5. Diseño final.	25
Tabla 2.6. Parámetros de diseño.	26
Tabla 2.7. Granulometría diseño de mezclas.	26
Tabla 2.8. Resumen de ensayo CBR.	27
Tabla 2.9. Comparación de la granulometría en la mezcla asfáltica.	27
Tabla 2.10. Resumen de los resultados del % de asfalto.	28
Tabla 2.11. Resumen ensayo Marshall.	29
Tabla 2.11. Resumen de ensayo de compactación del asfalto.	29
<b>CAPITULO III: MUESTREO Y ANALISIS DE LA ESTRUCTURA ASFALTICA.</b>	
Tabla 3.1. Espesores de capas estructurales del pavimento.	31
Tabla 3.2. Resumen de resultados granulométricos base y subrasante.	32
Tabla 3.3. Resumen de ensayos de compactación (densidad máxima y humedad relativa).	33
Tabla 3.4. Resumen de ensayos de CBR.	33
Tabla 3.5. Porcentaje de asfalto.	35
Tabla 3.6. Granulometría del agregado de asfalto.	35
Tabla 3.7. Comparación de la granulometría del agregado de asfalto.	36
Tabla 3.8. Peso unitario del asfalto.	37
Tabla 3.9. Resumen cálculos de IRI.	40
Tabla 3.10. Tipos de fallas para pavimentos flexibles según el LTPP.	41
Tabla 3.11. Resumen del metrado de fallas.	44
Tabla 3.12. Datos tomados en el ensayo de la viga Benkelman.	45
Tabla 3.13. Valores de deflexión característica.	50
Tabla 3.14. Calculo de deflexiones y radio de curvatura.	51
Tabla 3.15. Valores de deflexiones calculadas.	52
<b>CAPITULO IV: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 1993 ACTUALIZADO.</b>	
Tabla 4.1. Cantidad de agua que puede drenar por gravedad.	58
Tabla 4.2. Vehículos por día sentido de bajada (carril izquierdo)	61
Tabla 4.3. Vehículos por día sentido de subida (carril derecho)	62
Tabla 4.4. Volumen diario de transito de carril de diseño.	65
Tabla 4.5. PBI Anual de Arequipa.	68
Tabla 4.6. Parque vehicular estimado en Arequipa.	69
Tabla 4.7. Composición del tránsito en porcentaje y número de vehículos al 2004.	71
Tabla 4.8. Factor de distribución por carril.	72
Tabla 4.9. Periodo de análisis.	73
Tabla 4.10. Serviciabilidad según AASHTO.	79
Tabla 4.11. Estabilidad Marshall.	80
Tabla 4.12. Resumen de los ensayos CBR a la base y subrasante.	82
Tabla 4.13. Esquema y carga por eje por tipo de vehículo.	85

Tabla 4.14.	Determinación del número de ejes por tipo de vehículo.	86
Tabla 4.15.	Número de ejes totales de acuerdo a pesos y tipos de ejes.	87
Tabla 4.16.	EALF según peso y tipo de eje.	88
Tabla 4.17.	ESAL o W18.	89
Tabla 4.18.	Percentil de diseño en función al W18.	91
Tabla 4.19.	Percentil de diseño.	92
Tabla 4.20.	CBR de diseño.	92
Tabla 4.21.	Niveles de confiabilidad sugerida para distintos caminos.	94
Tabla 4.22.	Valores de Zr para distintas confiabilidades.	95
Tabla 4.23.	Valores de So para distintas condiciones de diseño.	95
Tabla 4.24.	Paquete estructural propuesto en 2 capas y mismo material.	97
Tabla 4.25.	Paquete estructural propuesto en 3 capas.	98

**CAPITULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 2008.**

Tabla 5.1.	Niveles de confiabilidad.	106
Tabla 5.2.	Equivalencia entre categorías FHWA y MTC.	108
Tabla 5.3.	Composición del tránsito.	109
Tabla 5.4.	Equivalencias de vehículos livianos a camión 3E.	110
Tabla 5.5.	Cantidad de vehículos livianos a camión 3E.	110
Tabla 5.6.	Cantidad total de vehículos.	110
Tabla 5.7.	Distribución vehicular por tipo de vehículo según FHWA.	111
Tabla 5.8.	Porcentaje de distribución de vehículos.	112
Tabla 5.9.	Variación del porcentaje horario del volumen de tránsito.	113
Tabla 5.10.	Cargas por ejes en toneladas y libras para cada clase de vehículo.	114
Tabla 5.11.	Ejemplo de conteo de cargas.	115
Tabla 5.12.	Número de eje por tipo y clase de camión.	117
Tabla 5.13.	Granulometría base granular.	124
Tabla 5.14.	Granulometría subrasante.	125
Tabla 5.15.	Datos de ingreso Creep compliance.	126
Tabla 5.16.	Resumen de resultados.	128
Tabla 5.17.	Resumen del daño predicho por año.	129
Tabla 5.18.	Resumen de la predicción detallada del agrietamiento por fatiga por año.	130
Tabla 5.19.	Resumen de la predicción detallada del agrietamiento transversal.	132
Tabla 5.20.	Resumen de la predicción detallada del ahuellamiento.	133

**CAPITULO VI: COMPARACION DE RESULTADOS Y CALIBRACION PRELIMINAR DEL PROGRAMA MEPDG.**

Tabla 6.1.	Resultados del relevamiento de fallas.	138
Tabla 6.2.	Resultados de deterioro al 8vo año de vida del pavimento.	139
Tabla 6.3.	Comparación de resultados de deterioros.	139
Tabla 6.4.	Resultados modificando el coeficiente Bf1.	140
Tabla 6.5.	Resultados modificando el coeficiente Bf2.	141
Tabla 6.6.	Resultados modificando el coeficiente Bf3.	142
Tabla 6.7.	Resumen de variación del agrietamiento longitudinal.	143
Tabla 6.8.	Resumen de variación de agrietamiento de piel de cocodrilo.	144
Tabla 6.9.	Resumen de variación del índice de rugosidad IRI.	145
Tabla 6.10.	Coefficientes de calibración más cercanos.	146
Tabla 6.11.	Resumen de variación del agrietamiento transversal.	148
Tabla 6.12.	Resumen de variación del ahuellamiento e IRI con Br1.	150

Tabla 6.13.	Resumen de variación del ahuellamiento e IRI con Br2.	151
Tabla 6.14.	Resumen de variación del ahuellamiento e IRI con Br3.	153
Tabla 6.15.	Resumen de resultados.	156
Tabla 6.16.	Resumen de resultados programa calibrado.	158
Tabla 6.17.	Análisis de propuestas de estructuras de pavimentos.	159
Tabla 6.18.	Resumen de resultados propuesta de diseño elegida.	160
Tabla 6.19.	Comparación de resultados afectado por la confiabilidad.	161
Tabla 6.20.	Resumen de resultado propuesta elegida y confiabilidad corregida.	161

**CAPITULO VIII: ANALISIS E INTERPRETACION DE METODOLOGIAS DE DISEÑO.**

Tabla 8.1.	Comparación de datos y resultados AASHTO 93	168
Tabla 8.2.	Comparación estructura del pavimento.	168
Tabla 8.3.	Revisión de resultados con los cambios de confiabilidades.	170
Tabla 8.4.	Comparación de resultados AASHTO 2008.	170
Tabla 8.5.	Clasificación del pavimento según la serviciabilidad.	174
Tabla 8.6.	Resumen de cálculos e IRI.	174
Tabla 8.7.	Comparación de la granulometría.	175
Tabla 8.8.	Plan de trabajo.	176

**CAPITULO IX: DETERMINACION DEL REFUERZO.**

Tabla 9.1.	Coefficiente de capa (a1) de acuerdo a la condición de la carpeta de rodadura.	185
Tabla 9.2.	Coefficiente de capa (a2) de acuerdo a la condición de la base y subbase granular.	185
Tabla 9.3.	Porcentaje de fallas en el pavimento.	185
Tabla 9.4.	Composición vehicular.	192
Tabla 9.5.	Equivalencias de vehículos livianos a camión 3E.	193
Tabla 9.6.	Número total de vehículos.	193
Tabla 9.7.	Clasificación de vehículos según la FHWA.	194
Tabla 9.8.	Granulometría mezcla SMA.	196
Tabla 9.9.	Dosificación mezcla asfáltica SMA.	197
Tabla 9.10.	Resumen ensayo Marshall.	107
Tabla 9.11.	Resumen de resultados.	198
Tabla 9.12.	Comparación de resultados según espesores.	199
Tabla 9.13.	Comparación agrietamiento longitudinal.	199
Tabla 9.14.	Promedio de temperaturas.	203
Tabla 9.15.	Factores de corrección de la deflexión promedio por condiciones ambientales.	207
Tabla 9.16.	Comparación de método de diseño.	209

**CAPITULO X: PLAN DE MEJORAMIENTO.**

Tabla 10.1.	Metrado de fallas tramos de muestra (500m).	213
Tabla 10.2.	Factores para metrados de fallas.	213
Tabla 10.3.	Metrado total de fallas.	214
Tabla 10.4.	Metrado de fallas por partidas.	215
Tabla 10.5.	Partidas a ejecutar.	216
Tabla 10.6.	Metrado de partidas.	217

**CAPITULO XI: PLAN DE MANTENIMIENTO.**

Tabla 11.1.	Daño calculado y daño acumulado por año.	220
-------------	--	-----

Tabla 11.2.	Programa de intervenciones al 10%.	222
Tabla 11.3.	Intervenciones al 10%.	223
Tabla 11.4.	Costo propuesta de intervenciones al 10%.	223
Tabla 11.5.	Programa de intervenciones al 20%.	224
Tabla 11.6.	Intervenciones al 20%.	225
Tabla 11.7.	Costo propuesta de intervenciones al 20%.	225
Tabla 11.8.	Partidas a ejecutar tratamiento de fallas.	227
Tabla 11.9.	Metrados tratamiento de fallas.	227
Tabla 11.10.	Partidas a ejecutar tratamiento slurry seal.	230
Tabla 11.11.	Metrados tratamiento slurry seal.	231



## ANEXOS

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

- Anexo 3.1. Resultados de ensayos granulométricos de base y subrasante.
- Anexo 3.2. Resultados de ensayos de compactación de base y subrasante.
- Anexo 3.3. Resultados de ensayos de CBR de base y subrasante.

### **CAPITULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 2008.**

- Anexo 5.1. Toma de velocidades.
- Anexo 5.2. Espectro de carga por tipo de vehículo según clasificación FHWA.
- Anexo 5.3. Resultados del análisis de deterioro sin calibrar.

### **CAPITULO VI: COMPARACION DE RESULTADOS Y CALIBRACION PRELIMINAR DEL PROGRAMA MEPDG.**

- Anexo 6.1. Resultados del análisis de deterioro con calibración preliminar.
- Anexo 6.2. Diseño de mezcla asfáltica MAC-1.
- Anexo 6.3. Propuesta de diseño 2.5" - 8" - 12".
- Anexo 6.4. Resultado de propuestas de diseño.
- Anexo 6.5. Propuesta final.

### **CAPITULO VII: DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR EL METODO DE DEFLEXIONES.**

- Anexo 7.1. Calculo del ESAL al año 2012.

### **CAPITULO IX: DETERMINACION DEL REFUERZO.**

- Anexo 9.1. Calculo del ESAL al año 2024.
- Anexo 9.2. Calculo del ESAL del 2004 al 2014.
- Anexo 9.3. Característica de la mezcla asfáltica SMA.
- Anexo 9.4. Análisis de deterioro diseño de refuerzo espesor 1.5pulg.
- Anexo 9.5. Análisis de deterioro diseño de refuerzo espesor 2pulg.

### **CAPITULO X: PLAN DE MEJORAMIENTO.**

- Anexo 10.1. Análisis de costos unitarios y presupuesto propuesta de mejoramiento.

### **CAPITULO XI: PLAN DE MANTENIMIENTO.**

- Anexo 11.1. Análisis de costos unitarios y presupuesto propuesta de tratamiento de fallas al 20%.
- Anexo 11.2. Análisis de costos unitarios y presupuesto propuesta de tratamiento con Slurry seal.

## PLANOS

- Plano 2.1. Localización del proyecto.
- Plano 2.2. Sección típica de la Vía.
- Plano 3.1. Tramo representativo de estudio.
- Plano 4.1. Perfil Longitudinal.



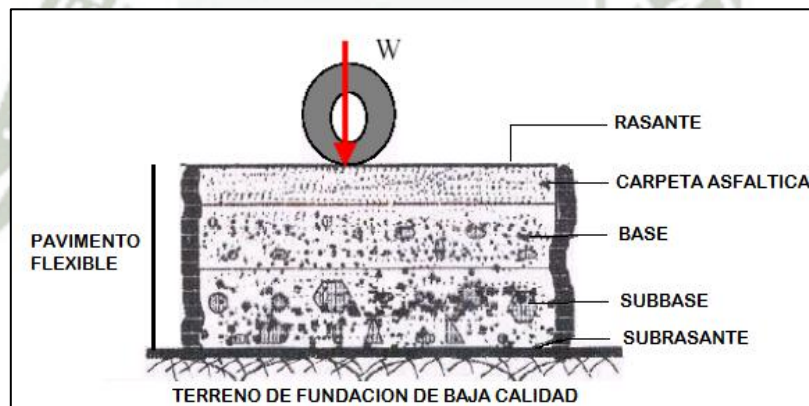
## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.

Formado por una superficie de rodadura bituminosa que es la carpeta asfáltica la cual está apoyada generalmente sobre capas granulares no rígidas (sub rasante, sub base y base). Sin embargo puede prescindirse de estas capas dependiendo de la necesidad de la vía.

**Imagen N° 1.1, Estructura de un pavimento Flexible (Fuente: Diseño de vías II, 2007).**



Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran:

- a. **Resistencia estructural**, Soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura.

- b. Durabilidad**, Está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar a la vía, depende de la importancia de este.
- c. Costo**, influye muchísimo en la construcción de un pavimento ya que en el diseño el modelo que se impone hacia los demás es el más económico.
- d. Requerimientos de conservación**, Debido a los factores climáticos que influyen de gran manera, es necesario tener en cuenta planes de mantenimiento.
- e. Comodidad**, Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad del proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

## 1.2. TEORÍAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- **Comportamiento Elástico - Teoría del semiespacio elástico de Boussinesq**, que supone que el suelo es un medio elástico homogéneo e isotrópico, limitado en superficie por un plano horizontal y que se extiende desde allí hasta abajo en forma infinita.
- **Sistemas Bicapa**, Basado en la teoría de Boussinesq, teniendo en cuenta estratos y propiedades mecánicas de los materiales que conforman la masa de suelo, para calcular el estado de esfuerzos de esta a cualquier profundidad.

### 1.3. Líneas de diseño para pavimentos flexibles.

**a) Diseño Empírico.** Basados en la experiencia, desarrollados con pruebas en tamaño real, observando las fallas por fatiga y obteniendo ecuaciones empíricas, se encuentra la metodología AASHTO 93.

**b) Diseño Mecanicista.** Basado en la mecánica de comportamiento estructural ante la aplicación de cargas, es una aproximación puramente científica, confía en el comportamiento estructural mecánico al efectuar la carga de la estructura, conociendo a detalle las propiedades fundamentales de los materiales y la geometría de la estructura, no se cuenta con un diseño netamente mecanicista.

**c) Diseño Mecánico – Empírico.** Combina los aspectos tanto empíricos como mecanicistas, los componentes mecanicistas permiten determinar la respuesta del pavimento ante situaciones “críticas” de cargas y clima, utilizando modelos matemáticos y los componentes empíricos relacionan las respuestas del pavimento con indicadores observados de comportamiento (deterioros e IRI), se cuenta con:

- Método Shell (1977).
- Instituto del Asfalto (1982).
- NCHRP proyecto 1-26 (1992).
- Diseño Mecánico – Empírico Surafricano (1992).
- Illinois, Kentucky, Washington, Minnesota.
- Guía de Diseño 2008 (software MEPDG).

## 1.4. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

### 1.4.1. Definición de mantenimiento.

Se denomina mantenimiento o conservación de pavimentos a los trabajos constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción prematura de una vía manteniéndolos en calidad y valor, siendo la mejor inversión ya que no solo garantiza la inversión inicial de la construcción, sino que disminuye el costo de explotación y alarga la vida tanto de la vía como de los vehículos.

De acuerdo con ello, un camino bien diseñado y perfectamente construido sobre un terreno ideal de características homogéneas, no debería requerir más mantenimiento que el de conservación rutinaria y periódica, sin embargo, claramente la situación es otra; a veces, al poco tiempo después de la puesta en servicio, comienzan a detectarse pequeñas fallas que de no repararse en el momento oportuno, llevan al colapso prematuro de sectores crecientes de la vía.

### 1.4.2. Tipos de mantenimiento.

#### a) Mantenimiento rutinario:

El objetivo de este mantenimiento es el de evitar la destrucción gradual de una vía mediante acciones y reparaciones preventivas de protección física de la estructura básica y de su superficie de rodadura. Implica intervenciones relativamente frecuentes durante el año y se incluyen en este grupo: limpieza, perfilado de caminos de tierra, bacheos, limpieza

de obras de drenaje, demarcación del pavimento, mantenimiento de señales verticales y horizontales, pintado de sardineles, etc.

**b) Mantenimiento periódico:**

Son reparaciones y renovaciones parciales a ejecutarse en periodos mayores a un año y normalmente implican elevados montos, evitan deterioros que afecten a la estructura básica y superficie de las vías. Comprende tratamientos superficiales en general (sellado, recapado, riego bituminoso, etc.) y también la renovación de la superficie de rodadura mayormente aplicado en pavimentos flexibles.

**c) Rehabilitación, mejoramiento o restauración:**

Comprende actividades destinadas a devolver a la vía su condición inicial, a veces, reforzarlas sin alterar la estructura subyacente, con el objeto de evitar su destrucción, preservar la calidad de rodadura y asegurar la integridad estructural. En esta categoría encontramos los tratamientos superficiales, micro pavimentos, emulsión asfáltica (slurry seal), recapado o reciclado de pavimentos.

**d) Reconstrucción:**

El objetivo es de restaurar los deterioros provocados por desatención o descuido prolongado de las vías, a fin de asegurar el normal funcionamiento de la vía, al menor costo posible.

### 1.4.3. Fallas en pavimentos flexibles.

Podemos encontrar fallas funcionales y estructurales:

**a) Funcionales;** corresponden a un defecto que se refleja en la superficie de rodamiento del pavimento y afectan al cómodo movimiento de los vehículos, sin imposibilitar su uso.

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- Las ondulaciones longitudinales.
- Las deformaciones transversales.
- La textura en la superficie.
- El porcentaje de baches y áreas reparadas.

**b) Estructurales;** corresponden a una deficiencia del pavimento que afecta la capacidad del mismo para soportar las cargas, en su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento.

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.
- Fallas originadas en la interface carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, mal acoplamiento entre el material de base y carpeta.
- Fallas originadas en la base, sub-base o subrasante, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.

- Fallas originadas por repeticiones de cargas (falla por fatiga).
- Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.

#### 1.4.4. Mantenimiento de acuerdo al tipo de falla.

En la siguiente tabla se presenta la intervención a realizar de acuerdo al nivel de cada tipo de fallas presentadas en pavimentos asfálticos.

**Tabla Nº 1.1, Mantenimiento de acuerdo al nivel de cada tipo de falla.**

<b>Mantenimiento según el nivel de falla en un Pavimento Asfáltico</b>			
<b>Deterioro o tipo de falla</b>	<b>Causa</b>	<b>Característica</b>	<b>Tipo de trabajo a realizar</b>
Agrietamiento de Piel de Cocodrilo	Uso de ligantes asfálticos muy duros, <i>Reflejo de fisuras en bases estabilizadas</i> , Bases granulares de mala calidad, <i>Espesor insuficiente de la carpeta asfáltica para el tráfico a la que será expuesto</i> , Daño por fatiga.	Leve (3 - 6mm)	Sello de fisuras y grietas de 3 - 6mm
		Moderado (6 - 19mm)	Parchado Superficial, De no haber deficiencia en la estructura.
		Severo (> 19mm)	Parchado Superficial, de haber deficiencia en la estructural, realizar Parchado Profundo (en los 2 remover el material débil por debajo).
Agrietamiento de Borde	Falta de soporte lateral, <i>Asentamiento o desplazamiento del material cerca al borde del pavimento</i> , Drenaje deficiente o encogimiento debido a evaporación del agua en suelos cercanos.	Leve	Sello de fisuras y grietas de 3 - 6mm
		Moderado	Sello de grietas de 6 - 19mm
		Severo	Parchado Profundo
Agrietamiento Longitudinal	<b>Juntas longitudinales de construcción trabajadas inadecuadamente, Uso de ligantes asfálticos muy duros, Ligantes asfálticos envejecidos.</b>	Leve (3 - 6mm)	<b>Sello de fisuras y grietas de 3 - 6mm</b>
		Moderado (6 - 19mm)	<b>Sello de grietas de 6 - 19mm</b>
		Severo (> 19mm)	<b>Sello de grietas mayores a 19mm</b>
Agrietamiento Transversal	Juntas longitudinales de construcción trabajadas inadecuadamente, <i>Gradiente térmico ambiental superior a 30°C</i> , Uso de ligantes asfálticos muy duros, <i>Ligantes asfálticos envejecidos.</i>	Leve (3 - 6mm)	Sello de fisuras y grietas de 3 - 6mm
		Moderado (6 - 19mm)	Sello de grietas de 6 - 19mm
		Severo (> 19mm)	Sello de grietas mayores a 19mm

Fuente: Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles, 2002.

<b>Mantenimiento según el nivel de falla en un Pavimento Asfáltico</b>			
<b>Deterioro o tipo de falla</b>	<b>Causa</b>	<b>Característica</b>	<b>Tipo de trabajo a realizar</b>
<b>Baches</b>	<b>Dosificación insuficiente de ligante asfáltico en bases tratadas con cemento asfáltico, aplicado en caliente, diluido o emulsificado, <i>Ligante asfáltico inadecuado o de mala calidad, Espesor insuficiente de la carpeta de rodadura.</i></b>	<b>Leve (profundidad &lt; 50mm)</b>	<b>Parchado Superficial</b>
		<b>Moderado y Severo (profundidad &gt; 50mm)</b>	<b>Parchado Profundo</b>
<b>Ahuellamiento</b>	<b>Uso de ligantes (asfalto) blando, <i>Dosificación del ligante en exceso, Uso de agregados redondeados, Compactación o calidad deficiente de la base.</i></b>	<b>Leve (depresión de 6 a 13mm)</b>	<b>Ningún tratamiento.</b>
		<b>Moderado (depresión de 13 a 25mm)</b>	<b>Parchado superficial.</b>
		<b>Severo (depresión mayor a 25mm)</b>	<b>Parchado Profundo</b>
<b>Sangrado o Exudación</b>	<b>Exceso de ligante en la dosificación, <i>Uso de ligante asfáltico muy blando, Derrame de solventes.</i></b>	<b>Leve (poco visible)</b>	<b>Riego de arena.</b>
		<b>Moderado (visible)</b>	
		<b>Severo (abundante)</b>	
<b>Agregado Pulido</b>	<b>Uso de agregados con tamaño y distribución inadecuada, <i>Segregación de los agregados durante la construcción.</i></b>	<b>No tiene</b>	<b>La única forma es recubriendo la superficie con un tratamiento superficial ya sea un sello de arena o un sello con material pétreo duro y angular.</b>
<b>Peladura</b>	<b>Perdida del material bituminoso, <i>Desprendimiento del agregado, Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo propiedades del ligante, Efecto de solventes, agua, etc.</i></b>	<b>Leve</b>	<b>Sellado de superficie asfáltica con riego bituminoso.</b>
		<b>Moderado</b>	<b>Parchado superficial manual con mezcla en caliente</b>
		<b>Severo</b>	

Fuente: Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles, 2002.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION, DISEÑO Y EVALUACION DEL PROYECTO EN ESTUDIO

#### 2.1. MEMORIA DESCRIPTIVA.

El proyecto “**Recuperación de la carpeta asfáltica en la Avenida Aviación Carretera Arequipa – Yura, Tramo Puente Juan Pablo II al Cruce de la Vía de Evitamiento (progresivas 0+000 al 6+785)**”, fue ejecutado el año 2004 por la Municipalidad Provincial de Arequipa. Corresponde a la RECUPERACION y RECONSTRUCCION de la Av. Aviación en los carriles tanto derecho como izquierdo, distribuidos de la siguiente manera:

CARRIL DERECHO DE LA VIA	PROGRESIVAS
Tratamiento Superficial de la carpeta existente	km 0+000 al km 2+100
Colocación de Carpeta Nueva	km 2+100 al km 6+785
CARRIL IZQUIERDO DE LA VIA	PROGRESIVAS
Tratamiento Superficial de la carpeta existente	km 0+000 al km 2+100
Colocación de Carpeta Nueva	km 2+100 al km 4+800
Tratamiento Superficial de la carpeta existente	km 4+800 al km 6+785

#### 2.2. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN.

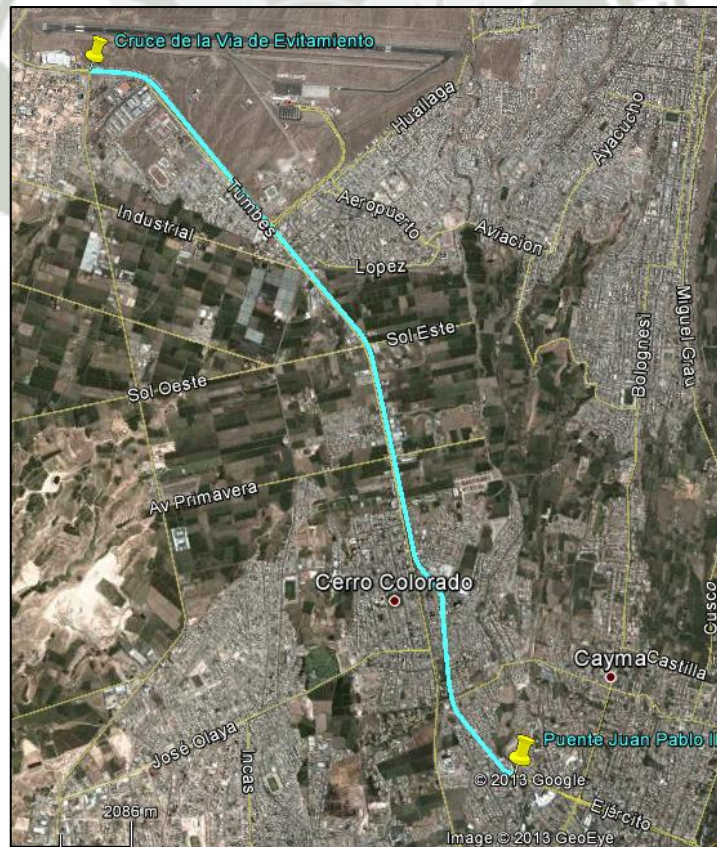
Ubicada en la parte Noroeste de la ciudad de Arequipa, este tramo comprende desde la Prolongación de la Av. Ejército, que al cruce con la calle Chachani se convierte en la Av. Pumacahua y al cruce con la Av. Arequipa se convierte en la Av. Aviación. Es la única vía que une Cerro

Colorado con Yura, pasando con el entorno de Zamácola, Aeropuerto y Cono Norte. En el plano 2.1, se muestra la localización del proyecto.

La ubicación geográfica del proyecto es:

- Provincia : Arequipa
- Distrito : Cerro Colorado
- Altitud : 2440 m.s.n.m
- Longitud : 71°33.56'O
- Latitud : 16°22.29'S
- Clima : Cálido Seco
- Temperatura media : 16°C

**Imagen N°2.1, imagen satelital del tramo en estudio.**



### 2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

La descripción del proyecto abarca solamente los tramos que se estudiarán en esta tesis, que son de reconstrucción (nueva carpeta).

La avenida aviación fue reconstruida entre las progresivas km 2+100 al km 6+785 lado derecho de la vía y km 2+100 al km 4+800 lado izquierdo de la vía, a nivel de re conformación de base granular existente y colocación de nueva carpeta.

Las partidas que se realizaron en la reconstrucción de este proyecto fueron:

**Tabla N°2.1, Partidas de la ejecución del proyecto.**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD
<b>01.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>	
01.01	Caseta de Control	EST
<b>02.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	
02.01	Trazo y Replanteo	KM
02.02	Cartel del Obra	UND
02.03	Movilización de Equipo	EST
<b>03.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	
03.01	Escarificación de Pavimento Antiguo	M2
03.02	Eliminación de desmonte	M3
<b>04.00</b>	<b>OBRAS DE ASFALTADO</b>	
04.01	Reconformación de Base Existente	M2
04.02	Imprimación RC-250 diluido al 80%	M2
04.03	Carpeta Asfáltica	M2
04.04	Tratamiento Superficial	M2
<b>05.00</b>	<b>SEÑALIZACION</b>	
05.01	Pintura para Tráfico.	KM

Fuente: Expediente técnico.

## 2.4. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 1993 DEL PROYECTO.

Este diseño fue realizado por la Municipalidad Provincial de Arequipa, el cual se presentara en la siguiente tabla:

**Tabla N°2.2, Resumen de datos.**

<b>Diseño de pavimento flexible</b>	
CBR Diseño	25.5 %
Módulo Resiliente	19125 lb/pulg <sup>2</sup>
TMDA	9613 veh/día
% Camiones	2.5 %
Factor de crecimiento	6 %
Periodo de diseño	10 años
ESAL	$3.44 \times 10^5$ eq
R	95 %
Zr	-1.64
So	0.45
Po	4.5
Pf	2.5

Fuente: Expediente técnico.

**Tabla N°2.3, Calculo de números estructurales.**

<b>SN mínimo</b>	2.15	
<b>SN1</b>	a1	0.44
	D1	2.00
<b>SN2</b>	a2	0.13
	D2	8.40
	m1	1.10
<b>SN3</b>	a3	0.11
	D3	0.40
	m2	1.10

Fuente: Expediente técnico.

Por lo tanto los espesores asumidos son:

**Tabla N°2.4, Espesores asumidos.**

Capa	Espesor		
	(pulg)	(cm)	Asumimos (cm)
Carpeta Asfáltica	2.00	5.09	5.00
Base	8.40	21.37	20.00
Sub Base	0.40	1.02	-

Fuente: Expediente técnico.

#### 2.4.1. Diseño final de la estructura del pavimento

En base a todas las consideraciones expuestas, el pavimento para el tramo Km. 2+100 al Km. 6+300 de la Avenida Aviación, deberá tener la siguiente estructura:

**Tabla N°2.5, Diseño final.**

CAPA	ESPESOR (cm.)
Carpeta asfáltica (mezcla en caliente)	5.00
Base granular	20.00

Fuente: Expediente técnico.

#### 2.5. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.

Los agregados (grueso y fino) utilizados son de la cantera km 20 de la Variante de Uchumayo, carretera Panamericana Sur.

El porcentaje general de arena en la mezcla es de 52% y para la piedra es de 45% adicionando como parte de la granulometría CAL HIDRATADA en un 3%.

El diseño pertenece al tipo MAC-2, y para mejorar las condiciones de adherencia se utilizó mejorador de adherencia en la proporción que permita un rango de grado 4.

De acuerdo al procedimiento del Método MASHALL los parámetros del diseño son:

**Tabla N°2.6, Parámetros de diseño.**

% Cemento asfáltico PEN 85-100	6.10 % ± 0.30 %
% Cal hidratada (mezcla de agregados)	2.00 % ± 0.20 %
% Aditivo adherencia MORLIFE (mezcla con cemento asf.)	0.60%
Estabilidad	1280 kg
Flujo	9.84 x 0.01" = 2.50mm
% De vacíos	3.20%
Vacíos llenados con cemento asfáltico (VCA)	77.00%
Vacíos del agregado mineral (VMA)	15.00%
Factor de rigidez	5120 kg/cm
Granulometría	IV - B
Agregado fino	44%
Agregado grueso	53%

Fuente: Expediente técnico.

**Tabla N°2.7, Granulometría diseño de mezclas.**

MALLA	% QUE PASA	
	CURVA GRANULOMETRICA A	ESPECIFICACION
3/4"	100	100
1/2"	94	80 - 100
3/8"	77.6	70 - 90
Nº 4	54.5	50 - 70
Nº 8	44.4	35 - 50
Nº 30	24.7	18 - 29
Nº 50	17.5	13 - 23
Nº 100	10.2	8 - 16
Nº 200	5	4 - 10

Fuente: Expediente técnico.

## 2.6. CONTROL DE CALIDAD.

Todos estos resultado de control de calidad se obtuvieron de los informes de la supervisión de obra.

**Tabla N°2.8, Resumen de ensayo CBR.**

MUESTRA	TRAMO	CBR (%)	DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD
Base	2+400	96.00%	1.913	10.07
Base	2+460	90.00%	1.844	11.95
Base	3+160	99.90%	1.860	10.84
Base	3+300	86.00%	1.877	10.84
Base	4+440	87.00%	1.878	11.54
Base	4+520	84.00%	1.858	11.94

Fuente: Control de calidad supervisión de obra.

**Tabla N°2.9, Comparación de la granulometría en la mezcla asfáltica.**

COMPARACION DE LA GRANULOMETRIA MEZCLA ASFALTICA						
MALLA	Media aritmética	Especf. de diseño	Check ✓ o X	Especf. MTC	Tolerancia	Check ✓ o X
3/4"	100.00	100	✓	100	± 5%	✓
1/2"	91.35	80 - 100	✓	80-100	± 5%	✓
3/8"	75.45	70 - 90	✓	70-88	± 5%	✓
1/4"	61.08				± 5%	
Nº 4	56.84	50 - 70	✓	51-68	± 5%	✓
Nº 6	50.95				± 4%	
Nº 8	45.58	35 - 50	✓		± 4%	
Nº 10	42.72			38-52	± 4%	✓
Nº 16	34.71				± 3%	
Nº 20	30.88				± 2%	
Nº 30	26.67	18 - 29	✓		± 3%	
Nº 40	22.47			17-28	± 3%	✓
Nº 50	17.35	13 - 23	✓		± 3%	
Nº 80	10.28			8-17	± 3%	✓
Nº 100	7.39	8 - 16	X		± 3%	
Nº 200	2.62	4 - 10	X	4-8	± 2%	X

Fuente: Control de calidad supervisión de obra.

**Tabla Nº 2.10, Resumen de los resultados del % de asfalto.**

<b>EXTRACCION CENTRIFUGA</b>		
<b>FECHA</b>	<b>Nº DE CONTROL</b>	<b>% DE ASFALTO</b>
20/04/2004	1	6.62
	2	6.24
	3	6.50
	4	6.30
21/04/2004	1	6.60
	2	6.25
	3	6.50
23/04/2004	1	6.51
	2	6.60
	3	6.60
30/04/2004	1	6.60
	2	6.68
10/05/2004	1	6.68
	2	6.60
11/05/2004	1	6.48
12/05/2004	1	6.32
	2	6.45
13/05/2004	1	6.48
	2	6.19
14/05/2004	1	6.17
	2	6.20
	3	6.33
20/05/2004	1	6.20
	2	6.22
	3	6.60
21/05/2004	1	6.60
	2	6.21
24/05/2004	1	6.61
	2	6.20
	3	6.22
<b>PROMEDIO</b>		<b>6.43</b>
<b>PARAMETRO DE DISEÑO</b>		<b>6.10±0.3</b>

Fuente: Control de calidad supervisión de obra.

**Tabla Nº2.11, Resumen de ensayo Marshall.**

Ensayos	% de Agregado grueso (mayor Nº4) en peso de la mezcla	% de Agregado fino (menor Nº4) en peso de la mezcla	% de Filler (mínimo % pasa Nº200) en peso de la mezcla	% de vacíos	Vacíos en el agregado mineral (V.M.A)	Vacíos llenados con cemento asfáltico (V.C.A)	Flujo	Estabilidad (27-28) kg
1	39.55	52.95	1	3.6	17.67	79.87	12.13	1,378
2	35.94	56.56	1	2.1	16.49	87.21	14.8	1,031
3	41.91	50.58	1	2.6	16.98	84.4	14.47	1,002
4	33.79	58.53	1	2.5	17.16	85.71	11.8	1,167
5	42.88	49.48	1	2.3	17.04	86.54	12.8	1,115
6	41.91	50.61	1	3.1	17.30	82.05	13.1	1,295
7	44.65	47.9	1	2.3	16.51	85.71	13.8	1,132
8	44.96	47.56	1	2.4	16.71	85.56	15.1	1,132
9	42.31	50.36	1	2.3	16.33	85.68	13.1	1,159
10	36.98	55.42	1	3.3	17.75	81.18	13.5	1,013
11	35.86	56.54	1	2.6	17.13	84.73	13.1	902
12	35.72	56.67	1	3.7	18.08	79.53	13.1	1,021
<b>Promedio</b>	<b>39.71</b>	<b>52.76</b>	<b>1</b>	<b>2.73</b>	<b>17.10</b>	<b>84.01</b>	<b>13.40</b>	<b>1,112.25</b>
<b>Parámetro</b>	<b>44.00</b>	<b>53.00</b>	<b>2</b>	<b>3.20</b>	<b>15.00</b>	<b>77.00</b>	<b>9.84</b>	<b>1,280.00</b>

Fuente: Control de calidad supervisión de obra.

**Tabla Nº2.12, Resumen de ensayo de Compactación del Asfalto.**

<b>Nº briqueta</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Lado de pista	<b>LI</b>	<b>LD</b>	<b>EJE</b>
Progresiva	2+160	3+960	
% de compactación	98.00	98.00	
Peso específico de la briqueta gr/cm <sup>3</sup>	2.335	2.335	
Peso específico máximo ASTM-D2041	2.46	2.45	
% de vacíos de asfalto compactado en pista	5.00	4.80	
<b>Nº briqueta</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Lado de pista	<b>LI</b>	<b>LD</b>	<b>LD</b>
Progresiva	3+200	4+040	4+740
% de compactación	98.00	97.00	97.00
Peso específico de la briqueta gr/cm <sup>3</sup>	2.312	2.323	2.324
Peso específico máximo ASTM-D2041	2.45	2.46	2.46
% de vacíos de asfalto compactado en pista	5.70	5.50	5.50

Fuente: Control de calidad supervisión de obra.

## CAPITULO III

### MUESTREO Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA ASFÁLTICA

#### 3.1. DETERMINACIÓN DEL TRAMO A EVALUAR:

Para la definición del tramo de la muestra, se utilizó la metodología PCI, el número mínimo de unidades a ser evaluadas ( $n$ ) se determina mediante la ecuación:

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

Dónde:

Ec. Nº 3.1

$n$  = Número total de unidades de muestreo a evaluar.

$N$  = Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

$e$  = Error permisible en determinación PCI (confiabilidad 95%  $e = \pm 5\%$ ).

$\sigma$  = Desviación estándar del valor PCI en las unidades de la sección (si se desconoce asumimos una desviación igual a 10).

Para una longitud de 4.2km,  $N = 42$  secciones de 100m, la confiabilidad a evaluar será al 95% dando un error de  $\pm 5\%$ , reemplazando estos datos en la ecuación 4.1 y tenemos que:

$$n = \frac{42 \times (10)^2}{\frac{5^2}{4} \times (42 - 1) + 10^2}$$

$$n = 11.79 \approx 12\%$$

Por lo tanto si el 100% del tramo son 42 secciones, para el 12 % mínimo de tramo necesitamos 5 secciones, lo cual equivale a 500m, en el plano N°3.1 se muestra el tramo representativo de análisis y muestreo.

### 3.2. EVALUACIÓN DESTRUCTIVA DEL PAVIMENTO.

Como su nombre lo indica requiere alterar el pavimento existente en algún punto de la vía.

#### 3.2.1. Espesores de Capas.

En la Tabla N° 3.1 se mencionan el número de muestra, la ubicación, espesor de la carpeta asfáltica y la base tanto en centímetros (cm) como en pulgadas (pulg.).

**Tabla 3.1, Espesores de capas estructurales del pavimento.**

Muestra	Ubicación	Espesor (cm.)		Espesor (pulg.)	
		Carpeta Asfáltica	Base	Carpeta Asfáltica	Base
1	Km 2+153.50	5.500	35.00	2.17	13.78
2	Km 2+310.00	5.500	28.00	2.17	11.02
3	Km 2+500.00	5.000	29.00	1.97	11.42
4	Km 2+700.00	6.000	28.00	2.36	11.02
5	Km 2+900.00	6.000	30.00	2.36	11.81
6	Km 2+250.00	-	31.00	-	12.20
7	Km 2+650.00	-	29.00	-	11.42
8	Km 2+850.00	-	30.00	-	11.81
<b>Total</b>		<b>5.600</b>	<b>30.00</b>	<b>2.20</b>	<b>11.81</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. Clasificación Granulométrica.

Se realizó este ensayo de acuerdo al MTC E107 – 2000 “Análisis Granulométrico De Suelos Por Tamizado”, utilizando los métodos de clasificación SUCS y AASHTO, los datos y curvas granulométricas, se encuentran en el anexo 3.1.

**Tabla N°3.2, Resumen de resultados granulométricos de material de base y sub rasante.**

MUESTRA		BASE	BASE	BASE	SUB RASANTE	SUB RASANTE	SUB RASANTE
CALICATA		1	2	3	1	2	3
FRACCIONES	GRAVA	69.24	70.15	74.12	49.24	57.6	65
	ARENA	26.70	25.29	22.87	40.48	36.45	20.01
	FINOS	4.06	4.56	3.01	10.28	5.95	1.93
COEFICIENTES	Cu	37.86	13.13	30.86	134.67	87.5	15
	Cc	6.82	2.86	9.52	0.36	0.96	5.06
LÍMITES DE CONSISTENCIA	LL	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	LP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
% PASANTE	TAMIZ N°10	23.35	24.54	16.36	40.55	34.04	17.08
	TAMIZ N°40	12.42	16.26	10.67	28.21	23.65	7.43
	TAMIZ N°200	4.06	4.56	3.01	10.28	13.75	1.93
CLASIFICACIÓN	SUCS	GP	GW	GP	SP	GW	GW
	ASSHTO	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-b	A-1-a	A-1-a

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3. Ensayo de Compactación.

La importancia de la compactación de suelos se encuentra en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

Este ensayo se realizó de acuerdo al MTC E115-2000 “Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando Una Energía Modificada” de Manual de ensayo de materiales EG-2000. Los datos tomados en el ensayo y los gráficos se encuentran en el anexo 3.2.

**Tabla N° 3.3, Resumen de ensayos de compactación (Densidad máxima y humedad relativa).**

RESUMEN				
Calicata	Muestra	Progresiva	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Óptima (%)
1	Base	Km 2+250.00	1.950	11.100
3	Base	Km 2+650.00	1.918	11.890
5	Base	Km 2+850.00	1.890	11.300
2	Sub rasante	Km 2+250.00	1.900	10.320
4	Sub rasante	Km 2+650.00	1.934	10.790
5	Sub rasante	Km 2+850.00	1.900	10.800

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.4. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio).

El CBR es la capacidad que tiene el suelo de soportar los esfuerzos verticales transmitidos por las cargas de tránsito.

Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma MTC E132-2000 “CBR de Suelos (Laboratorio)”, los ensayos de CBR realizados a las muestras y los gráficos se encuentran en el anexo 3.3.

**Tabla N° 3.4, Resumen de ensayos de CBR.**

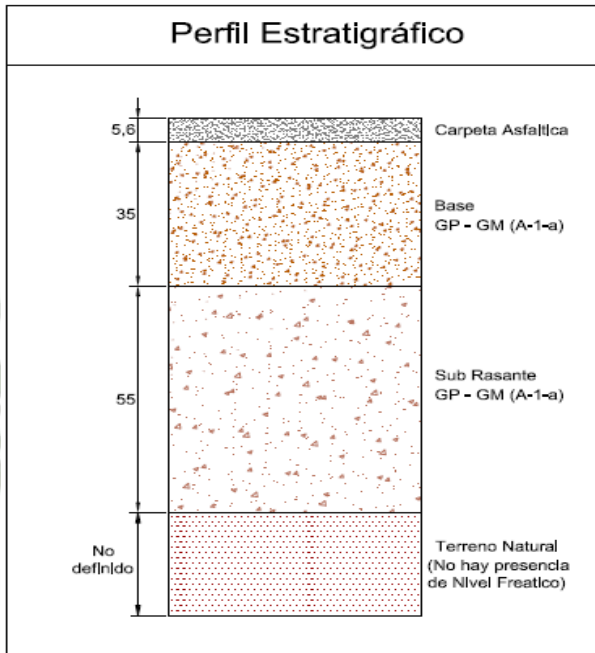
Muestra	Calicata	Ubicación	CBR
Base	1	Km 2 + 250.00	26.80%
Sub rasante	2	km 2 + 650.00	26.00%

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.5. Perfil Estratigráfico.

En base a la información obtenida en las extracciones de muestras, tenemos:

**Imagen N° 3.1, Perfil Estratigráfico.**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6. Lavado Asfáltico.

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

El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de las mezclas asfálticas libres de humedad.

Se realizó el ensayo de acuerdo a las especificaciones de la norma MTC E502-2000 "Extracción Cuantitativa De Asfalto En Mezclas Para Pavimentos"

### Cálculo y análisis de resultados

**Tabla N° 3.5, Porcentaje de Asfalto.**

DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA 1
Peso de la tara	gr.	-
Peso muestra + tara	gr.	702.20
Peso muestra centrifugada + tara	gr.	657.40
Peso de asfalto	gr.	44.80
Peso de muestra	gr.	702.20
Peso de agregado centrifugado	gr.	657.40
<b>% de asfalto</b>	<b>%</b>	<b>6.38</b>

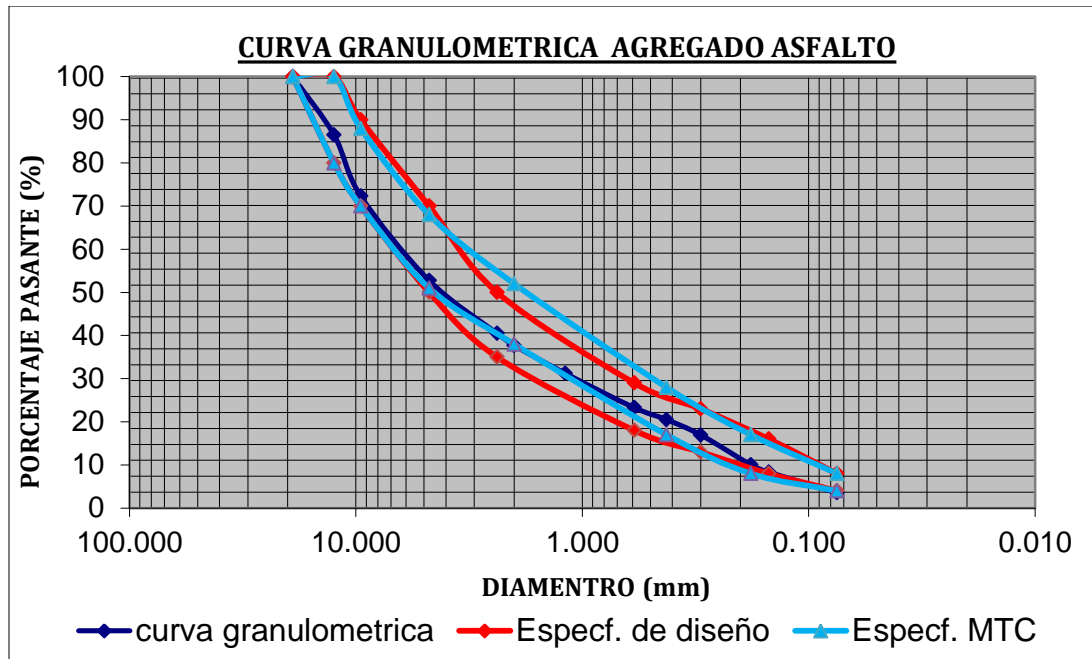
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7. Análisis granulométrico del agregado de la mezcla:

**Tabla N° 3.6, Granulometría del agregado de Asfalto.**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
3/4"	19.000			100.00
1/2"	12.500	87.30	13.48	86.52
3/8"	9.520	92.00	14.21	72.31
N°04	4.750	126.70	19.57	52.74
N°08	2.380	79.30	12.25	40.49
N°10	2.000	18.00	2.78	37.71
N°16	1.190	42.00	6.49	31.23
N°30	0.590	51.50	7.95	23.27
N°40	0.425	17.90	2.76	20.51
N°50	0.300	23.00	3.55	16.96
N°80	0.180	44.90	6.93	10.02
N°100	0.150	11.10	1.71	8.31
N°200	0.075	30.60	4.73	3.58
fondo		23.20	3.58	0.00
		<b>647.50</b>		

Fuente: Elaboración propia.



Como se muestra en el gráfico la curva granulométrica cumple con las especificaciones de granulometría del diseño y del MTC.

**Tabla Nº 3.7, Comparación de la granulometría del agregado de Asfalto.**

COMPARACION DE LA GRANULOMETRIA MEZCLA ASFALTICA						
MALLA	Media aritmética	Especif. de diseño	Check ✓ o X	Especif. MTC	Tolerancia	Check ✓ o X
3/4"	100	100	✓	100	± 5%	✓
1/2"	85.52	80 - 100	✓	80-100	± 5%	✓
3/8"	72.31	70 - 90	✓	70-88	± 5%	✓
Nº 4	52.74	50 - 70	✓	51-68	± 5%	✓
Nº 8	40.49	35 - 50	✓		± 4%	
Nº 10	37.71			38-52	± 4%	✓
Nº 16	31.23				± 3%	
Nº 30	23.27	18 - 29	✓		± 3%	
Nº 40	20.51			17-28	± 3%	✓
Nº 50	16.96	13 - 23	✓		± 3%	
Nº 80	10.02			8 - 17	± 3%	✓
Nº 100	8.31	8 - 16	✓		± 3%	
Nº 200	3.58	4 - 8	X	4 - 8	± 2%	✓

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.8. Peso unitario del asfalto.

Este procedimiento se refiere a la determinación del peso específico aparente de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, el cual puede emplearse para calcular su peso unitario.

Se realizó este ensayo de acuerdo a la norma MTC E506-2000 “Gravedad Específica Aparente Y Peso Unitario De Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Parafinados”.

**Tabla Nº 3.8, Peso unitario del asfalto.**

Muestra		1	2	3	4
Tramo		km 2+153.60	km 2+310.00	km 2+500.00	km 2+700.00
Peso específico de la parafina	gr/cm <sup>3</sup>	0.87	0.87	0.87	0.87
Peso de la briqueta al aire	gr.	758.60	747.50	759.30	773.30
Peso briqueta + parafina al aire	gr.	763.60	752.80	765.20	779.70
Peso briqueta + parafina al agua	gr.	445.10	441.90	447.20	453.70
Volumen de la briqueta + parafina	cm <sup>3</sup>	318.50	310.90	318.00	326.00
Peso de la parafina	gr.	5.00	5.30	5.90	6.40
Volumen de la parafina	cm <sup>3</sup>	5.77	6.12	6.81	7.39
Volumen de la briqueta por dezpl.	cm <sup>3</sup>	312.73	304.78	311.19	318.61
<b>Peso unitario de la briqueta</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.43</b>	<b>2.45</b>	<b>2.44</b>	<b>2.43</b>
Máxima densidad teórica de mezcla	gr/cm <sup>3</sup>	2.45	2.45	2.45	2.45
Grado de compactación	%	99	100	100	99

Fuente: Elaboración propia.

Según los 4 ensayos realizados el peso unitario del asfalto es en promedio 2.44gr/cm<sup>3</sup>.

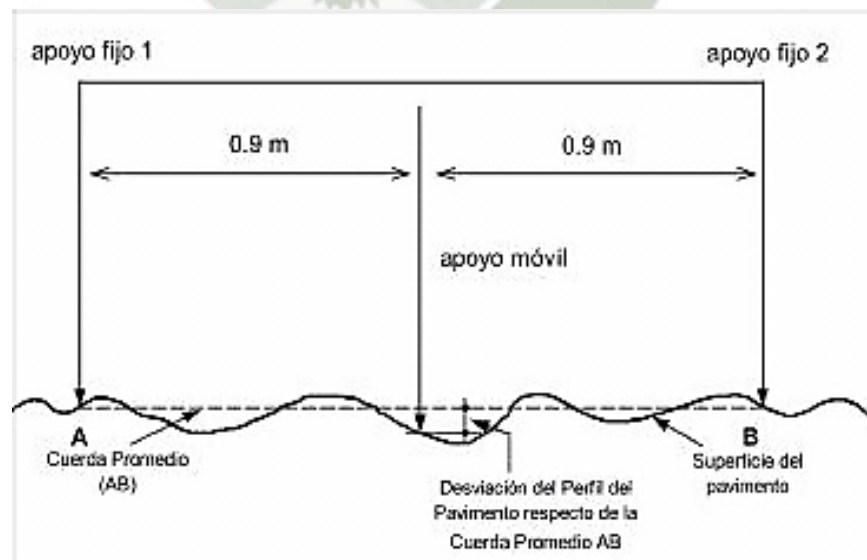
### 3.3. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL PAVIMENTO.

Esta metodología se aplica directamente a pavimentos ya construidos, no requiere alterar el pavimento y se podría decir que es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta de la estructura del pavimento para establecer sus características estructurales, lo cual es generalmente opuesto a un proceso de diseño.

#### 3.3.1. Ensayo del Rugosímetro de MERLIN:

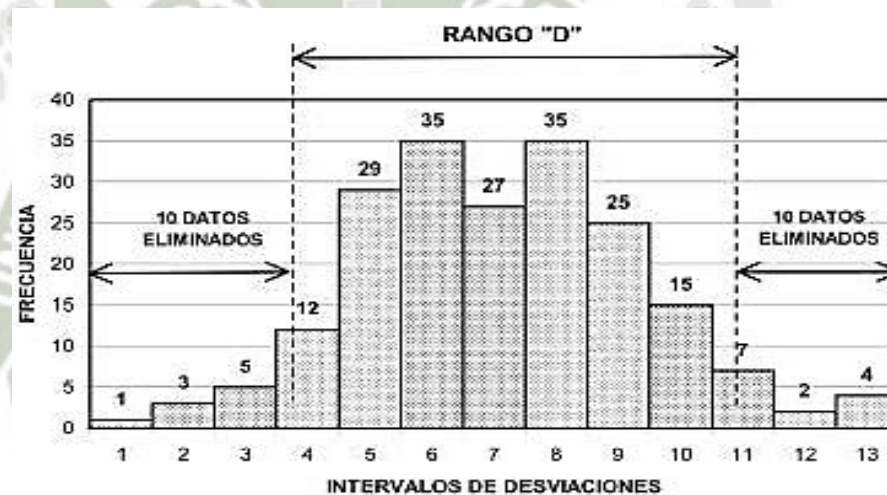
La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Imagen N°3.2 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante.

**Imagen. N°3.2, Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a la cuerda promedio (Ensayo MERLIN).**



El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”, la longitud de la cuerda promedio es 1.80 m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía, definiendo así el histograma:

**Imagen N°3.3, Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva (ENSAYO MERLIN).**



El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

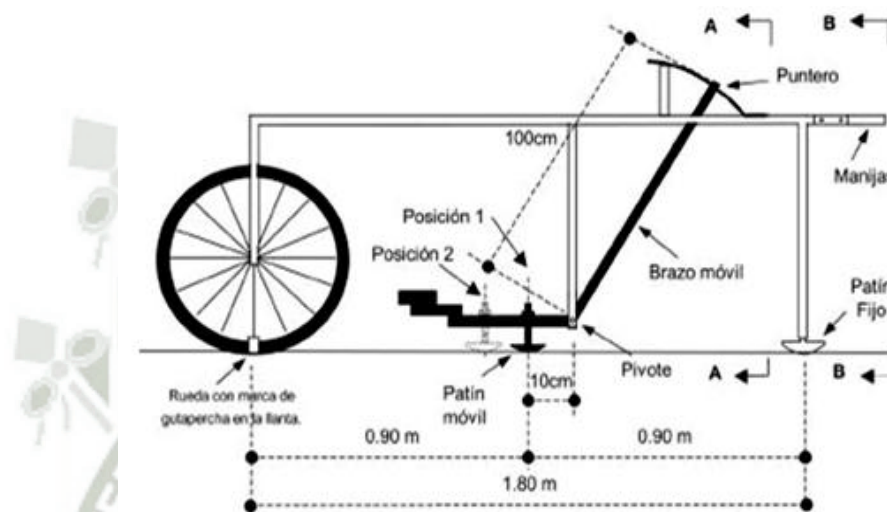
La fórmula de la Rugosidad es:

$$R = 0.593 + 0.0471 D$$

**Ec. 3.2**

El Rugosímetro de MERLIN es un equipo de diseño simple. La Imagen N°3.4 presenta un esquema ilustrativo del instrumento.

**Imagen N°3.4, Esquema del equipo en una vista frontal (Ensayo MERLIN).**



**Resumen:**

De acuerdo a los datos tomados en el ensayo (anexo 3.4), la condición superficial del pavimento es de:

Para el tramo km 2+100 @ 2+500 se obtuvo un IRI de 2.70 m/km.

Para el tramo km 2+500 @ 2+900 se obtuvo un IRI de 2.10 m/km.

Para el tramo km 2+900 @ 3+300 se obtuvo un IRI de 2.05 m/km.

**Tabla N° 3.9, Resumen cálculos de IRI.**

Ensayo	Km	Carril	D	IRI (m/km)
1	2+100 – 2+500	Derecho	44.83	2.70
2	2+500 – 2+900	Derecho	32.00	2.10
3	2+900 – 3+300	Derecho	31.05	2.05
<b>Promedio</b>				<b>2.28</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Relevamiento de deterioro de pavimento.

Para la realización de la Guía AASHTO 2008 se ha empleado los resultados y fallas del manual LTPP, es por ello que se utilizó esta metodología para hacer el relevamiento de fallas. Para esta investigación se tomó en consideración la sección 1 del mencionado manual, la cual está aplicada al relevamiento de fallas en carreteras con superficies de rodadura de concreto asfáltico, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla N°3.10, Tipos de fallas para pavimentos flexibles**

TIPOS DE FALLAS E PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO ASFALTICO	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES DE SEVERIDAD
<b>A. AGRIETAMIENTO.</b>		
1. ROTURA DE FATIGA	m2	SI
2. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	m2	SI
3. AGRIETAMIENTO DE BORDE	m	SI
4. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL SOBRE LA HUELLA	m	SI
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL FUERA DE LA HUELLA	m	SI
5. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL REFLEJO EN JUNTAS	Número, m	SI
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL REFLEJO EN JUNTAS	m	SI
6. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL	Número, m	SI
<b>B. PARCHES</b>		
7. PARCHES /DETERIORO EN PARCHES	Número, m2	SI
8. BACHES	Número, m2	SI
<b>C. DEFORMACIONES SUPERFICIALES</b>		
9. AHUELLAMIENTO	mm	NO
10. CORRIMIENTO	Número, m2	NO
<b>D. DEFECTOS SUPERFICIALES</b>		
11. SANGRADO O EXUDACION	m2	SI
12. AGREGADO PULIDO	m2	NO
13. PELADURA	m2	SI
<b>E. FALLAS DIVERSAS</b>		
14. DESNIVEL DE PISTA – BERMA	mm	NO
15. EYECCION DE AGUA Y BOMBEO	Número, m	NO

Fuente: Manual de identificación de fallas LTPP.

### Análisis fotográfico de fallas:

Se realizó un análisis fotográfico, ya que fue imposible cerrar la avenida aviación para poder hacer las medidas directamente, por lo que se tomaron fotografías y se trabajaron con el programa AUTOCAD, haciendo que la imagen que tiene como dato principal la mira graduada, para poder así colocar la imagen en escala real, tal y como se trabaja en el programa utilizado.

En la fotografía N°3.4, se muestra el análisis que se realizó para cada fotografía, logrando obtener las medidas de las fallas, teniendo en cuenta que solo se realizó el relevamiento de fallas en el carril de diseño el cual es el carril derecho de esta vía. El tramo de ensayo fue de 500m.

### **Fotografía N°3.4, Ejemplo del relevamiento de fallas con el AUTOCAD.**

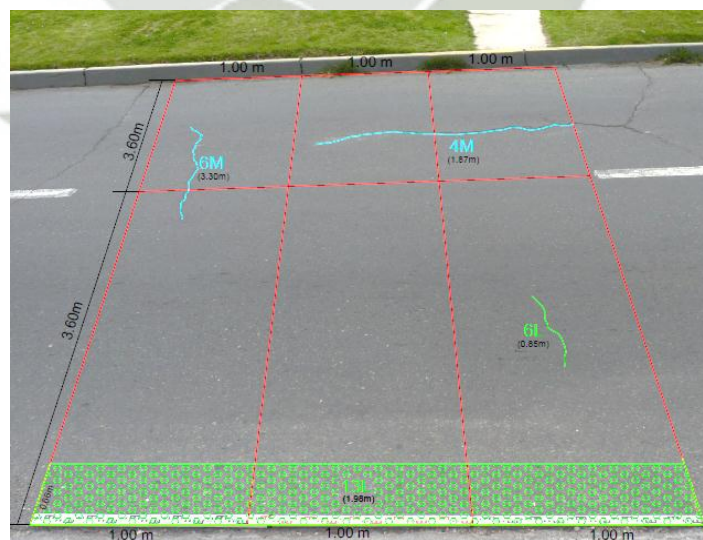


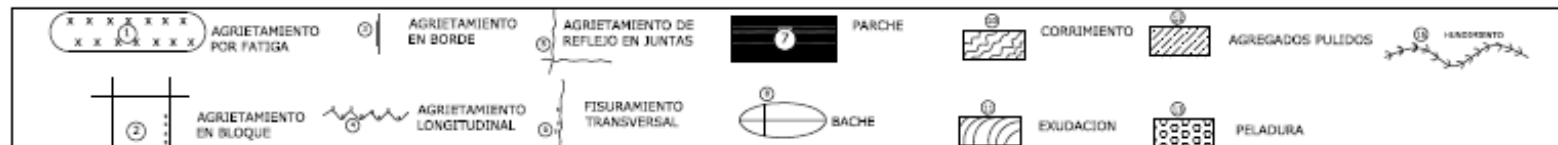
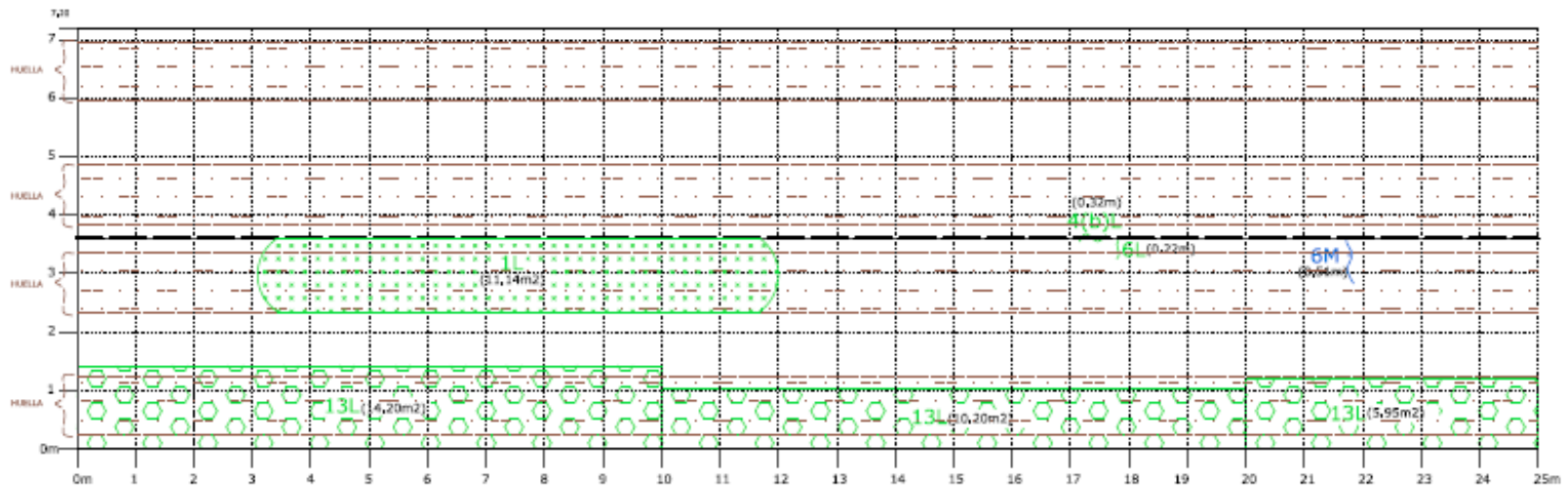
Imagen N°3.4, Formato de presentación del relevamiento de fallas.

### RELEVAMIENTO DE FALLAS

Proyecto : DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUIAS ASSHTO 93 Y AASHTO 2008, EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM 2+100 HASTA KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA,

Ubicación: AVENIDA AVIACION, CERRO COLORADO - AREQUIPA

Tramo : km 2+100 @ 2+125



Teniendo como tabla resumen:

**Tabla N°3.11, Resumen del metrado de fallas.**

AVENIDA AVIACION		UNIDAD	METRADOS TOTALES		
TIPO	MANIFESTACION DEL DETERIORO		L	M	S
A.	1. AGRIETAMIENTO POR FATIGA (Piel de cocodrilo).	m2	198.85	0.00	0.00
	2. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.	m2	180.58	25.94	16.39
	3. AGRIETAMIENTO DE BORDE.	m	0.00	0.00	0.00
	4. a. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN LA HUELLA.	m	1.89	1.10	0.00
	4. b. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL FUERA DE LA HUELLA.	m	16.84	16.23	16.15
	5. REFLEJO EN JUSTAS.	m	0.00	0.00	0.00
B.	6. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL.	m	5.27	23.05	55.51
	7. PARCHES.	m2	0.00	0.00	0.00
C.	8. BACHES.	m2	0.29	0.13	0.00
	9. AHUELLAMIENTO.	mm	3.55	0.00	0.00
D.	10. CORRIMIENTO.	m2	0.00	0.00	0.00
	11. SANGRADO O EXUDACION.	m2	0.00	0.00	0.00
	12. AGREGADO PULIDO.	m2	0.00	0.00	0.00
E.	13. PELADURAS.	m2	80.41	43.88	0.00
	14. DESNIVEL DE PISTA - BERMA.	mm	0.00	0.00	0.00
	15. EROSION DE BERMAS.	m	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3. Ensayo de la viga Benkelman.

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”. Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrolló en 1953 como parte del programa 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.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca, es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple.

**Datos tomados en el ensayo:**

Carga del Eje = 8200 kg

Presión de Llantas = 80PSI

Temperatura Ambiente = 22.80°C

**Tabla Nº 3.12, Datos tomados en el ensayo Viga Benkelman.**

LECTURAS DEL DEFLECTOMETRO								
Progresiva Km	Distancia (m)							Temperatura del asfalto °C
	10	20	30	40	50	100	500	
2+300	3	6	11	15	18	23	25	28.6
2+350	3	7	11	15	18	23	25	29.8
2+400	3	6	11	16	19	21	22	31.2
2+450	2	6	10	15	18	24	26	31.2
2+500	3	6	8	14	18	23	23	31.2
2+550	2	5	8	11	15	17	18	30.5
2+600	4	7	12	15	19	21	22	29.9
2+650	2	6	11	15	18	23	25	31.5
2+700	5	11	16	21	23	27	29	33.4
2+750	1	4	7	9	12	17	19	32.4
2+800	0	1	6	10	12	17	19	21.4
2+850	0	6	11	15	18	23	27	27.1
2+900	1	7	14	18	22	22	24	34.1
2+950	3	9	14	17	21	26	30	34.7
3+000	3	10	14	17	21	29	32	34.7
3+050	5	11	16	20	23	27	28	36.4
3+100	3	7	11	16	18	23	25	36.5
3+150	3	9	14	19	22	27	31	36.8
3+200	4	9	14	17	21	25	27	37.1
3+250	3	9	14	20	26	30	33	38.2
3+300	4	9	14	17	20	22	22	37.7

Fuente: Elaboración propia.

### Cálculo y análisis de resultados:

#### - Cálculo de Deflexiones:

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

Estas diferencias se multiplican por la relación de brazos de la Viga Benkelman que usemos, según el Manual de ensayo de materiales (EM-2000) para el ensayo de la Viga Benkelman (MTC E 1002 – 2000), el factor que tiene según las medidas del equipo es de 4 pero, en nuestro caso la relación que se tiene entre los brazos según fotografía N° 3.5, es de 2 por lo tanto se trabajara con ese dato.

#### **Fotografía N° 3.5, Medidas del equipo utilizado para ensayo de la Viga Benkelman.**



Para la deflexión bajo el eje de carga ( $D_0$ ), se calcula mediante la expresión:

$$D_0 = 2 x (L_m - L_0)$$

Expresada en 0.01mm

**Ec. N°3.3**

Para la deflexión a 25 cm bajo el eje de carga ( $D_{25}$ ), se calcula mediante la expresión:

$$D_{25} = 2 x (L_m - L_{25})$$

(Expresada en 0.01mm)

**Ec. N°3.4**

Dónde:

$L_m$  : Lectura final en 0.01 mm

$L_0$  : Lectura inicial en 0.01 mm

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

Nota: el valor 2 usado por el cálculo de  $D_0$  y  $D_{25}$  obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas en la fotografía N° 3.5.

- Calculo del Radio de Curvatura.

El grado de curvatura de la línea elástica de deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al ser flexionadas bajo las cargas de tránsito.

El radio de curvatura según la metodología francesa se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{10 \times 25^2}{2(D_o - D_{25})}$$

Dónde:

**Ec. N°3.5**

$R_c$  : Radio de Curvatura.

$D_o$  : Deflexión máxima.

$D_{25}$  : Deflexión a 25 cm.

- Cálculo de Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura.

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

$$D_{20^\circ c} = \frac{D_o}{0.001(t - 20^\circ C)(h) + 1}$$

Dónde:

**Ec. N°3.6**

$D_o$  : Deflexión recuperable a la temperatura t.

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

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

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

$t_{amb.}$  : Temperatura ambiente.

- Cálculo de la Deflexión Característica.

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

A continuación se presenta la siguiente fórmula para poder hallar la Deflexión Característica:

$$D_c = D + t * \sigma$$

Dónde:

$D_c$  = Deflexión característica.

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

$D$  = Deflexión promedio de los valores individuales de  $D_0$  corregidos por temperatura.

$\sigma$  = Desviación estándar.

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

Podemos indicar los siguientes valores más frecuentes:

**Tabla Nº 3.14, Valores de deflexión característica.**

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

Fuente: MTC E 1002 – 2000.

La decisión del valor de “t” es una decisión técnica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, etc.

Se adopta mayormente el 95%, es decir la que es superada por el 5% de las determinaciones ( $D + 1.645 * \sigma$ ).

Realizando el cálculo de las deflexiones con los datos ya antes mencionados tenemos la siguiente tabla:

**Tabla N° 3.14, Cálculo de deflexiones ( $D_0$  y  $D_{prom}$ ) y Radio de Curvatura ( $R_c$ ).**

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - REGISTRO DE CAMPO - ENZAYO CON VIGA BENKELMAN															
PROYECTO		: DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUIAS AASHTO 1993 Y ASSHTO 2008 EN LA AVENIDA AVIACION DESDE EL KM 2+100 HASTA KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA													
SECTOR		: AV. AVIACION			CARRIL			: DERECHO			FECHA:		01/04/2012		
Progresiva (Km)	LECTURAS DEL DIAL						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMPERATURAS		Espesor de asfalto (cm)
	PRIMER DIAL						Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (mm)	Do (0.01 mm)	D25 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Asfalto °C	
	L-0 0.01 mm	L-25 0.01 mm	L-30 0.01 mm	L-50 0.01 mm	L-100 0.01 mm	L-500 0.01 mm									
2+300	0	9	11	18	23	25	50	32	174	48	31	182	22.8	28.6	5.6
2+350	0	9	11	18	23	25	50	32	174	47	30	183	22.8	29.8	5.6
2+400	0	9	11	19	21	22	44	26	174	41	24	185	22.8	31.2	5.6
2+450	0	8	10	18	24	26	52	36	195	49	34	208	22.8	31.2	5.6
2+500	0	7	8	18	23	23	46	32	223	43	30	237	22.8	31.2	5.6
2+550	0	7	8	15	17	18	36	22	223	34	21	236	22.8	30.5	5.6
2+600	0	10	12	19	21	22	44	24	156	42	23	165	22.8	29.9	5.6
2+650	0	9	11	18	23	25	50	32	174	47	30	185	22.8	31.5	5.6
2+700	0	14	16	23	27	29	58	30	112	54	28	120	22.8	33.4	5.6
2+750	0	6	7	12	17	19	38	26	260	36	24	279	22.8	32.4	5.6
2+800	0	4	6	12	17	19	38	30	391	38	30	394	22.8	21.4	5.6
2+850	0	9	11	18	23	27	54	36	174	52	35	181	22.8	27.1	5.6
2+900	0	11	14	22	22	24	48	26	142	44	24	153	22.8	34.1	5.6
2+950	0	12	14	21	26	30	60	36	130	55	33	141	22.8	34.7	5.6
3+000	0	12	14	21	29	32	64	40	130	59	37	141	22.8	34.7	5.6
3+050	0	14	16	23	27	28	56	28	112	51	26	122	22.8	36.4	5.6
3+100	0	9	11	18	23	25	50	32	174	46	29	190	22.8	36.5	5.6
3+150	0	12	14	22	27	31	62	38	130	57	35	142	22.8	36.8	5.6
3+200	0	12	14	21	25	27	54	30	130	49	27	143	22.8	37.1	5.6
3+250	0	12	14	26	30	33	66	42	130	60	38	143	22.8	38.2	5.6
3+300	0	12	14	20	22	22	44	20	130	40	18	143	22.8	37.7	5.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.16, Valores de deflexiones calculadas.

	<b>Do (0.01mm)</b>	<b>D25 (0.01mm)</b>	<b>Rc (mm)</b>
CONTEO (N)	21	21	21
SUMATORIA	993	607	3871
<b>PROMEDIO</b>	<b>47.3</b>	<b>28.9</b>	<b>184.4</b>
MINIMO	34	18	120
MAXIMO	60	38	394
DESVIACION ESTÁNDAR	7.4	5.3	62.8
COEFICIENTE DE VARIACION	15.6	18.4	34.0
<b>VALOR CARACTERISTICO</b>	<b>59.4</b>	<b>37.7</b>	<b>287.6</b>

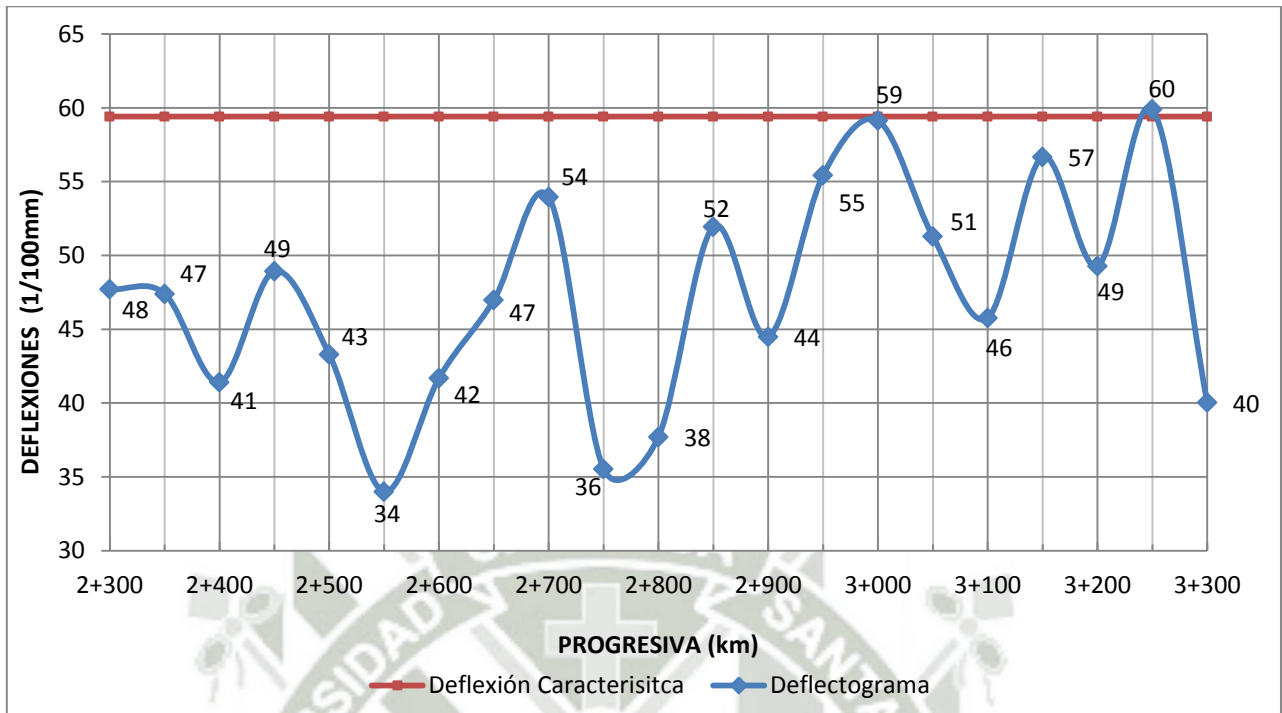
Fuente: Elaboración propia

En Resumen como resultados tenemos que:

- La deflexión característica es de 59.4 (1/100 mm).
- El radio de curvatura característico es 287.60 mm.

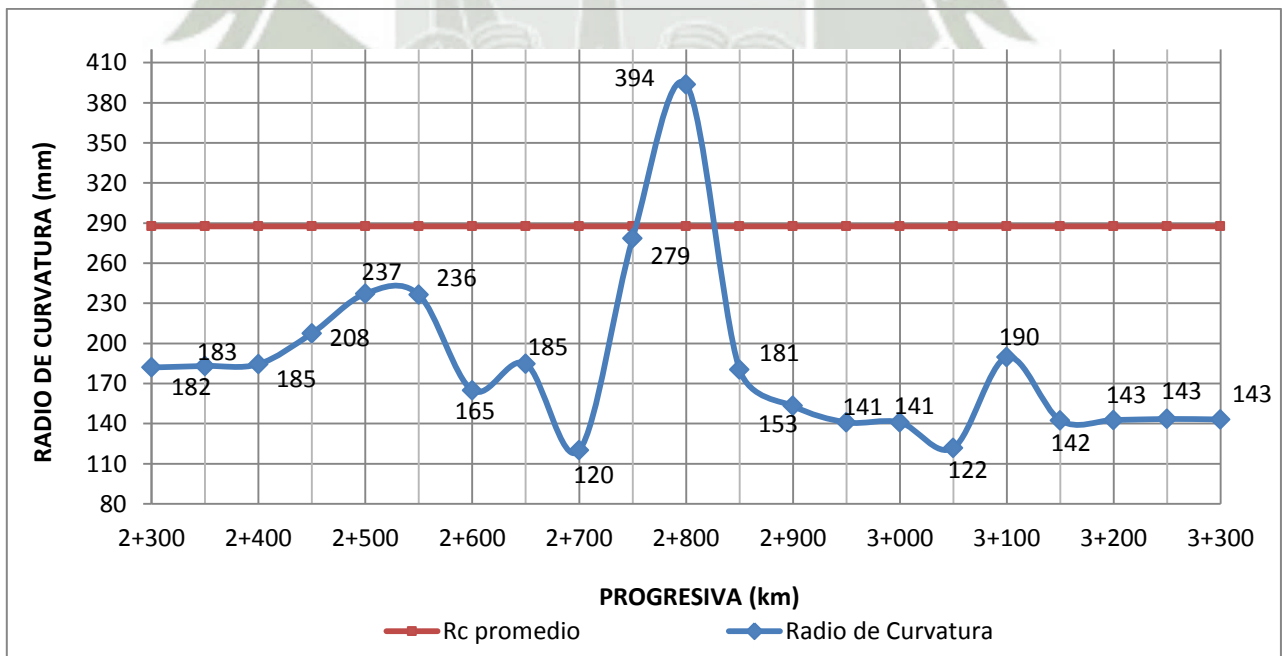
De acuerdo a la tabla de cálculos de deflexión y los resultados característicos tenemos los siguientes gráficos: Deflectograma y Radio de Curvatura del tramo km 2+300 @ 3+300.

**Gráfico N° 3.4, Deflectograma del tramo km 2+300 @ 3+300.**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 3.5, Radio de Curvatura del tramo km 2+300 @ 3+300.**



Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO IV

### DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 1993 ACTUALIZADO

#### 4.1. CLIMA – DRENAJES.

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que esta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento y sobre el comportamiento de los mismos.

El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipan con el tiempo para ocasionar daño a las estructuras de pavimento.

##### a. Selección del coeficiente de drenaje.

Es necesario seguir las siguientes indicaciones:

- Se calcula el tiempo de drenaje de cada una de las capas no ligadas.
- Se selecciona una calidad de drenaje en función del tiempo de drenaje calculado.
- Se calcula el tiempo en que la estructura de pavimento va a estar expuesta a niveles de humedad próximos a saturarse.
- Con la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación, se selecciona el coeficiente de drenaje  $m$ .

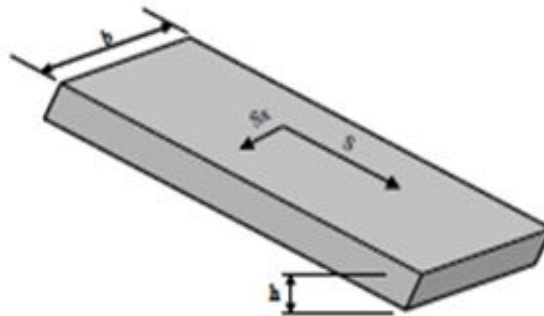
**b. Tiempo de drenaje (método del tiempo para drenar).**

Este método se encuentra desarrollado en el manual centro americano para diseños de pavimentos.

Es conveniente que la estructura del pavimento se drene en el lapso de media o una hora como máximo, esto con el objetivo de que el posible daño que se pueda ocasionar sea el mínimo, para el efecto que produzca el estar mucho tiempo en presencia de la humedad.

Los datos necesarios para efectuar el análisis con respecto a la geometría de una base permeable son:

- Pendiente Longitudinal:  $S = 1.27\%$  (se elige la menor de las pendientes ya que vendría a ser la más crítica, plano N°4.1, Perfil longitudinal)
- Pendiente Transversal o bombeo:  $S_x = 2.00\%$
- Espesor de la capa a drenar:  $h = 0.30\text{m}$
- Ancho de la base permeable  $b = 3.60\text{m}$

**Geometría de la Base**

Calculando:

- Longitud resultante de la base:

$$L_r = b \left[ \left( \frac{S}{S_x} \right)^2 + 1 \right]^{0.5} \quad \text{Ec. N°4.1}$$

$$L_r = 3.60 \left[ \left( \frac{0.0127}{0.02} \right)^2 + 1 \right]^{0.5}$$

$$L_r = 4.264m$$

- Pendiente transversal resultante de la base:

$$S_r = (S^2 + S_x^2)^{0.5} \quad \text{Ec. N°4.2}$$

$$S_r = (1.27^2 + 2^2)^{0.5}$$

$$S_r = 2.37\%$$

- Factor de pendiente longitudinal:

$$S = \frac{(L_r \times S_r)}{h} \quad \text{Ec. N°4.3}$$

$$S = \frac{(4.264 \times 0.024)}{0.30}$$

$$S = 0.337$$

Dentro de las propiedades que debe tener una base filtrante, se deben conocer las siguientes características, se trabajaron con los datos de la Muestra 1, material base (Calicata 1).

- Peso específico de las partículas sólidas =  $Y_s = 2.27 \text{ gf/cm}^3$
- Peso específico seco:  $Y_d = 1.93 \text{ gf/cm}^3 = 1930 \text{ kgf/m}^3$
- Humedad Optima = 9.70%

- Granulometría:
  - \* Grava = 48.95%
  - \* Arena + finos = 51.05%
  - \* Pasante tamiz # 200 = 6.74%
  - \*  $D_{10} = 0.15\text{mm}$
  - \* IP = NP (no presenta, por lo tanto son finos inertes)
  - \* Clasificación = A-1-a Suelo para base.

1. Peso específico seco ( $\gamma_d$ ) en función a la porosidad es:

Ec. N°4.4

$$\frac{(1 - n)}{27(n)} = \gamma_{d\text{máx}}$$

2. Peso específico seco ( $\gamma_d$ ) en función a la relación de vacíos es:

$$\frac{(2.7)(1)}{e + 1}$$

= relación de vacíos.

3. Con la tabla 4.1, se selecciona la pérdida de agua (C):

Ya que según nuestros datos la cantidad de finos se encuentra entre el 5 y 10%, el material predominante es arena, el material es limoso.

Obtenemos que: C = 18.

**Tabla 4.1, Cantidad de agua que puede drenar por gravedad**

MATERIAL PREDOM.	CANTIDAD DE FINOS								
	< 2.5%			2.5% - 5%			5% - 10%		
	TIPO DE FINOS			TIPO DE FINOS			TIPO DE FINOS		
	FILLER	LIMO	ARCILLA	FILLER	LIMO	ARCILLA	FILLER	LIMO	ARCILLA
GRAVA	70	60	40	60	40	20	40	30	10
ARENA	57	50	35	50	35	15	35	18	-8

Fuente: Diseño estructural de caminos UNSJ, 1994.

4. Calculamos la porosidad efectiva (N<sub>c</sub>).

$$N_c = \frac{N_{em\acute{a}x} * C}{100} \quad \text{Ec. N}^\circ\text{4.5}$$

La porosidad efectiva es un concepto muy importante, ya que es la relación entre el volumen de agua que drena de un material por efecto de la gravedad y el volumen total de ese material. Es la medida de la cantidad de agua que puede ser drenada de un suelo.

$$N_c = \frac{0.15 * 18}{100}$$

$$N_c = \mathbf{0.027}$$

5. Calculamos el coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles m<sub>x</sub>:

$$m_x = \frac{N_c * L_r^2}{(h * k)} \quad \text{Ec. N}^\circ\text{4.6}$$

Dónde:

K es la permeabilidad y se calcula con el ábaco de la imagen N° 4.2.

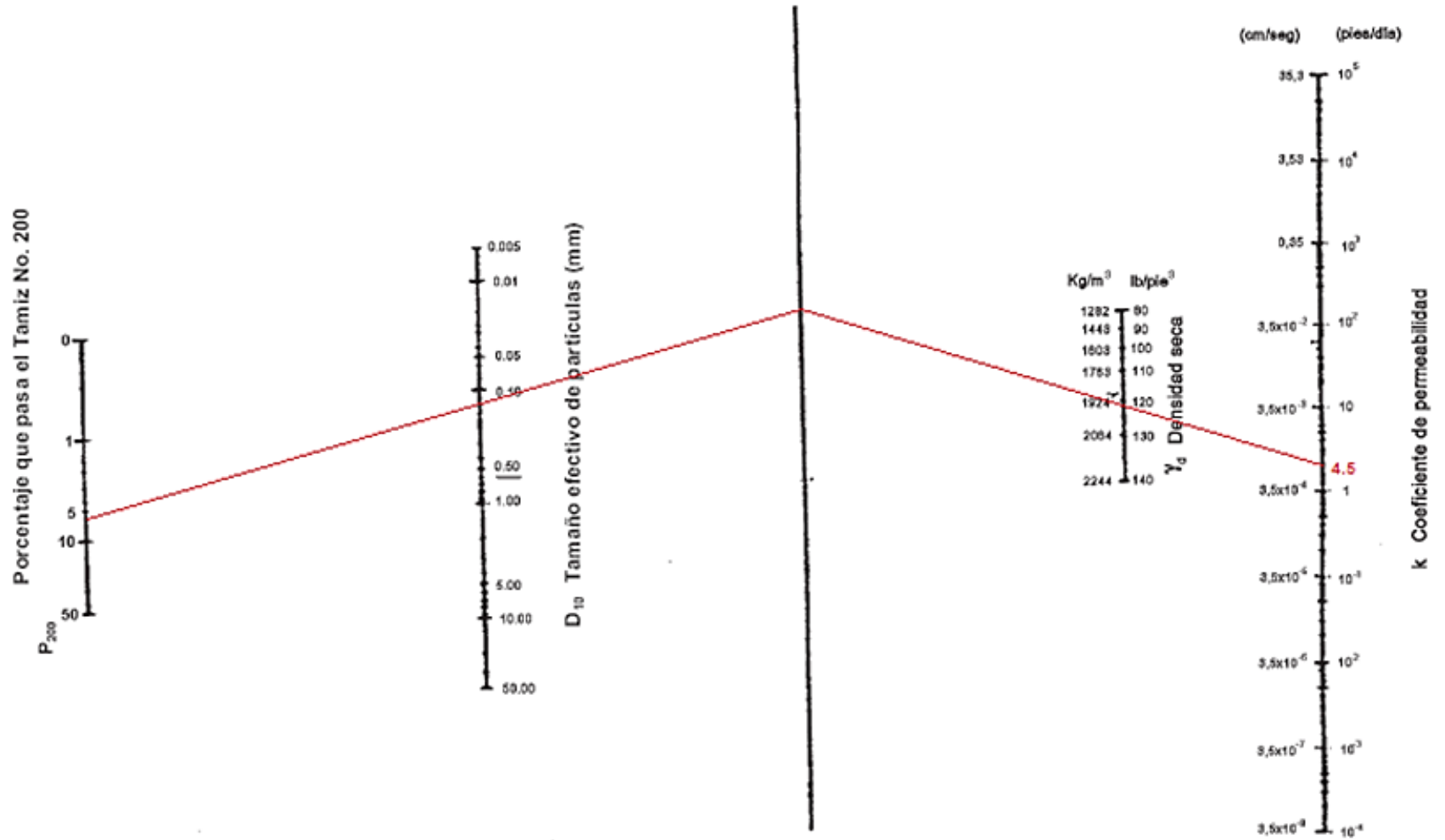
Entrando con los datos de D10, porcentaje pasante de la malla 200 y la densidad seca en Kgf/cm<sup>3</sup>. Según el ábaco la permeabilidad es:

$$K = 4.50 \text{ pies/día} = 1.37 \text{ m/día.}$$

Entonces el coeficiente de drenaje para la base es:



Imagen. N°4.2, Abaco para el cálculo de la permeabilidad k (Fuente: UNSJ ARGENTINA, 1994).



## 4.2. TRÁNSITO.

### 4.2.1. Determinación del sentido de máxima demanda.

Se realizó un estudio de tránsito durante una semana, el conteo vehicular se hizo para los dos sentidos tanto de subida como de bajada con referencia al inicio de la vía (tramo Arequipa – Yura), mostrando los resultados en las tablas 4.2 y 4.3 respectivamente.

Al hacer una comparación entre los resultados del estudio de tránsito realizado, podemos observar que en el sentido de subida transitan más vehículos que en el sentido de bajada. Es así que se elige el de subida que es por el que circula más tránsito y se considera desfavorable.

**Tabla Nº 4.2, Vehículos por día Sentido de Bajada (Carril Izquierdo).**

<b>CARRIL IZQUIERDO</b>																	
Día	VEHICULOS POR DIA																
	Autos	CAMIONETAS		Micro	BUS		CAMION			SEMI TRAILER				TRAILER			
		Pick up	Combi Rural		2E	3E	2E	3E	4E	2S1 2S2	2S3	3S1 3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
Lunes	9173	1575	699	1830	49	5	207	57	5	2	6	6	5	1	2	1	1
Martes	8743	1644	1159	1374	30	5	124	46	10	4	5	5	7	5	3	1	4
Miércoles	8783	1434	632	1680	44	7	183	45	8	3	6	4	6	1	1	2	1
Jueves	8843	1652	1164	1378	39	4	118	43	4	3	4	2	8	4	2	0	2
Viernes	9892	1688	743	1984	56	6	247	73	8	3	7	4	6	0	2	0	1
Sábado	7732	1329	577	1548	37	6	274	41	7	4	7	6	6	4	2	3	3
Domingo	4265	742	326	861	27	4	133	31	4	3	5	7	7	2	2	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>57,431</b>	<b>10,064</b>	<b>5,300</b>	<b>10,655</b>	<b>282</b>	<b>37</b>	<b>1,286</b>	<b>336</b>	<b>46</b>	<b>22</b>	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>45</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 4.3, Vehículos por día Sentido de Subida (Carril Derecho).**

<b>CARRIL DERECHO</b>																		
Día	VEHICULOS POR DIA																	
	Autos	CAMIONETAS			Micro	BUS		CAMION			SEMI TRAILER				TRAILER			
		Pick up	Combi Rural			2E	3E	2E	3E	4E	2S1 2S2	2S3	3S1 3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
Lunes	11363	2054	961	1868	51	5	155	40	4	3	5	2	3	4	3	4	2	
Martes	10471	2127	1498	1676	36	8	99	59	13	3	4	3	3	2	2	2	4	
Miércoles	11041	1823	805	1859	46	7	173	64	8	2	3	1	3	2	2	3	2	
Jueves	10892	2158	996	1524	34	5	183	70	11	7	3	7	2	3	3	2	2	
Viernes	11793	1981	916	2043	50	4	351	94	13	4	8	4	10	2	3	2	3	
Sábado	8694	1539	669	1585	43	4	278	48	8	6	8	10	13	3	2	3	2	
Domingo	7512	1309	529	1304	35	5	68	25	5	8	3	5	6	2	1	3	2	
<b>TOTAL</b>	<b>71,766</b>	<b>12,991</b>	<b>6,374</b>	<b>11,859</b>	<b>295</b>	<b>38</b>	<b>1,307</b>	<b>400</b>	<b>62</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>40</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Determinación del volumen horario y tránsito medio diario anual para el 2012.

Con respecto a volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual (TMDA), es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante un año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces, esta información anual es difícil de obtener, por los costos que ello implica, por esta razón que el análisis del Tránsito Promedio Diario Anual (TMDA) se estimara con base en la media muestral del Tránsito Promedio Diario Semanal (TMDS) según las siguientes expresiones (CAL Y MAYOR, 1982):

$$TMDS = \frac{\Sigma \text{transito de la semana}}{\text{numero de dias (7)}} \quad \text{Ec. N}^\circ 4.7$$

$$TMDA = TMDS \pm A \quad \text{Ec. N}^\circ 4.8$$

Dónde:

A = Máxima diferencia entre TMDA y TMDS.

$$A = kE \quad \text{Ec. N}^\circ 4.9$$

Dónde:

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

E = Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras tomadas de la misma población se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar. Por lo tanto, también se puede escribir que:

$$E = \hat{\sigma} \quad \text{Ec. N}^\circ 4.10$$

Dónde:

$\hat{\sigma}$  = Estimador de la desviación estándar poblacional  $\sigma$ .

Una expresión para determinar el valor estimado de la desviación estándar poblacional es la siguiente:

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{n}} \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad \text{Ec. N}^\circ 4.11$$

Dónde:

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

$n$  = Tamaño de la muestra en número de días del aforo = 7

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

La desviación estándar muestral  $S$  se calcula como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TMDS)^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Dónde:

$TD_i$  = Volumen de tránsito del día  $i$ .

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

$$TMDA = TMDS \pm A$$

$$TMDA = TMDS \pm E$$

$$TMDA = TMDS \pm K\hat{\sigma} \quad \text{Ec. 4.13}$$

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad de 90% y 95% los valores de la constante  $k$  son 1.64 y 1.96, respectivamente.

Entonces según a los datos del estudio de tránsito en el Sentido de Subida (carril derecho), podemos obtener el  $TMDS$  y por ende el  $TMDA$ .

**Tabla Nº 4.4, Volumen diario de tránsito del carril de diseño.**

TIPO DE VEHICULO	VARIACION DIARIA DEL VOLUMEN DE TRANSITO							TOTAL
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	
Auto	11363	10471	11041	10892	11793	8694	7512	71,766
Pick up	2054	2127	1823	2158	1981	1539	1309	12,991
Combi rural	961	1498	805	996	916	669	529	6,374
Micro	1868	1676	1859	1524	2043	1585	1304	11,859
Bus 2E	51	36	46	34	50	43	35	295
Bus 3E	5	8	7	5	4	4	5	38
Camión 2E	155	99	173	183	351	278	68	1,307
Camión 3E	40	59	64	70	94	48	25	400
Camión 4E	4	13	8	11	13	8	5	62
Semi Trailer 2S1/2S2	3	3	2	7	4	6	8	33
Semi Trailer 2S3	5	4	3	3	8	8	3	34
Semi Trailer 3S1/3S2	2	3	1	7	4	10	5	32
Semi Trailer 3S3	3	3	3	2	10	13	6	40
Trailer 2T2	4	2	2	3	2	3	2	18
Trailer 2T3	3	2	2	3	3	2	1	16
Trailer 3T2	4	2	3	2	2	3	3	19
Trailer 3T3	2	4	2	2	3	2	2	17
<b>VOLUMEN DIARIO TOTAL</b>	<b>16,527</b>	<b>16,010</b>	<b>15,844</b>	<b>15,902</b>	<b>17,281</b>	<b>12,915</b>	<b>10,822</b>	<b>105,301</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los volúmenes diarios totales de lunes a domingo son: 16,527 veh, 16,010veh, 15,844veh, 15,902veh, 17,281veh, 12,915veh, 10,822veh respectivamente haciendo un total de 105,301veh.

a) Calculando el Transito Medio Diario Semanal, aplicando la ecuación

4.7:

$$TMDS = \frac{105,301}{7}$$

b) Calculando la Desviación Estándar  $S$ , aplicando la ecuación 4.12:

$$S = \sqrt{\frac{31\,870,696}{7-1}}$$

$$S = 2,305 \frac{veh}{día}$$

c) Calculando la desviación estándar poblacional estimada ( $\sigma$ ), aplicando la ecuación 4.11:

$$\hat{\sigma} = \frac{2,305}{\sqrt{7}} \left( \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right)$$

$$\hat{\sigma} = 864 \frac{veh}{día}$$

d) Calculando el TMDA, aplicando la ecuación 4.13 y con un nivel de confiabilidad de 90%:

$$TMDA = 15,043 \pm 1.64(864)$$

$$+TMDA = 16,459.96 \cong 16,460 \frac{veh}{día}$$

$$-TMDA = 13,9626.04 \cong 13,627 \frac{veh}{día}$$

Consideramos el resultado mayor para poder tener mayor seguridad.

$$TMDA\ 2012 = 16,460 \frac{veh}{día}$$

#### 4.2.3. Determinación de la tasa de crecimiento.

Para la determinación de la tasa de crecimiento se estimó razonable realizar un análisis de crecimiento de PBI y el crecimiento de parque vehicular estimado para la ciudad de Arequipa. El análisis que se realizó es de tendencia exponencial que sirve para modelos de crecimiento el cual observa el comportamiento de diferentes rubros, este modelo de tendencia es útil cuando los valores de datos suben o bajan según tasas en aumento constante.

$$y = ce^{bx}$$

**Ec. 4.14**

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

##### 4.2.3.1. PBI en Arequipa.

Datos obtenidos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), desde el año 2002 al 2012, el PBI está en miles de nuevos soles por año.

**Gráfico N° 4.1, Crecimiento del PBI en Arequipa (Fuente: INEI 2012).**



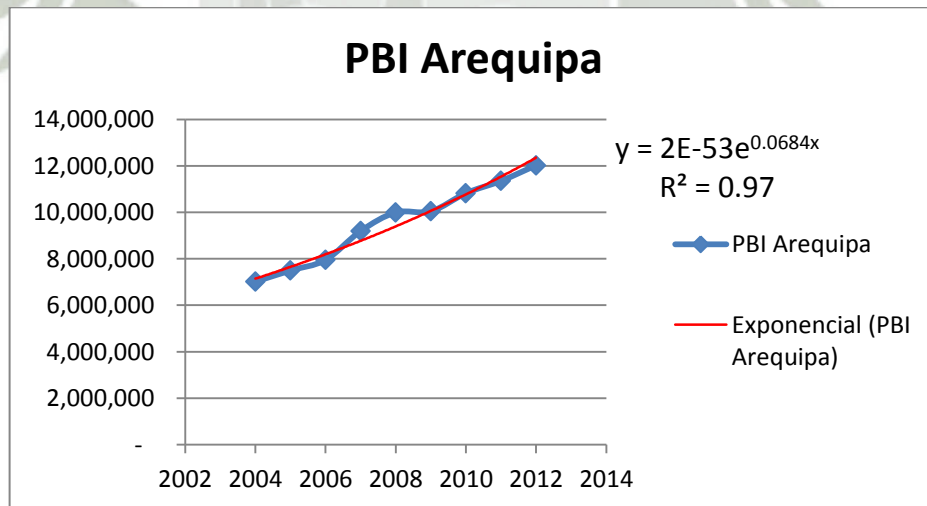
**Tabla N° 4.5, PBI Anual de Arequipa (Fuente: INEI, 2012).**

Arequipa: P.B.I. en miles de nuevos soles constantes.  
Año Base 1994

AÑO	P.B.I. AREQUIPA
2001	5.925.803
2002	6.426.819
2003	6.652.795
2004	7.015.309
2005	7.495.342
2006	7.952.656
2007	9.193.252
2008	9.995.135
2009	10.043.016
2010	10.825.182
2011	11.353.039
2012	12.022.868

Se realiza la gráfica en x(los años) y en y (el PBI) y se obtiene línea de tendencia exponencial:

**Gráfico N° 4.2, Línea de tendencia exponencial en el crecimiento del PBI en Arequipa.**



Entonces según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento del PBI de Arequipa es:  $0.0684 = 6.84\%$ .

#### 4.2.3.2. Parque Vehicular Estimado en Arequipa.

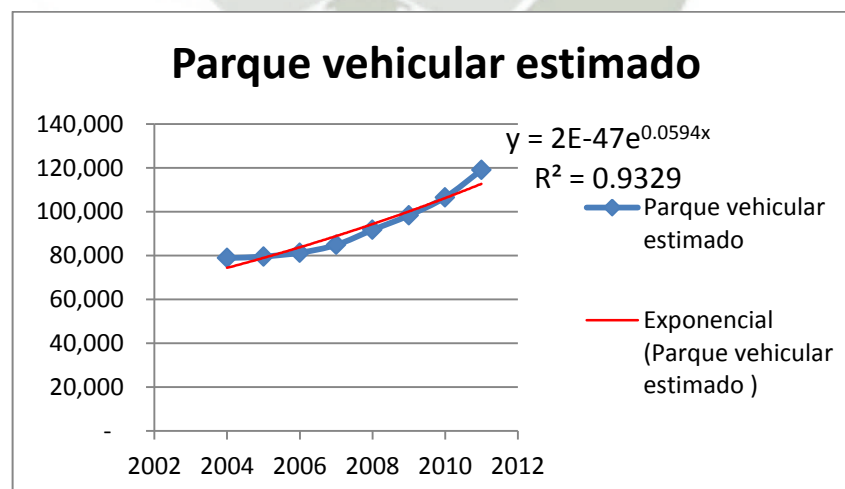
Datos obtenidos por la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos – SUNARP.

**Tabla Nº 4.6, Parque Vehicular Estimado en Arequipa, (Fuente: SUNARP, 2012)**

Año	Parque vehicular estimado Arequipa
2004	78,858
2005	79,544
2006	81,293
2007	84,829
2008	91,674
2009	98,270
2010	106,521
2011	118,985

Se realiza la gráfica en X (los años) y en Y (el PBI) y se obtiene línea de tendencia exponencial:

**Gráfico Nº 4.3, Línea de tendencia exponencial en el crecimiento del parque vehicular en Arequipa.**



Entonces según la ecuación que se obtiene podemos concluir que la tasa de crecimiento del Parque Vehicular Estimado de Arequipa es:  $0.0594 = 5.94\%$ .

En promedio la tasa de crecimiento es de 6.39%, redondeando a 6.40%.

#### 4.2.4. Determinación del tránsito medio diario anual al 2004.

El valor de tránsito varía con respecto al tiempo, normalmente incrementando en función a una tasa de crecimiento general o tasas de crecimiento individuales para cada tipo de vehículo.

$$T_j = T_i * (1 + r)^{t_j - t_i} \quad \text{Ec. N°4.15}$$

Dónde:

$T_j$  = Valor de tránsito al año final.

$T_i$  = valor de tránsito al año inicial.

$r$  = tasa de crecimiento considerada entre el tiempo  $i$  a  $j$ .

$t_j$  = Año de muestra del tránsito final.

$t_i$  = Año de muestra del tránsito inicial.

En nuestro caso necesitamos hallar el tránsito inicial por lo tanto la fórmula será:

$$T_i = \frac{T_j}{(1 + r)^{t_j - t_i}}$$

Ec. N° 4.16

$T_j = \text{TMDA}_{2012} = 16,460 \text{ veh/día.}$

$t_j = 2012$

$t_i = 2004$

$r = 6.4\%$

Entonces hallando la ecuación 4.16 tendremos que:

$$T_i = TMDA_{2004} = 10,021 \text{ veh/día.}$$

#### 4.2.5. Determinación de la composición del tránsito.

La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total, en si el porcentaje por tipo de vehículo del total de los vehículos que transitan por la vía en estudio.

**Tabla N° 4.7, Composición del Tránsito en porcentaje y Número de vehículos al 2004.**

VEHICULO	%	Nº veh.
Autos	68.153	6860
Pick up	12.337	1236
Combi rural	6.053	607
Micro	11.262	1129
Bus 2E	0.280	28
Bus 3E	0.036	4
Camión 2E	1.241	124
Camión 3E	0.380	38
Camión 4E	0.059	6
Semi trayler 2S1/2S2	0.031	3
Semi trayler 2S3	0.032	3
Semi trayler 3S1/3S2	0.030	3
Semi trayler >=3S3	0.038	4
Trayler 2T2	0.017	2
Trayler 2T3	0.015	2
Trayler 3T2	0.018	2
Trayler 3T3	0.016	2
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>10023</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6. Determinación de los factores de distribución por dirección y carril.

##### 4.2.6.1. Factor de distribución por dirección (D).

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección. Puede darse el caso de ser mayor en una dirección que en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado.

En el caso de la Av. Aviación el censo se realizó para una sola dirección, en este caso el factor de distribución será de 1.

##### 4.2.6.2. Factor de distribución por carril (L).

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

**Tabla N° 4.8, Factor de Distribución por Carril.**

Nro. De carriles por sentido	L
1	1
2	0.80 – 1
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Guía AASHTO 93.

El número de carriles por sentido es 2 y el valor de L es de 0.80.

#### 4.2.7. Determinación del periodo de análisis.

La guía AASHTO considera el periodo de análisis, que se refiere al periodo de tiempo en el cual el análisis del pavimento es conducido, similar al periodo de tiempo que cualquier estrategia de diseño debería cubrir.

El periodo de análisis es análogo al término “vida de diseño”, bajo esto, la ruta y su pavimento después de este periodo seguirá existiendo pero requerirá un nuevo diseño para afrontar las demandas estructurales para ese tiempo.

**Tabla N° 4.9, Periodo de Análisis.**

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

Fuente: Guía AASHTO 93.

Para el proyecto el periodo de análisis fue dado por la Municipalidad Provincial de Arequipa, el cual fue de 10 años.

#### 4.2.8. Determinación número total de repeticiones de ejes equivalentes.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual

forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser también distintas. Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en su número equivalente de ejes de una determinada carga, que define el daño en un pavimento de un tipo de eje cualquiera expresado en un eje simple equivalente estándar.

El valor acumulado de ejes equivalentes para todo el periodo de análisis se llama ESAL de diseño o W18. Se debe calcular el número acumulado de ejes equivalentes de toda la flota por todo el periodo de análisis.

Existen 2 métodos por los que se puede calcular los ejes equivalentes:

Metodología de espectros de carga y Metodología del ESAL unitario, en este caso utilizaremos la primera metodología.

#### **Metodología de espectros de carga:**

Como se sabe, el tránsito que circula sobre un pavimento está formado por un amplio espectro de cargas, desde los vehículos más livianos (autos) hasta los más pesados (camiones semirremolque o con acoplado). El número de pasadas de ejes debe transformarse en un número de ejes tipo, que de acuerdo a directivas de AASHTO es un eje simple de 18000 libras (18kips, 8.2tn u 80kN). Este eje se llama ESAL (equivalent simple axial load). Esta transformación se hace mediante tablas de factores equivalentes de carga "LEF" (load equivalent factor) que transforman ejes de determinado peso en un número equivalente de

ejes de 8.2tn. En el Manual AASHTO 93 se encuentran las tablas para transformar ejes simples, tándem o tridem en ejes simples equivalentes para serviciabilidad finales  $pt=2.0$ ,  $2.5$  o  $3.0$ .

Estos factores equivalentes son función de tipo eje (simple, tándem o tridem), carga por eje, serviciabilidad final y numero estructural.

Se define al factor equivalente de carga (LEF) como:

$$LEF = \frac{N^{\circ} \text{ de ESALs (80kN) que producen una perdida de serviciabilidad}}{N^{\circ} \text{ de ejes (xkN) que producen esa misma perdida de serviciabilidad}}$$

Es mucho más práctico trabajar con los factores equivalentes por vehículo, dado que mediante su empleo es posible determinar el número de pasadas de ejes tipo a partir de datos de composición de tránsito. Se define el factor equivalente por vehículo o factor de camión TF (truck factor) a esta relación:

$$TF = \frac{N^{\circ} \text{ ESALs totales}}{N^{\circ} \text{ de camiones}} \quad \text{Ec. N}^{\circ} \text{ 4.17}$$

El TF puede estar definido para cada configuración de camión en particular o para todo el conjunto de camiones.

Se determina un ESAL para cada carga de eje en función de cada tipo (simple, tándem y tridem).

$$ESAL_i = n_i \times EALF_i \times D \times L \times 365 \times g \quad \text{Ec. N}^{\circ} \text{ 4.18}$$

Dónde:

$n$  = número de ejes por día para cada tipo (simple, tándem y tridem).

$D$  = Factor de Distribución direccional.

$L$  = Factor de distribución por carril.

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

$g$  = Factor de incremento del crecimiento anual.

El valor de  $W18$  estará dado por:

$$W18 = \sum_{i=\text{ligeros}}^{i=\text{pesados}} ESAL_i$$

Ec. N°4.19

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

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

Ec. N°4.20

Dónde:

$z$  = número de años para el análisis (vida útil del pavimento).

$r$  = tasa de crecimiento (la misma que se usa en el cálculo del TMDA)

Calculando  $g$ :

$z = 10$  años

$r = 6.4\%$

$$g = \frac{(1 + 0.064)^{10} - 1}{0.064} = 13.43$$

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

- Ecuaciones del Ensayo AASHTO.
- Tablas de la guía AASHTO en función de la serviciabilidad y número estructural.
- Ecuaciones Aproximadas.

Se utilizaran las ecuaciones del ensayo AASHTO:

$$G = \log \left( \frac{4.2 - Pt}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{Ec. 4.21}$$

$$\beta_{18} = 0.4 + \left[ \frac{0.081(L_{18} + L_{2s})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \cdot L_{2s}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. 4.22}$$

$$\beta_x = 0.4 + \left[ \frac{0.081(L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \cdot L_{2s}^{3.23}} \right] \quad \text{Ec. 4.23}$$

$$EALF = \left[ \left( \frac{L_{18} + L_{2s}}{L_x + L_{2x}} \right)^{4.79} \left( \frac{10^{\beta_x}}{10^{\beta_{18}}} \right) (L_{2x})^{4.33} \right]^{-1} \quad \text{Ec. 4.24}$$

Dónde:

- G es el factor de pérdida de serviciabilidad
- Pt es la serviciabilidad final del pavimento flexible.
- L18 es el valor de carga equivalente (18 kips).
- L2s es el número de ejes equivalentes a determinar (1).
- SN es el número estructural del pavimento flexible.
- Lx es la carga normal del eje común (kips).

- L2x es el factor que define el tipo de eje Lx a determinar como eje equivalente simple; toma los valores de:

1 - para ejes simples

2 - para ejes tándem

3 - para ejes trídem

Datos que se necesitan para la obtención de los EALF mediante las ecuaciones AASHTO:

#### **a. Índice de Serviciabilidad.**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (Present Serviciability Index), mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto).

En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial esta función al diseño del pavimento y a la calidad de la construcción, mientras que la final o terminal está en función a la categoría del camino, es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista, los valores recomendados por la guía de diseño AASHTO son:

**Tabla Nº4.10, Serviciabilidad según AASHTO 93.**

Serviciabilidad inicial	Serviciabilidad final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Pf= 2.5 o más para caminos importantes
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	Pf= 2.0 para caminos de menor tránsito

La serviciabilidad final la establece el proyectista según criterio, en función del tipo de camino, periodo de diseño, confiabilidad etc.

El estado terminal corresponde a un valor Pf = 1.5, pero para el diseño se adopta un valor de Pf entre 2 y 3. Tenemos que tener en cuenta que a mayor serviciabilidad final, más resistente deberá ser la estructura diseñada.

En nuestro caso se tendrá que la serviciabilidad inicial de 4.2 y la serviciabilidad final será de 2.5.

**b. Numero Estructural.**

Para este caso el paquete estructural que sufrirá el daño ya se conoce, es decir, que se considerara el número estructural del paquete colocado en el año 2004, considerando que los coeficientes estructurales serán obtenidos a partir de los ensayos Marshall de la carpeta y CBR de la base (correlacionado como módulo resiliente).

En nuestro caso la ecuación del número estructural es:

$$SN = SN_1 + SN_2 \qquad \text{Ec. Nº4.25}$$

- $SN_1$  representa en la mayoría de casos a la capa asfáltica; la que está dada por:

$$SN_1 = a_1 D_1 \quad \text{Ec. N°4.26}$$

Dónde:

$a_1$  es el coeficiente estructural de la capa 1 (asfáltica).

$D_1$  es el espesor de la capa 1.

Para hallar el coeficiente estructural  $a_1$  se utiliza la figura 4.1, ingresando con el dato de cualquiera de los 3 ensayos que se muestran en la tabla. En nuestro caso utilizaremos los datos de los ensayos Marshall que fueron obtenidos en el año de construcción 2004, realizados por la supervisión, (Capítulo II Tabla N°2.11, Resumen de ensayo Marshall).

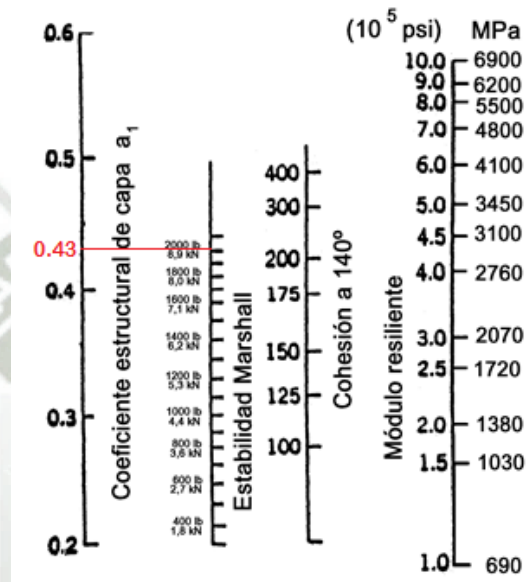
**Tabla N°4.11, Estabilidad Marshall.**

FECHA	ESTABILIDAD MARSHALL (kg)			
	1	2	3	
20/04/2004	1250	1455	1429	
21/04/2004	1098	1052	943	
23/04/2004	1080	958	967	
10/05/2004	1129	1251	966	
11/05/2004	1228	1292	1364	
12/05/2004	1129	1179	1089	
13/05/2004	1129	1179	1089	
14/05/2004	1129	1259	1388	
20/05/2004	1085	951	1002	
21/05/2004	901	885	921	
24/05/2004	1172	962	930	
<b>PROMEDIO</b>	<b>1027.58</b>	<b>1035.42</b>	<b>1007.58</b>	<b>1023.53</b>

Fuente: Elaboración propia.

La unidad de la estabilidad está dada en Kg para poder utilizar la figura 4.3, tenemos que cambiar las unidades a libras, la cual es: 2255.72 lb.

**Gráfico N° 4.4, Coeficiente estructural para capas asfálticas ( $a_1$ ) relacionado con varios ensayos (Fuente: AASHTO 93).**



Por lo tanto el coeficiente  $a_1$  será:

$$a_1 = 0.43$$

Según a las muestras que se tomaron en el tramo estudiado (Capítulo IV en la tabla 4.1, Espesores de capas estructurales del pavimento), tenemos que el espesor promedio de la carpeta asfáltica es:

$$D_1 = 2.2 \text{ pulg.}$$

Entonces aplicando la Ecuación 4.18, tenemos que:

$$SN_1 = 0.43 * 2.2 = 0.95 \text{ pulg.}$$

- **SN2 representa a la capa de base; que está dada por:**

Ecu. 4.27

Dónde:

a2 es el coeficiente estructural de la capa 2 (base).

D2 es el espesor de la capa 2.

m1 es el coeficiente de drenaje de la capa 2.

Para hallar el coeficiente estructural a2 se utiliza la figura 4.4, ingresando con el dato del promedio de los ensayos de CBR.

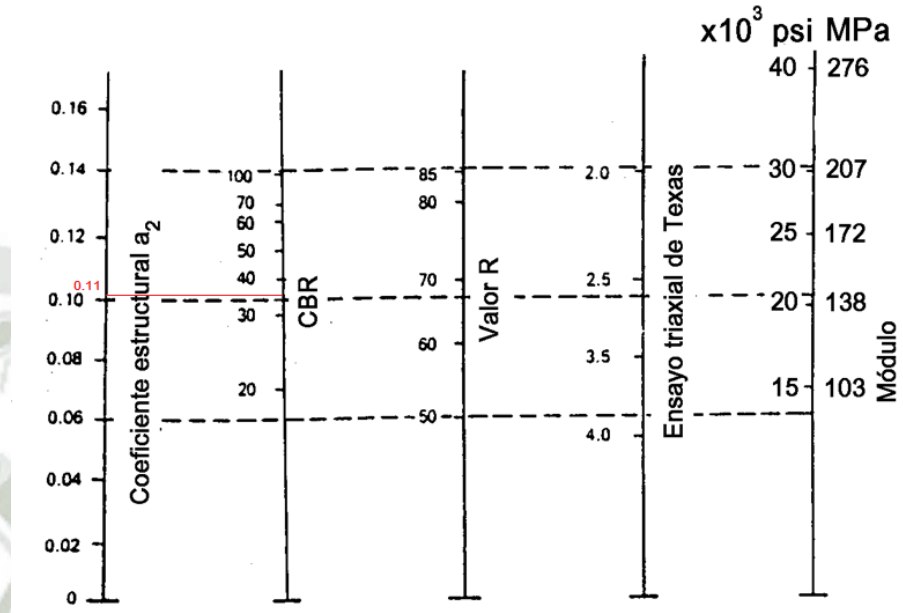
En este caso los datos utilizados serán los del Ensayo CBR que fueron obtenidos en los ensayos que se realizaron a la base, (Capítulo III – 3.1.4. Ensayo CBR, tabla N° 3.4), resumen de los resultados de ensayos en la base:

**Tabla N° 4.12, Resumen de los ensayos CBR a la base y subrasante.**

Muestra	Calicata	Ubicación	CBR	Promedio
Base	1	Km 5 + 053.50	42.00%	33.40%
	3	km 5 + 400.00	29.60%	
	5	km 5 + 900.00	28.60%	

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 4.5, Coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistente. ( $a_2$ ) (Fuente: AASHTO 93).**



Utilizando el promedio de los CBR de la base, obtenidos en la tabla la 4.14, se obtendrá el coeficiente  $a_2$ :

$$a_2 = 0.11$$

Según a las muestras que se tomaron en el tramo estudiado (Capítulo III, según la tabla 3.1, Espesores de capas estructurales del pavimento), tenemos que el espesor promedio de la base granular es:

$$D_2 = 11.81 \text{ pulg.}$$

El coeficiente de drenaje solo se aplica en bases y sub bases no tratadas, para bases y suba bases estabilizadas con cemento o

asfalto se considera el coeficiente igual a 1, en la primera parte de este capítulo, punto 4.1 Clima se calculó el coeficiente de drenaje, cuyo resultado es:

$$m = 1.19$$

Aplicando la Ecuación 4.19, tenemos que:

$$SN_2 = 0.11 * 11.81 * 1.19 = 1.55 \text{ pulg.}$$

El número estructural total será:




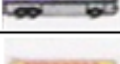







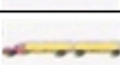





$$SN = 0.95 + 1.55$$

$$SN = 2.50 \text{ pulg.}$$

### c. Carga aplicada.

Se consideró el 100% de la máxima carga legal admitida por eje, según el Decreto Supremo N° 058-2003-MTC del Reglamento Nacional de Vehículos, se cuenta con la tabla de pesos y medidas. Para los vehículos ligeros (automóviles, Pick up y Combi rural) se consideran los valores promedios obtenidos en el censo de tránsito según tarjeta de propiedad y también revisando las características de los vehículos.

**Tabla N°4.13, Esquema y carga por eje por tipo de vehículo.**

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

Fuente: Reglamento nacional de vehículos.

- Con la tabla número 4.13 que nos da el esquema y pesos de ejes, determinamos el número de ejes por tipo de eje:

**Tabla Nº 4.14, Determinación Del Número De Ejes Por Tipo de vehículo.**

Vehículo	Esquema de ejes/pesos tn	Cantidad	EJES SIMPLES			EJES TANDEM			EJES TRIDEM		
			Eje/veh	Peso por eje Tn	Nro. Ejes totales	Eje/veh	Peso por eje Tn	Nro. Ejes totales	Eje/veh	Peso por eje Tn	Nro. Ejes totales
Auto	1 - 1	6830.00	2.00	0.67	13660.00						
	0.67 - 0.67										
Pick up	1 - 1	1236.00	2.00	1.30	2472.00						
	1.30 - 1.30										
Combi Rural	1 - 1	607.00	2.00	1.40	1214.00						
	1.40 - 1.40										
Micro	1 - 1	1129.00	2.00	3.82	2258.00						
	3.82 - 3.82										
Bus 2E	1 - 1	28.00	1.00	7.00	28.00						
	7 - 11		1.00	11.00	28.00						
Bus 3E	1 - 2	4.00	1.00	7.00	4.00	1.00	16.00	4.00			
	7 - 16										
Camion 2E	1 - 1	124.00	1.00	7.00	124.00						
	7 - 11		1.00	11.00	124.00						
Camion 3E	1 - 2	38.00	1.00	7.00	38.00	1.00	18.00	38.00			
	7 - 18										
Camion 4E	1 - 3	6.00	1.00	7.00	6.00				1.00	23.00	6.00
	7 - 23										
Semi Trailer 2S1/2S2	1 - 1 - 1	3.00	1.00	7.00	3.00						
	7 - 11 - 11		2.00	11.00	6.00						
Semi Trailer 2S3	1 - 1 - 3	3.00	1.00	7.00	3.00				1.00	25.00	3.00
	7 - 11 - 25		1.00	11.00	3.00						
Semi Trailer 3S1/3S2	1 - 2 - 1	3.00	1.00	7.00	3.00	1.00	18.00	3.00			
	7 - 18 - 11		1.00	11.00	3.00						
Semi Trailer 3S3	1 - 2 - 3	4.00	1.00	7.00	4.00	1.00	18.00	4.00	1.00	25.00	4.00
	7 - 18 - 25										
Trailer 2T2	1 - 1 - 1 - 1	2.00	1.00	7.00	2.00						
	7 - 11 - 11 - 11		3.00	11.00	6.00						
Trailer 2T3	1 - 1 - 1 - 2	2.00	1.00	7.00	2.00	1.00	18.00	2.00			
	7 - 11 - 11 - 18		2.00	11.00	4.00						
Trailer 3T2	1 - 2 - 1 - 1	2.00	1.00	7.00	2.00	1.00	18.00	2.00			
	7 - 18 - 11 - 11		2.00	11.00	4.00						
Trailer 3T3	1 - 2 - 1 - 2	2.00	1.00	7.00	2.00	2.00	18.00	4.00			
	7 - 18 - 11 - 18		1.00	11.00	2.00						
<b>TOTAL</b>		<b>16023.00</b>			<b>20005.00</b>	<b>TOTAL</b>		<b>57.00</b>	<b>TOTAL</b>		<b>13.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Luego de determinar el número de ejes por tipo de vehículo y tipo de ejes, realizamos una sumatoria por tipo de eje y peso, lo cual nos da:

**Tabla N°4.15, Numero de ejes totales de acuerdo a pesos y tipo de ejes.**

TIPO DE EJE	PESO (tn)	Nº de ejes totales	Total
EJES SIMPLES	0.67	13,660	20,005.00
	1.30	2,472	
	1.40	1,214	
	3.82	2,258	
	7.00	221	
	11.00	180	
EJES TANDEM	16.00	4	57.00
	18.00	53	
EJES TRIDEM	23.00	6	13.00
	25.00	7	

Fuente: Elaboración propia.

- Calculamos el EALF, aplicando las ecuaciones AASHTO:
  - a. Ecu. 4.21, dato la serviciabilidad final  $P_t = 2.5$

$$G = \log \left( \frac{4 - 2.5}{4 - 1.5} \right) = -0.20091$$

- b. Ecu. 4.22, datos:  $L_{18} = 18$ ;  $L_{2S} = 1$ ;  $SN = 2.50$

$$\beta_{18} = \left[ \frac{0.81 (18+1)^{3.23}}{(2.50+1)^{5.19} 1^{3.23}} \right] = 2.04114$$

- c. Ecu. 4.23, datos:  $L_x$  depende del peso por eje por tipo de vehículo en kips, sabiendo que 1tn es 2.205kips;  $L_{2x} = 1$  para

ejes simples, 2 para ejes tándem y 3 para ejes tridem; SN = 2.5.

$$\beta_x = 0.4 + \left[ \frac{0.081 (L_x + L_{2x})^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} \cdot L_{2x}^{3.23}} \right]$$

d. Entonces aplicando la ecuación 4.24 para cada tipo de vehículo tenemos los resultados de los EALF para cada tipo de eje y pesos, mostrando la siguiente tabla:

**Tabla N°4.16, EALF según peso y tipo de eje.**

TIPO DE EJE	PESO (tn)	EALF
EJES SIMPLES	0.67	0.00015
	1.3	0.00120
	1.4	0.00156
	3.82	0.06233
	7	0.55
	11	3.44952
EJES TANDEM	16	1.26873
	18	2.03888
EJES TRIDEM	23	1.29349
	25	1.79861

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos hallados en la tabla N° 4.16 podemos decir que:

- El daño que genera un eje simple de 0.67tn a un pavimento flexible de SN de 2.33pulg. equivale a 0.00016 pasadas de 1 eje simple de 18kips y respectivamente para cada peso.

Para hacer el cálculo del W18 más sencillo, se procedió a hacer una tabla diferenciando los diferentes pesos por tipo de eje, hablando el ESAL o W<sub>18</sub>:

Tabla N°4.17, ESAL o  $W_{18}$ .

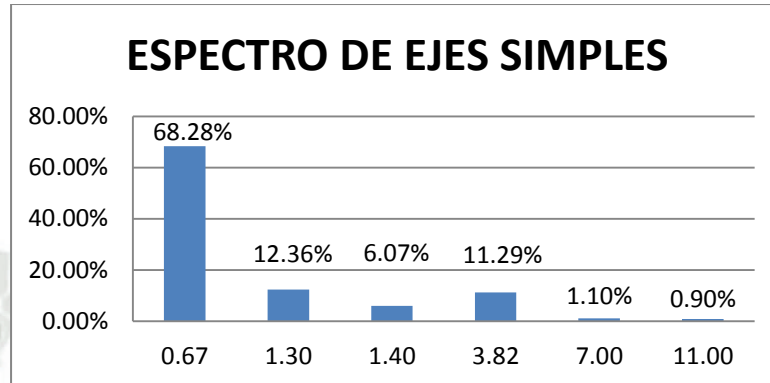
PESO (tn) EJES SIMPLES	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) SIMPLES
0.67	13660.00	68.28%	0.00015	1	0.8	365	13.43	8,035.89
1.30	2472.00	12.36%	0.00120	1	0.8	365	13.43	11,633.81
1.40	1214.00	6.07%	0.00156	1	0.8	365	13.43	7,427.38
3.82	2258.00	11.29%	0.06233	1	0.8	365	13.43	551,967.24
7.00	221.00	1.10%	0.55000	1	0.8	365	13.43	476,702.25
11.00	180.00	0.90%	3.44952	1	0.8	365	13.43	2,435,137.05
	<b>20005.00</b>							<b>3,490,903.62</b>
PESO (tn) EJES TANDEM	# EJES TANDEM día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TANDEM
16.00	4.00	7.02%	1.26873	1	0.8	365	13.43	19,903.13
18.00	53.00	92.98%	2.03888	1	0.8	365	13.43	423,798.85
	<b>57.00</b>							<b>443,701.98</b>
PESO (tn) EJES TRIDEM	# EJES TRIDEM día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TRIDEM
23.00	6.00	46.15%	1.29349	1	0.8	365	13.43	30,437.33
25.00	7.00	53.85%	1.79861	1	0.8	365	13.43	49,377.29
	<b>13.00</b>							<b>79,814.62</b>
<b>Σ ESAL o <math>W_{18}</math> =</b>								<b>4.01E+06</b>

Fuente: Elaboración propia.

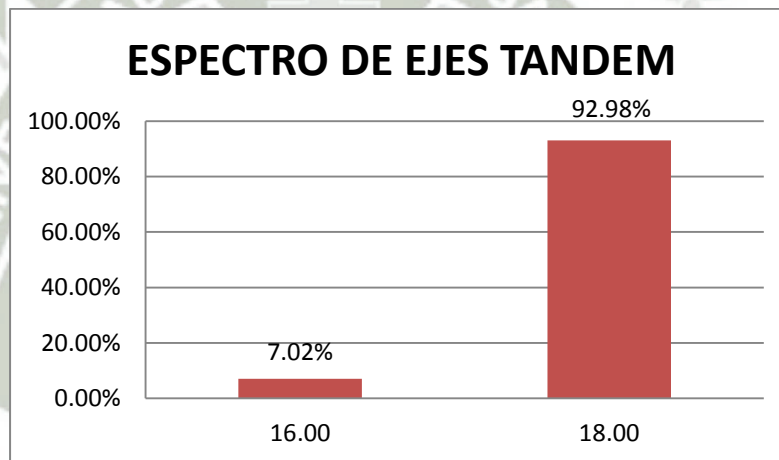
Entonces tenemos que nuestro  $W_{18} = 4.01E+06$  eq<sub>18kips</sub>

Entonces los espectros de carga vienen a ser:

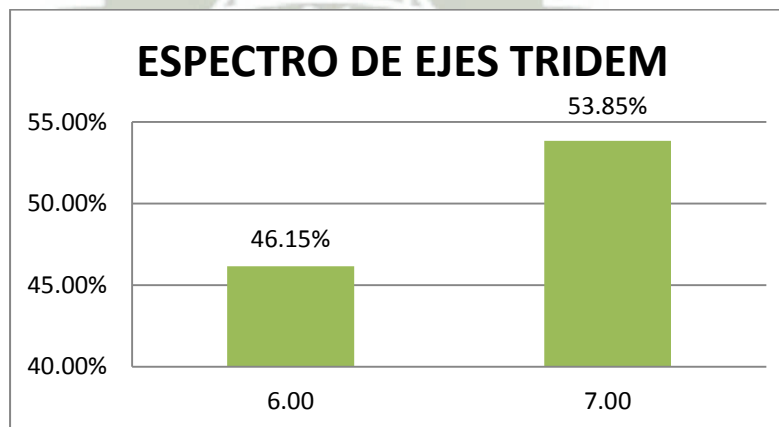
**Gráfico N°4.6, Espectro de carga de ejes simples.**



**Gráfico N°4.7, Espectro de carga de ejes tándem.**



**Gráfico N°4.8, Espectro de carga de ejes tridem.**



#### 4.3. SUBRASANTE.

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento flexible. Las estructuras de pavimentos se han diseñado por el método mecanicista de multicapas, el cual utiliza como parámetro de diseño para la subrasante el Modulo Resiliente.

Sin embargo por simplicidad, la guía AASHTO 93 utiliza el valor de soporte CBR (California Bearing Ratio) para la caracterización de la capacidad de soporte del suelo de subrasante o suelo de fundación.

Según lo indicado se debe:

- a. Sectorizar tramos, es decir, elegir tramos de longitud importante con variaciones mínimas de CBR. Esto se puede hacer aplicando el criterio de la media móvil.
- b. Según el primer paso, para cada tramo considerado, elegir el CBR de diseño en función al tránsito; de ser el caso se deberán elegir también los tramos que requieran ser previamente estabilizados o cambiados. Esto se realiza utilizando los percentiles de diseño en función de  $W_{18}$ .

**Tabla N°4.18, Percentil de diseño en función al  $W_{18}$ .**

W18	Percentil de diseño
$<10^4$	60
$\leq 10^5$	75
$>10^5$	87.5

Fuente: Guía AASHTO 93.

El W18 es  $4.01E+06_{eq18kips}$  entonces nuestro percentil de diseño es 87.5

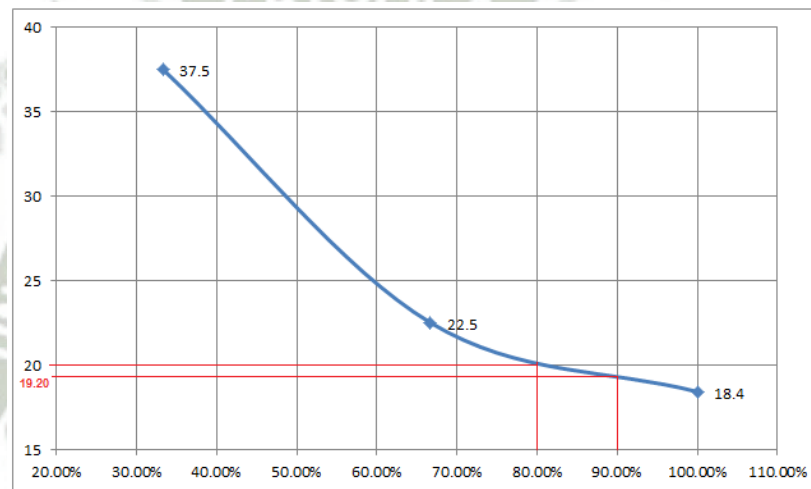
Hallando el percentil de diseño:

**Tabla N°4.19, Percentil de diseño.**

Progresivas	CBR	n	Percentil
5+600	37.5	1	33.33%
5+900	22.5	2	66.67%
5+210	18.4	3	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

**Grafico 4.9, Percentiles.**



Ya que el percentil de diseño es 87.5 podemos hacer una interpolación con los datos mostrados en el grafico anterior.

**Tabla N°4.20, CBR de diseño.**

	Percentil	CBR
Valor inferior	80	20
Valor superior	90	19.2
<b>CBR diseño</b>		<b>19.40</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al no haberse efectuado ensayos directos para determinar el módulo resiliente, este se estimara a partir de las siguientes correlaciones:

- Para suelos finos de  $CBR \leq 7\%$ :

$$Mr(lb / pu l g^2) = 1500 * CBR$$

- Para suelos de  $7 \leq CBR \leq 15\%$ :

$$Mr(lb / pu l g^2) = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 1941 * CBR^{0.6845}$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 3205 * CBR^{0.55}$$

- Para suelos de  $CBR > 15\%$ :

$$Mr(lb / pu l g^2) = 3000 * CBR^{0.65}$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 4326 * Ln(CBR) + 241$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 1938.9 * CBR^{0.6854}$$

La correlación que se utilizara en nuestro caso es la última  $CBR > 15\%$ , aplicando las 2 correlaciones tenemos que:

$$Mr(lb / pu l g^2) = 4326 * Ln(19.40) + 241$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 13068.77$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 1938.9 * 19.40^{0.6854}$$

$$Mr(lb / pu l g^2) = 14798.40$$

Entonces el módulo resiliente promedio será:

$$Mr(lb / pu l g^2) = 13933.58$$

#### 4.4. CONFIABILIDAD.

Confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tienen lugar en ese lapso.

La confiabilidad se denota con  $R$  y a cada nivel de confiabilidad le corresponde un valor  $Z_R$  (desviación estándar normal) que es la abscisa correspondiente a un área  $R$  en la curva de distribución normalizada (Campana de Gauss). Se usa la curva de distribución normal o campana de Gauss debido a que todas las variables involucradas en el diseño tienen distribución normal (Propiedades de los materiales y de los suelos), salvo la de los ejes equivalentes (ESALs) que es logaritmo normal.

**Tabla N° 4.21, Niveles de confiabilidad sugerida para distintos caminos.**

Tipo de camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía AASHTO 93.

**Tabla N° 4.22, Valores de  $Z_R$  para distintas confiabilidades.**

R %	$Z_r$
50	0
60	-0.25
70	-0.52
75	-0.67
80	-0.84
85	-1.04
90	-1.29
95	-1.64
99	-2.33
99.9	-3.09

Fuente: Guía AASHTO 93.

En nuestro caso la confiabilidad será  $R = 95\%$ , por lo tanto el valor de  $Z_R$   $\equiv -1.64$ .

#### 4.5. DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

Otra variable a tener en cuenta es el desvío estándar o error estándar combinado de todas las variables, AASHTO recomienda tomar los valores de la siguiente tabla:

**Tabla N° 4.25, Valores de  $S_o$  para distintas condiciones de diseño.**

Condición de diseño	Tipo de pavimento	$S_o$
Variación considerando que no hay errores en el tránsito	Rígido	0.34
	Flexible	0.44
Variación considerando errores en el tránsito	Rígido	0.39
	Flexible	0.49

Fuente: Guía AASHTO 93.

En nuestro caso se consideraron errores en el tránsito ya que solo se tomaron los datos 1 semana, por lo tanto la desviación estándar es de  $0.49$ .

#### 4.6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO.

Se tienen las variables de entrada, para la utilización de la Ecuación del Número estructural:

- Transito estimado en ejes equivalente o  $W_{18} = 4.01E+06 \text{ eq}_{18\text{kips}}$
- Confiabilidad:  $R = 95\%$
- Desviación estándar normal:  $Z_r = -1.64$
- Desviación estándar:  $S_o = 0.49$
- Módulo resiliente efectivo:  $M_R = 13933.58 \text{ lb/pulg}^2$
- Perdida de serviciabilidad:  $\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7$

La ecuación para hallar el Número estructural en cm es:

$$\log W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 \log \left( \frac{SN}{2.54} + 1 \right) - 0.2 + \frac{\log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{\left( \frac{SN}{2.54} + 1 \right)^{5.19}}} + 2.32 \log M_r - 8.07$$

Calculando tenemos que el número estructural requerido es:

$$\mathbf{SN = 9.58 \text{ cm} \approx 3.77 \text{ pulg.}}$$

#### 4.7. DETERMINACIÓN DE ESPESORES.

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa, es la ecuación 4.25:

Siendo:

- $a_1, a_2$  y  $a_3$  coeficientes estructurales, que ahora son adimensionales.

- $m_1$  y  $m_2$  son los coeficientes de drenaje.
- $D_1$ ,  $D_2$  y  $D_3$  son los espesores en pulg. o mm.

Los coeficientes los hallamos en el punto 4.2.8.1 Metodología de espectros de cargas, en el inciso b, por otro lado si partimos de la premisa del proyecto de la Av. Aviación de solo realizar 2 capas (asfalto y base):

**Tabla N° 4.24, Paquete estructural propuesto en 2 capas y el mismo material.**

CAPAS	D (cm)	D (pulg)	$a_i$	$m_i$	SN
Asfalto	10	3.94	0.430	-	1.69
Base	48	18.90	0.110	1.19	2.08
<b>Espesor del paquete</b>	<b>58</b>				<b>3.77</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8. PROPUESTA DE DISEÑO.

El número estructural hallado para los materiales analizados en la estructura de pavimento es:

$$\text{SN} = 3.77 \text{ pulg} = 9.58 \text{ cm}$$

Para los coeficientes de capa se tendrá en cuenta que los materiales de base y sub base tienen que cumplir con los requisitos de la norma:

- $\text{CBR}_{\text{BASE}} = 100\%$  (para tránsito de vehículos pesados, en la sección 305: Base Granular “Granulometría”).
- $\text{CBR}_{\text{SUBRASANTE}} = \text{mínimo } 40\%$  (para alturas  $>$  y  $<$  a 3000msnm, Sección 303: Subbase Granular “tabla 303-2”).

Por lo tanto para estos tipos de materiales, tenemos los coeficientes de capa respectivos:

$$CBR_{BASE} = 100\% \rightarrow a_1 = 0.14$$

$$CBR_{SUBBASE} = 40\% \rightarrow a_2 = 0.12$$

El coeficiente de drenaje será:  $m_1 = 1.10$

**Tabla N° 4.25, Paquete estructural propuesto en 3 capas.**

CAPAS	D (cm)	D (pulg)	ai	mi	SN(cm)
Asfalto	6.00	2.36	0.430	-	2.58
Base	20.00	7.87	0.14	1.10	3.08
Subbase	30.00	11.81	0.12	1.10	3.96
<b>Espesor del paquete</b>	<b>56.00</b>				<b>9.79</b>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces el paquete estructural es de:

- **Carpeta asfáltica:** 6.00cm ≈ 2.50 pulg.
- **Capa base:** 20.00cm ≈ 8.00 pulg.
- **Capa subbase:** 30.00cm ≈ 12.00 pulg.

## CAPITULO V

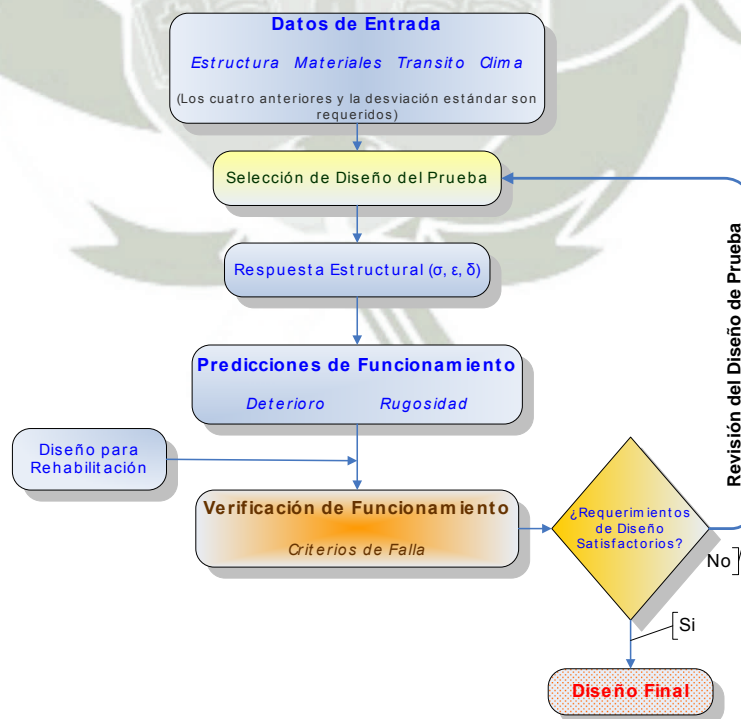
### DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 2008

#### 5.1. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 2008.

Se realizara con la guía de diseño mecánico – empírica de pavimentos (MEPDG – Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide). Combina el análisis mecanicista con la verificación empírica del comportamiento del pavimento a través de la predicción de deterioro, permite la calibración de los modelos de desempeño en función a las condiciones locales.

#### 5.2. ESTRUCTURAS Y COMPONENTES DEL DISEÑO MECÁNICO – EMPÍRICO.

Imagen 5.1, Diagrama de flujo de las etapas de diseño para el software MEPDG, (Fuente: Guía de diseño AASHTO 2008).



### 5.3. BENEFICIOS DEL PROCEDIMIENTO MECÁNICO – EMPÍRICO.

**5.3.1. Impacto de fallas tempranas,** Esta guía incluye expresiones que consideran en forma directa el envejecimiento de los materiales, mes a mes a lo largo del periodo de diseño.

### 5.3.2. Impacto del incremento de longevidad de los pavimentos.

Entre los resultados que nos da están los beneficios económicos para los organismos viales encargados de su mantenimiento, ya que se pueden obtener planes de mantenimiento de acuerdo a los resultados.

### 5.4. JERARQUÍA DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.

El ingreso de datos es importante ya que no siempre se cuenta con toda la data existente o no se tengas estudios previos, es por ello que se tienen tres niveles de jerarquía de entrada de datos:

- **Nivel 1:** Tiene un alto nivel de exactitud y por lo tanto deberían tener el más bajo nivel de incertidumbre o error. Utilizado para pavimentos de rutas muy importantes sometidas a un tránsito muy intenso y pesado, evita las fallas prematuras lo cual lleva a graves consecuencias económicas, los datos de entrada son:
  - Módulo dinámico de mezclas de concreto asfáltico en caliente.
  - Recolección de datos de espectros de carga (tránsito).
  - Ensayos (in situ) no destructivos de deflexión.

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

- **Nivel 2:** Tiene un nivel de exactitud medio y los datos deberían estar más cercanos a los procedimientos típicos usados con las ediciones previas de la Guía AASHTO, este nivel se debería usar cuando se disponga de recursos o cuando no se disponga del equipamiento para los ensayos requeridos en el Nivel 1, los datos de entrada son:
  - Tomados de una base de datos de un organismo vial.
  - Deducidos de un programa de ensayos limitados.
  - Estimados a través de correlaciones conocidas.
  
- **Nivel 3:** Tiene un nivel de exactitud mínimo, que se justifica cuando las consecuencias de una falla temprana son mínimas (Rutas sometidas a bajo tránsito). los datos de entrada son:
  - Seleccionados por el usuario o adopción de valores medios típicos para cada región.
  - Los módulos resilientes de los materiales no ligados usados comúnmente por el organismo vial correspondiente.

Se cuenta con la opción de trabajar en los 3 niveles de jerarquía de acuerdo a los datos que se tengan para el diseño.

## 5.5. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- 5.5.1. Procesamiento de datos de entrada a través del periodo de diseño,** En el diseño se considera el envejecimiento a largo plazo y el consecuente cambio en el módulo dinámico del concreto asfáltico cerca de la superficie, por ello procesa datos de entrada como:

- Promedio diario de la cantidad de ejes simples, tándem, tridem y quad por rango de carga para cada mes a lo largo del periodo de diseño.
- Temperaturas dentro de la capa asfáltica que comprende:  
Valores medios de temperatura para el módulo dinámico de la mezcla asfáltica lo cual nos permite tener el análisis de ahuellamiento y fisuración por fatiga.
- Datos horarios de temperatura los cuales permiten al programa realizar las predicciones de deterioro por fisuración térmica.
- Datos meteorológicos de un año de duración como mínimo.

#### **5.5.2. Modelo de respuesta estructural.**

Debido a las cargas de tránsito y a las condiciones ambientales, los resultados del modelo de respuesta son tensiones, deformaciones y desplazamientos en las distintas capas que forman el paquete estructural.

Las variables de respuesta crítica son:

- Deformaciones de tracciones horizontales en la parte inferior y superior de la capa de concreto asfáltico (para ambos mecanismos de fisuración por fatiga: abajo hacia arriba y viceversa).
- Deformaciones y tensiones verticales por compresión dentro de la capa asfáltica (para ahuellamiento de capa asfáltica).

- Deformaciones y tensiones verticales por compresión dentro de las capas no ligadas de base u sub base (para ahuellamiento de capas no ligadas).
- Deformaciones y tensiones verticales por compresión en la parte superior de la sub rasante (para ahuellamiento de sub rasante).

### **5.5.3. Acumulación de daño incremental.**

La vida de diseño de un pavimento se divide en periodos de análisis más cortos que comienzan a partir del momento en que el pavimento se abre al tránsito (intervalo de análisis). Dentro de cada intervalo de análisis todos los factores que afectan la respuesta del pavimento y daño se mantienen constantes, se incluyen:

- Niveles de tránsito.
- Módulo dinámico del concreto asfáltico.
- Módulo de base y sub base.
- Módulo de sub rasante.

Para cada intervalo de análisis se determinan valores críticos de tensiones y/o deformaciones para cada tipo de falla. Estos valores críticos se convierten en valores de fallas incrementales.

### **5.5.4. Predicción del deterioro.**

El diseño y análisis se basan en la acumulación del daño a lo largo del tiempo. La unidad de tiempo para el daño incremental (intervalo de análisis) es de 1 mes o 15 días.

Las fallas consideradas en el diseño de un pavimento flexible:

- Fisuración por fatiga (abajo hacia arriba “agrietamiento de piel de cocodrilo” y arriba hacia abajo “agrietamiento longitudinal”).
- Fisuración térmica.
- Deformación permanente (Ahuellamiento).
- Análisis de lisura (IRI) basada en las fallas citadas más otros factores.

## 5.6. DATOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Antes de ingresar al programa tenemos que tener un diseño previo y las características de los materiales a utilizar en la futura estructura del pavimento.

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

Los primeros datos solicitados son:

- Nombre del proyecto y descripción.
- Vida de diseño (Design Life): 10 años de vida esperada.
- Mes de construcción de base y subbase (Base/subgrade Construction Month): Febrero → Agosto 2004.
- Mes de construcción de la capa asfáltica (Pavement Construction Month): Abril → Octubre 2004.
- Mes de apertura al tránsito (Traffic Open Month): Junio → Diciembre 2004
- Tipo de pavimento (Type of Design): Define si se realizara el diseño de un pavimento nuevo ya sea flexible o rígido.

Para las fechas tenemos que desfasarlas 3 meses, ya que el programa trabaja la data climática en el hemisferio Norte.

### 5.6.2. Ubicación del proyecto (Site/Project Identification).

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

### 5.6.3. Parámetros de análisis (Analysis Parameters).

#### a. IRI inicial (Initial IRI).

Colocamos la rugosidad inicial del pavimento. Los valores típicos tomados inicialmente son de 50 a 100 pulg/milla (0.8 a 1.6 m/km).

#### b. Criterio de comportamiento (Performance Criteria).

##### - **Confiabilidad:**

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

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

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

**Tabla Nº 5.1, Niveles de confiabilidad.**

Clasificación Funcional	Niveles de Confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal/Autopistas	85 - 97	80 - 95
Arterias principales	80 - 95	75 - 90
Colectores	75 - 85	70 - 80
Local	50 - 75	50 - 75

Fuente: AASHTO 2008.

La Avenida Aviación es una Arteria Principal entonces nuestro nivel de confiabilidad es de 90%.

- **Lisura o IRI final (Terminal IRI):** Indica la calidad de rodadura del pavimento. Los valores típicos admisibles son: 150 a 250 pulg/milla (2.4 a 4 m/km), se utilizara como dato 250 pulg/milla.
- **Fisuración de arriba hacia abajo – Agrietamiento Longitudinal (AC surface Down Cracking. Long. Cracking):**  
Máxima longitud admisible de fisura longitudinal por milla de largo de pavimento dentro del periodo de diseño.  
Los valores típicos admisibles son: 1000 pies/milla (190m/km).
- **Fisuración de abajo hacia arriba - piel de cocodrilo (AC Bottom Up Cracking - Alligator Cracking):** Se define como porcentaje de área de trocha afectada.  
Los valores típicos admisibles son: 25 al 50% del total del área de trocha, se utilizara el 25% es preferible el valor mínimo.

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

Fisuras transversales que aparecen regularmente y cubren todo ancho de la calzada, es la máxima longitud de fisuras por milla a lo largo del periodo de diseño.

*Los valores típicos admisibles son: 1000 pies/milla (190 m/km).*

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

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

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

Se manifiesta como huellas dentro de la zona transitada por las ruedas de los vehículos, es la acumulación de la deformación permanente de la capa asfáltica, base, sub base no ligadas y sub rasante. *El valor típico admisible es: 0.9 pulg.*

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

En la deformación permanente solamente en la Carpeta Asfáltica el rango va de 0.3 a 0.5 pulg, *colocaremos como dato 0.5 pulg.*

#### 5.6.4. Tránsito.

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

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

**Tabla Nº 5.2, Equivalencia entre categorías FHWA y MTC.**

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

Fuente: Elaboración propia.

##### a) Datos requeridos para la caracterización del tránsito.

Se tendrán los datos solicitados por el programa, los cuales son:

- Información del volumen del tránsito en el año base.
- Factores de ajuste del volumen de tránsito.
- Factores de distribución de carga por eje.
- Datos generales de tránsito.
- Configuraciones de los ejes.
- Distancia entre ejes.

- **Información del volumen del tránsito en el año base.**
  - **Transito medio diario anual de vehículos pesados (camiones) en ambas direcciones (AADTT = Average anual daily truck traffic):** Es el volumen total de tránsito de camiones (clase 4 a 13 según la FHWA), tenemos como dato el TMDA<sub>2004</sub>.

**TMDA<sub>2004</sub> = 10,021 veh/día.**

**Tabla Nº 5.3, Composición del tránsito.**

VEHICULO	%	Nº veh.
Autos	68.153	6860
Pick up	12.337	1236
Combi rural	6.053	607
Micro bus	11.262	1129
Bus 2E	0.280	28
Bus 3E	0.036	4
Camión 2E	1.241	124
Camión 3E	0.380	38
Camión 4E	0.059	6
Semi trayler 2S1/2S2	0.031	3
Semi trayler 2S3	0.032	3
Semi trayler 3S1/3S2	0.030	3
Semi trayler >=3S3	0.038	4
Trayler 2T2	0.017	2
Trayler 2T3	0.015	2
Trayler 3T2	0.018	2
Trayler 3T3	0.016	2
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>10023</b>

Fuente: Elaboración propia.

Ya que de acuerdo a la clasificación de la FHWA se utiliza la información a partir de los 2E, se realizó una conversión de los vehículos livianos no considerados a camión 3E, realizando una equivalencia con los EALF hallados en el capítulo IV.

**Tabla N° 5.4, Equivalencias de vehículos livianos a camión 3E.**

<b>Automóviles:</b>			
1automovil	=	0.00030	EALF
1camion 3E	=	2.59809	EALF
2.59809	-	1	camión 3E
0.00030	-	x	camión 3E
<b>x</b>	=	<b>0.000115</b>	camión 3E
<b>1 automóvil equivale a 0.000115 camión 3E</b>			
<b>Pick up</b>			
1 pick up	=	0.00250	EALF
1camion 3E	=	2.59809	EALF
2.59809	-	1	camión 3E
0.00250	-	x	camión 3E
<b>x</b>	=	<b>0.000962</b>	camión 3E
<b>1 pick up equivale a 0.000962 camión 3E</b>			

<b>Combi rural</b>			
1 combi rural	=	0.00322	EALF
1camion 3E	=	2.59809	EALF
2.59809	-	1	camión 3E
0.00322	-	x	camión 3E
<b>x</b>	=	<b>0.001239</b>	camión 3E
<b>1 combi rural equivale a 0.001239 camión 3E</b>			
<b>Microbús</b>			
1 microbús	=	0.12192	EALF
1camion 3E	=	2.59809	EALF
2.59809	-	1	camión 3E
0.12192	-	x	camión 3E
<b>x</b>	=	<b>0.046927</b>	camión 3E
<b>1 microbús equivale a 0.046927 camión 3E</b>			

**Tabla N° 5.5, Cantidad de vehículos livianos a camión 3E.**

	Nº veh.	EALF Camión 3E	Camión 3E
Auto	6830.00	0.000115469	1.00
Pick up	1236.00	0.000962245	1.00
Combi rural	607.00	0.001239372	1.00
Micro	1129.00	0.046926781	53.00
<b>TOTAL CAMION 3E</b>			<b>56</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 5.6, Cantidad total de vehículos.**

VEHICULO	Nº veh.	FHWA
Autos	0	<b>CLASE 2</b>
Pick up	0	<b>CLASE 3</b>
Combi rural	0	
Micro	0	
Bus 2E	28.00	<b>CLASE 4</b>
Bus 3E	4.00	
Camión 2E	124.00	<b>CLASE 5</b>
Camión 3E	94.00	<b>CLASE 6</b>
Camión 4E	6.00	<b>CLASE 7</b>
Semi trailer 2S1/2S2	3.00	<b>CLASE 8</b>
Semi trailer 2S3	3.00	<b>CLASE 9</b>
Semi trailer 3S1/3S2	3.00	
Semi trailer >=3S3	4.00	<b>CLASE 10</b>
Trailer 2T2	2.00	<b>CLASE 11</b>
Trailer 2T3	2.00	
Trailer 3T2	2.00	
Trailer 3T3	2.00	<b>CLASE 12</b>
<b>TOTAL</b>	<b>277</b>	

**Tabla Nº 5.7, Distribución vehicular por tipo de vehículo  
según FHWA.**

FHWA	MTC Perú	Nº Vehículos
clase 4	Bus 2E, Bus 3E-1	32
clase 5	C2 (1-1)	124
clase 6	C3 (1-2)	94
clase 7	C4 (1-3)	6
clase 8	T2S1 (2S1, 2S2)	3
clase 9	T2S3, T3S1 (3S1, 3S2)	6
clase 10	T3S3	4
clase 11	C2R2 (2T2), C2R3 (2T3), C3R2 (3T2)	6
clase 12	C3R3 (3T3)	2
clase 13	-----	0
<b>Total</b>		<b>277</b>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces el tránsito medio diario anual de camiones al año base 2004 es: **AADTT = 277 veh/día.**

- **Número de carriles en la dirección de diseño (Number of lanes in design direction):** Nuestro número de carriles en la dirección de diseño es 2.
- **Porcentaje de camiones en la dirección de diseño (Percent of trucks in design direction), (D):** Es el 100%, ya que el estudio de tránsito que se realizó fue en su totalidad para la dirección del diseño.
- **Porcentaje de vehículos en el carril de diseño (Percent of trucks in design lane), (L):** Ya que tenemos 2 carriles por sentido el valor que se tomara el de 80%.

- **Velocidad operativa de los vehículos (Operational speed) (mph):** Para los vehículos de la clase 4 (bus 2E) a la clase 13 (trayler 3T3), la velocidad promedio es de 32.26  $\pm$  10.88 km/hr, por lo que tomamos como dato 25mph (40km/hr).

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

- **Factores de ajuste mensual MAF (monthly adjustment factors):** Simplemente representa la proporción anual del tránsito de vehículos para la composición vehicular dada, que ocurre en un mes específico, en nuestro caso es 1 para cada mes.

- **Distribución por clase de vehículo (Vehicle Class Distribution).** Se tiene la siguiente tabla:

**Tabla N° 5.8, Porcentaje de distribución de vehículos.**

VEHICULO	Nº veh.	%
clase 4	32	11.5
clase 5	124	44.8
clase 6	94	33.9
clase 7	6	2.2
clase 8	3	1.1
clase 9	6	2.2
clase 10	4	1.4
clase 11	6	2.2
clase 12	2	0.7
clase 13	0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>277.00</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Factores de distribución horaria (Hourly Distribution) HDF.

Tabla Nº 5.11, Variación horaria del volumen de tránsito.

HORAS	VARIACION DEL PORCENTAJE HORARIO DEL VOLUMEN DE TRANSITO							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROM.
24:00 - 01:00	1.48	1.36	1.60	1.70	1.80	1.12	0.90	1.4
01:00 - 02:00	0.97	1.02	1.19	1.19	1.34	0.83	1.01	1.1
02:00 - 03:00	0.90	0.87	0.83	0.90	0.97	0.65	1.08	0.9
03:00 - 04:00	0.85	0.94	0.98	0.91	1.18	0.86	1.08	1.0
04:00 - 05:00	1.29	1.94	1.67	1.05	1.63	1.20	1.27	1.4
05:00 - 06:00	2.32	3.65	3.17	2.06	2.52	1.97	1.90	2.5
06:00 - 07:00	3.39	5.20	4.16	3.46	3.65	2.77	2.77	3.6
07:00 - 08:00	5.34	6.69	5.05	4.68	5.28	4.14	3.87	5.0
08:00 - 09:00	6.02	4.39	5.78	6.57	6.06	7.09	7.11	6.2
09:00 - 10:00	5.92	5.89	6.10	6.12	5.91	7.29	6.99	6.3
10:00 - 11:00	6.09	5.45	5.78	4.97	6.01	7.95	7.36	6.2
11:00 - 12:00	5.63	5.17	5.35	4.85	5.64	8.22	7.69	6.1
12:00 - 13:00	5.80	5.83	5.81	5.93	3.78	5.79	7.10	5.7
13:00 - 14:00	7.73	7.20	6.73	7.20	7.01	4.58	7.63	6.9
14:00 - 15:00	5.14	6.05	5.24	5.31	5.12	8.57	8.08	6.2
15:00 - 16:00	5.68	5.96	4.82	5.52	4.37	7.53	6.97	5.8
16:00 - 17:00	5.20	5.38	5.05	5.46	5.30	6.39	5.97	5.5
17:00 - 18:00	6.65	6.71	6.39	6.97	6.68	5.32	5.06	6.3
18:00 - 19:00	5.74	5.83	5.47	5.67	5.64	4.52	4.31	5.3
19:00 - 20:00	5.34	5.04	5.56	5.99	5.74	3.91	3.76	5.1
20:00 - 21:00	4.43	4.18	5.93	5.24	6.18	3.31	3.11	4.6
21:00 - 22:00	3.74	2.35	3.47	3.75	3.63	2.79	2.67	3.2
22:00 - 23:00	2.63	1.64	2.08	2.51	2.38	1.87	1.21	2.1
23:00 - 24:00	1.74	1.27	1.82	1.98	2.18	1.32	1.12	1.6
% total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0	100.0	100.0
Veh, día	16527.00	16010.00	15844.00	15902.00	17281.00	12915.00	10822.00	

Fuente: Elaboración propia.

- Factores de crecimiento de tránsito (Traffic Growth Factors). Se pueden utilizar 3 funciones de crecimiento de tránsito, sin crecimiento, crecimiento lineal y crecimiento compuesto.

En nuestro caso el crecimiento es compuesto teniendo 6.4%.

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

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

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

**Tabla N° 5.10, Cargas por ejes en tonelada y libras para cada clase de vehículo.**

CLASE	TIPO	CONFIGURACION				UND	EJES SIMPLES				EJES TANDEM		EJES TRIDEM
4	Bus 2E	1	1			tn	7	11	-	-	-	-	-
						lb	15432.34	24250.82	-	-	-	-	-
	Bus 3E	1	2			tn	7	-	-	-	16	-	-
						lb	15432.34	-	-	-	35273.92	-	-
5	Camión 2E	1	1			tn	7	11	-	-	-	-	-
						lb	15432.34	24250.82	-	-	-	-	-
6	Camión 3E	1	2			tn	7	-	-	-	18	-	-
						lb	15432.34	-	-	-	39683.16	-	-
7	Camión 4E	1	3			tn	7	-	-	-	-	-	23
						lb	15432.34	-	-	-	-	-	50706.26
8	Semi trailer 2S1	1	1	1		tn	7	11	11	-	-	-	-
						lb	15432.34	24250.82	24250.82	-	-	-	-
	Semi trailer 2S2	1	1	2			tn	7	11	-	-	18	-
							lb	15432.34	24250.82	-	-	39683.16	-
9	Semi trailer 2S3	1	1	3		tn	7	11	-	-	-	-	25
						lb	15432.34	24250.82	-	-	-	-	55115.50
	sema trailer 3S1	1	2	1			tn	7	11	-	-	18	-
							lb	15432.34	24250.82	-	-	39683.16	-
10	Semi trailer 3S3	1	2	3		tn	7	-	-	-	18	-	25
						lb	15432.34	-	-	-	39683.16	-	55115.50
11	Trailer 2T2	1	1	1	1	tn	7	11	11	11	-	-	-
						lb	15432.34	24250.82	24250.82	24250.82	-	-	-
	Trailer 2T3	1	1	1	2		tn	7	11	11	-	18	-
							lb	15432.34	24250.82	24250.82	-	39683.16	-
	Trailer 3T2	1	2	1	1		tn	7	11	11	-	18	-
							lb	15432.34	24250.82	24250.82	-	39683.16	-
12	Trailer 3T3	1	2	1	2	tn	7	11	-	-	18	18	-
						lb	15432.34	24250.82	-	-	39683.16	39683.16	-

Fuente: Elaboración propia.

Con las cargas por eje en libras hacemos un conteo es decir, por ejemplos para los vehículos de clase 4, se tienen 2 vehículos los cuales sumando cuentan con 2 ejes de 7tn, la carga de un eje simple de 7tn (15432lb) pasa las 15000lb por lo tanto cuenta como 2 de 16000lb, para un eje simple de 11tn (24250lb) que pasa las 24000lb cuenta como una de 25000lb y para un eje tándem de 16tn (35273lb) que pasa las 35000lb cuenta como una de 36000lb, entonces se hace la siguiente tabla con los resultados antes mencionados y se saca el porcentaje de participación de cada peso:

**Tabla Nº 5.11, Ejemplo de conteo de cargas.**

CLASE 4			
Eje Simple			
Carga	16000	25000	Total
Conteo	2	1	3
Porcentaje	66.66%	33.33%	100
Eje Tándem			
Carga	36000		Total
Conteo	1		1
Porcentaje	100%		100%

Fuente: Elaboración propia.

Esto se realiza para cada clase de vehículo, para hacer más fácil la entrada de datos se puede crear un archivo en Excel y concatenar los datos, para luego guardarlos en el block de notas y guardarlos con una extensión (.alf), hay que tener en cuenta el orden del archivo y los datos que se ingresan, el cálculo y el archivo en .alf se encuentran en el anexo 5.2.

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

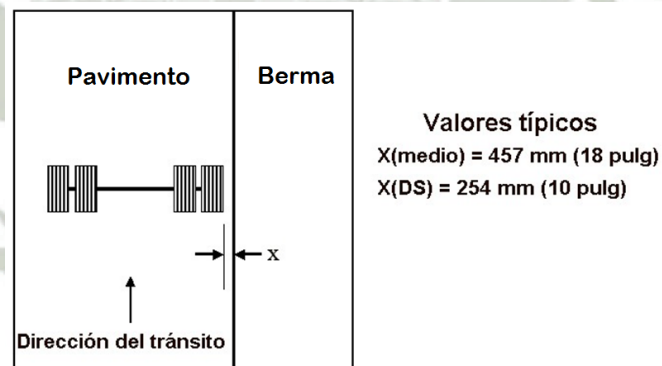
- **Ubicación media de las ruedas (Mean Wheel location),**

**pulg:** Es la distancia entre el borde externo de la rueda al borde externo del pavimento. El valor promedio en el nivel 3 basado a la experiencia local es de 18 pulg (45cm).

- **Desvió estándar de la deriva del tránsito (Traffic wander standard deviation), pulg:**

La deriva del tránsito se usa para determinar el número de aplicaciones de carga por eje sobre un punto dado para predecir los deterioros y el comportamiento del pavimento.

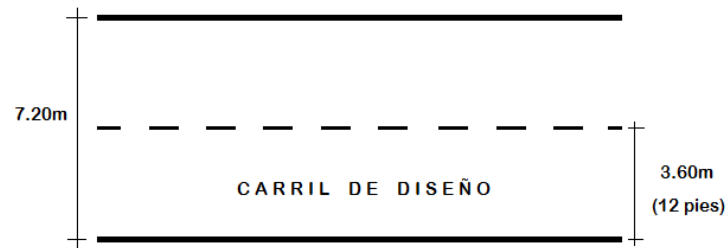
**Imagen N° 5.18, Valores típicos para la media de las ruedas y desviación estándar.**



- **Ancho de Carril (Desing lane width), pies:**

Se refiere al ancho real del carril utilizado por el tránsito. Se define como la distancia entre las marcas limitantes de carriles.

Imagen N° 5.19, Ancho del carril.



- **Número de ejes por tipo y clase de camión (Number Axles/Truck):**

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

Tabla N° 5.12, Número de eje por tipo y clase de camión.

CLASE	TIPO	CONFIGURACION	NUMERO DE EJES POR VEH.			Nº VEH.	NUMERO DE EJE POR CLASE		
			SIMPLES	TANDEM	TRIDEM		SIMPLES	TANDEM	TRIDEM
4	Bus 2E	1 1	3	1		2	1.5	0.5	
	Bus 3E	1 2							
5	Camión 2E	1 1	2			1	2		
6	Camión 3E	1 2	1	1		1	1	1	
7	Camión 4E	1 3	1		1	1	1		1
8	Semi trailer 2S1	1 1 1	5	1		2	2.5	0.5	
	Semi trailer 2S2	1 1 2							
9	Semi trailer 2S3	1 1 3	4	1	1	2	2	0.5	0.5
	Semi trailer 3S1	1 2 1							
10	Semi trailer 3S3	1 2 3	1	1	1	1	1	1	1
11	Trailer 2T2	1 1 1 1	10	2		3	3.33	0.67	
	Trailer 2T3	1 1 1 2							
	Trailer 3T2	1 2 1 1							
12	Trailer 3T3	1 2 1 2	2	2		1	2	2	

Fuente: Elaboración propia.

- **Configuración de los ejes (Axle Configuration):**
  - **Ancho promedio del eje (Average axle width), pies:** Es la distancia entre los dos bordes externos del eje, el ancho máximo es 2.60m. Se toma un valor de 8.5 pies (2.60 m).
  - **El espacio entre ruedas duales (Dual tire spacing) pulgadas:** Es la separación de centro a centro transversal entre los neumáticos dobles de un eje y se calcula un valor promedio entre 30 y 32 cm, con un valor típico de 12 pulg.
  - **Presión de los neumáticos (Tire pressure), psi = lb/pulg<sup>2</sup>:** La presión de los neumáticos se debe introducir para los neumáticos, tanto simple y dual. El valor adoptado por defecto es de 120psi.
  - **El espacio entre ejes (Axle spacing) pulg:** Es la distancia entre dos ejes consecutivos que conforman un eje tándem, trídem o quad. En promedio, esta distancia es de 51.6 pulg (1.31 m) para ejes tándem y de 49.2 pulg (1.25 m) para ejes trídem o quad.
- **Distancia entre ejes (Wheelbase):**
  - **Distancia media entre ejes delantero y trasero (Average axle) pies:** Considerando vehículos cortos, medianos y largos, con una separación media entre ejes de 12 pies

(3.65m), 15 pies (4.60 m) y 18 pies (5.50 m) respectivamente.

- **Porcentaje de camiones (Percent of trucks) (%):**

Entonces se define qué porcentaje de estos camiones de clase 8 a la 13 cuentan con la separación corta, mediana o larga usando por defecto valores de 33%, 33% y 34% a menos que se disponga de otra información.

#### 5.6.5. Clima.

Todos los datos sobre clima necesarios para el MEPDG están disponibles en las estaciones meteorológicas, situadas generalmente en los campos de aviación de todo los EEUU. El MEPDG tiene un gran número de estaciones meteorológicas integrado en su software para facilitar su uso e implementación (actualmente posee 851 estaciones).

Para la realización de la presente tesis se creó una estación ficticia con los datos climáticos de la ciudad de Arequipa, ya que la Guía MEPDG necesita una gran cantidad de datos en base horaria climatológica, toda la información que se necesito fue suministrada por el servicio meteorológico del Aeropuerto de la ciudad de Arequipa “Alfredo Rodríguez Ballón” y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología “SENAMHI”. Los datos fueron organizados en un archivo

con extensión .icm, como se muestra en la siguiente imagen, en una forma tal que pudieran ser leídos por el software MEPDG.

**Imagen N° 5.25, Formato de datos climáticos para estación ficticia.**

	Fecha comienzo de registros	Fecha fin de registros	Profundidad de nivel freatico	Codigo de nivel freatico constante	Indice de congelamiento (°F-dia)	Humedad relativa media mensual
Longitud	20020101	20031231	10	-1,-1,-1,-1	59.64	44.78
Latitud	-71.56	-16.37	8003	1418.77	4.44	50.65, 60.5, 46, 32, 25.5, 29.5, 26, 25.5, 28.5, 31, 43.5
Mes	1	2002	6.25	17.4333		
Dia	0	53.8	0	0	10	
Año	1	53.2	0	5	10	
	2	52.3	0	0	37.5	10
	3	52.2	0	0	37.5	10
	4	52.5	0	12	37.5	10
	5	53.2	0	8	37.5	10
	6	52.3	0	7	0	10
	7	52.3	0	14	0	10
	8	52.3	0	14	0	10
	9	52.3	0	7	0	10
	10	53.6	0	21	0	10
Hora	11	53.8	0	8	62.5	10
	12	51.8	0	3	37.5	10
	13	59.2	0	7	62.5	10
	14	61	0	3	62.5	10
	15	64.4	0	7	62.5	10
	16	66.6	0	14	87.5	10
	17	66.6	0	12	75	10
	18	67.6	0	9	75	10
	19	66.6	0	10	75	10
	20	64.9	0	9	62.5	10
	21	62.4	0	7	62.5	10
	22	58.6	0	5	37.5	10
	23	55.6	0	3	50	10
	1	2	2002	6.25	17.4333	1524.93
Precipitación (pulg)	0	52.2	0	5	37.5	10
	1	49.5	0	3	37.5	10
	2	47.8	0	0	62.5	10

### 5.6.6. Estructura del pavimento (Structure).

Todos los datos de las características de los materiales ingresados para cada capa, serán los resultados que se obtuvieron de los ensayos realizados en el capítulo III.

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

Se correlaciona directamente con la cantidad de energía solar disponible que es absorbida por la superficie del pavimento, se puede decir que a superficies más claras y reflectivas, menor será la absorción superficial de onda corta. El valor utilizado para un asfalto nuevo será de 0.90,

- **Capas (Layers):**

Se ingresan las capas de la estructura del pavimento (Asfalto, Base granular y sub rasante) cada capa con su tipo de material y espesor, como datos tenemos los del diseño del proyecto es decir:

**Carpeta asfáltica: 5cm (2.00 pulg).**

**Base granular: 20cm (7.87 pulg), Material A-1-a.**

**Sub rasante: última capa, Material A-1-b.**

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

- **Gradación del agregado (Aggregate Gradation),**

Del capítulo III Muestreo y análisis de la estructura real del pavimento en el numeral 3.2.6 Lavado asfáltico, tenemos:

* Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/4":	0.00%
* Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/8":	27.69%
* Porcentaje Retenido Acumulado malla N°4:	47.26%
* Porcentaje Pasante Acumulado malla N° 200:	3.58%

- **Propiedades del Ligante Asfáltico (Asphalt binder).**

Permite al usuario proporcionar insumos respecto a las propiedades aglutinantes del asfalto, con el fin del determinar por completo la curva maestra del módulo dinámico y modulo del ligante asfáltico.

Grado de penetración 85-100.

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

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

**General:**

**Temperatura de referencia (Reference temperatura) °F:**

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

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

\* **Contenido del ligante efectivo (Effective binder content)**

%. También hallado en el capítulo IV, numeral 4.1.5, inciso

b. determinación del % de asfalto, y se tiene 6.38% de cemento asfáltico.

\* **Vacíos de aire (Air voids) %**. Se tiene el porcentaje de vacíos de los ensayos de compactación del asfalto, obtenidos por la supervisión, el cual es de vacíos es 5.66%.

\* **Peso unitario total (total unit weight) pcf – pound cubic feet (libra sobre pie cubico)**. Hay que tener en cuenta que el peso unitario total varía con respecto al % de vacíos, Peso unitario total es 2.32gr/cm<sup>3</sup> (144.84lb/pie<sup>3</sup>).

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

La relación de Poisson para materiales bituminosos oscila normalmente entre 0.15 y 0.50 y está en función a la temperatura, como muestra la tabla:

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

**Propiedades térmicas (Thermal properties):**

\* **Conductividad térmica del asfalto “K” (Thermal conductivity asphalt) BTU/hr-ft-°F**. El valor usado será 0.63 BTU/hora-pie-°F.

\* **Capacidad de calor del asfalto (Heat capacity asphalt) BTU/lb-°F**. El valor usado será de 0.23 BTU/lb-°F.

- **Capa no tratadas de Base Granular (Layer #2):**

Se trabaja con la clasificación SUCS o ASSHTO.

**Propiedades de resistencia (Strength properties).**

Se especifica el valor del módulo resiliente de la base, el coeficiente de Poisson y el coeficiente de empuje en reposo ( $K_0$ ) que para materiales granulares compactados se toma  $K_0 = 0.5$ . El módulo resiliente se calcula en función al CBR:

$$M_R = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$M_R = 2555 (33.40)^{0.64}$$

$$M_R = 24131.74 \approx 24132 \text{ lb/pulg}^2$$

**ICM.**

Se tiene en cuenta que es una capa compactada y se ingresaran los valores del % pasante acumulado:

**Tabla Nº 5.13, Granulometría base granular.**

TAMIZ	% PASANTE ACUMULADO
200	6.74
100	11.06
80	12.52
50	17.70
40	20.61
30	23.67
16	32.44
10	38.75
8	40.93
4	51.05
3/8"	62.69
1/2"	67.98
3/4"	75.46
1"	80.24
1 1/2"	88.57
2"	100

Fuente: Elaboración propia.

- **Sub rasante (Layer #3):**

**Propiedades de resistencia (Strength properties).**

Igual que para la base  $K_0 = 0.5$ , de acuerdo a los ensayos se tiene que el CBR de la sub rasante es 26.13%.

$$M_R = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$M_R = 2555 (26.13)^{0.64}$$

$$M_R = 20623.39 \approx 20623 \text{ lb/pulg}^2$$

ICM.

**Tabla N° 5.14, Granulometría sub rasante.**

TAMIZ	% PASANTE ACUMULADO
200	10.56
100	17.84
80	20.25
50	27.72
40	31.29
30	35.17
16	44.39
10	50.71
8	52.48
4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
3"	100.00

Fuente: Elaboración propia.

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

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

- Superficie de onda corta – capacidad de absorción.
- Conductividad térmica y capacidad calorífica.

- Resistencia media a la tracción.
- Deformación por fluencia (Creep compliance).
- Coeficiente de contracción térmica.

**a. Resistencia media a la deformación (Average Tensile**

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

**b. Creep compliance:** Es la deformación irrecuperable de un material visco-elástico sometido a un ensayo de resistencia a la tracción, a diferentes temperaturas (-4, 14 y 32°F) y periodos de tiempo. Se trabaja con el tipo de aglutinante PEN 85-100 y los datos recomendados están en 1/GPa que debes estar en unidades inglesas 1/PSI (1/(lb/pulg<sup>2</sup>)), como muestra la siguiente tabla:

**Tabla N° 5.15, Datos de ingreso Creep Compliance.**

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

Fuente: AASHTO 2008.

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

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

### 5.7. Resultados.

Los resultados que nos entrega el programa se encuentran en el anexo 5.3 los cuales son:

- **Datos de entrada.** Aquí se encuentra un resumen de todos los datos ingresados al programa desde los parámetros de análisis, hasta las características de cada una de las capas de la estructura del pavimento, incluyendo los parámetros calculados o derivados para las propiedades de la base y la sub rasante.
- **Datos de calibración.** Se muestran los datos para cada tipo de falla el nivel de análisis, con su propio factor de calibración global y regional que se observa solo cuando ha sido modificado.

- **Resumen de datos climáticos.** Aquí se ubican las temperaturas promedios por quintiles mensuales para la superficie, subcapa 1, subcapa 2 y subcapa 3, también se encuentra una estadística anual de clima con datos de temperatura media, precipitación media, índice de congelamiento y número medio anual de ciclos de deshielo.
- **Resumen de datos de confiabilidad.** Se encuentra una tabla con los valores típicos inicialmente tomados que son los límites de daños que podemos tener, la confiabilidad puesta para cada falla, el daño predicho, confiabilidad predicha que evalúa si nuestra falla se encuentra dentro de los rangos establecidos y si es aceptable o es que se tiene que modificar la estructura del pavimento.

**Tabla N° 5.16, Resumen de Resultados.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	97.9	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	90	52.1	76.090	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	90	6.3	90.760	Pass
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	1.00	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.13	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.53	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

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

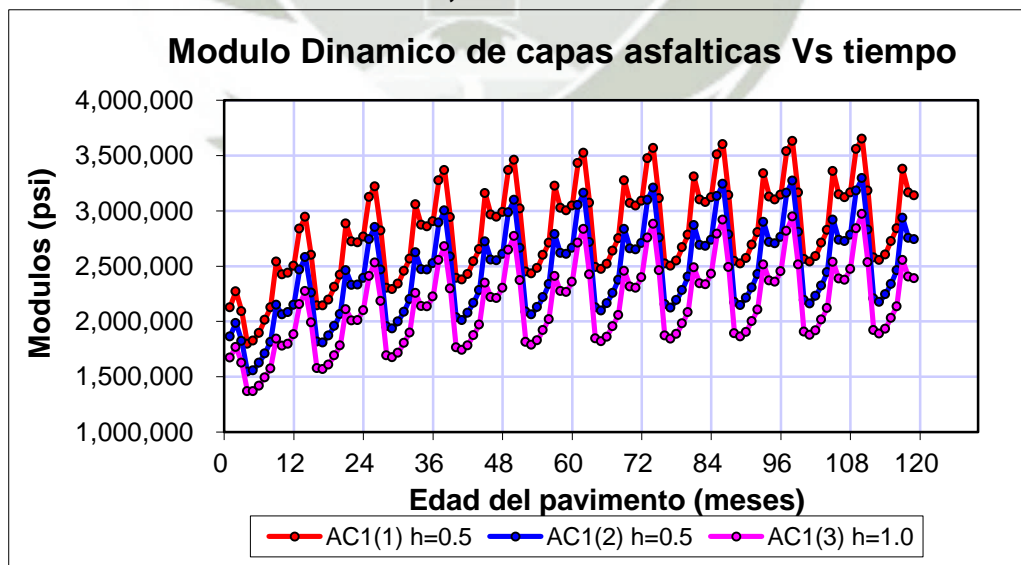
Tabla N° 5.17, Resumen del daño predicho por año.

Daño predicho									
Edad pavimento		Agrietamiento Longitudinal (ft/mi)	Piel de cocodrilo (%)	Agrietamiento transversal (ft/mi)	Ahuellamiento CA (in)	Ahuellamiento total (in)	IRI (in/mi)	Numero acumulado camiones	IRI con confiabilidad ad (in/mi)
mes	año								
12	1	1.74	0.0862	0	0.041	0.364	78.5	80939	106.93
24	2	4.41	0.289	0	0.057	0.403	81.1	167059	111.1
36	3	7.74	0.595	0	0.068	0.429	83.3	258690	114.27
48	4	11.7	1.01	0	0.078	0.45	85.3	356186	117.04
60	5	16.4	1.54	0	0.088	0.467	87.3	459921	119.74
72	6	21.7	2.19	0	0.096	0.483	89.3	570295	122.46
84	7	27.9	2.99	0	0.104	0.497	91.4	687734	125.2
96	8	34.9	3.92	0	0.112	0.51	93.5	812688	127.99
108	9	42.9	5	0	0.12	0.523	95.6	945639	130.88
120	10	52.1	6.26	0	0.128	0.535	97.9	1087100	133.83

Fuente: Software MEPDG.

- Resultados de los cálculos del módulo dinámico.** Para cada capa que se presenta en la estructura del pavimento, (espesores de 0.5", 0.5" y de 1.0" Carpeta asfáltica), base (espesores 2.6" y 5.3") y subrasante (espesor 24.1" y 247.5" que representa una capa infinita), graficando los módulos dinámicos.

Gráfico N° 5.2, Módulos dinámicos.



- Predicción detallada del agrietamiento por fatiga.

**Tabla N° 5.18, Resumen de la Predicción detallada del Agrietamiento por Fatiga por año.**

<b>Fatigue Cracking (Arietamiento por fatiga)</b>									
Edad del pavimento		Arietamiento Long. superficial		(Arietamiento Long. 0.5pulg de CA		Arietamiento Piel de Cocodrilo en la Carpeta Asfáltica		Confiabilidad	
		Daño Máximo (%)	Agriet. Máximo (ft/mi)	Daño Máximo (%)	Agriet. Máximo (ft/mi)	Daño Máximo (%)	Agriet. Máximo (%)	Agriet. Long. (ft/mi)	Agriet. Piel de cocodrilo (%)
mes	año								
12	1	0.324	1.74	0.00795	0.01	1.96	0.09	570.69	2.3
24	2	0.599	4.41	0.0152	0.02	3.86	0.29	775.18	15.41
36	3	0.867	7.74	0.0227	0.03	5.78	0.59	943.14	18.47
48	4	1.14	11.7	0.0304	0.05	7.78	1.01	1090.82	19.09
60	5	1.42	16.4	0.0387	0.07	9.87	1.54	1223.39	19.64
72	6	1.71	21.7	0.0474	0.09	12.1	2.19	1344.54	20.3
84	7	2.02	27.9	0.0566	0.12	14.4	2.99	1459.5	21.1
96	8	2.34	34.9	0.0664	0.16	16.8	3.92	1565.45	22.03
108	9	2.68	42.9	0.0768	0.2	19.4	5	1666.42	23.11
120	10	3.05	52.1	0.0879	0.24	22.1	6.26	1765.05	24.37

Fuente: Software MEPDG.

Para el agrietamiento longitudinal nos da un análisis en la superficie y a 0.5" de espesor de la carpeta, en cambio para el agrietamiento de piel de cocodrilo analiza todo el espesor de la carpeta.

Con estos resultados, se presentan los gráficos por tipo de falla, para cada mes del periodo de vida del pavimento, presentando así:

- Grafico del Agrietamiento Longitudinal.
- Grafico del Agrietamiento Piel de Cocodrilo.

Gráfico N° 5.3, Agrietamiento longitudinal vs tiempo.

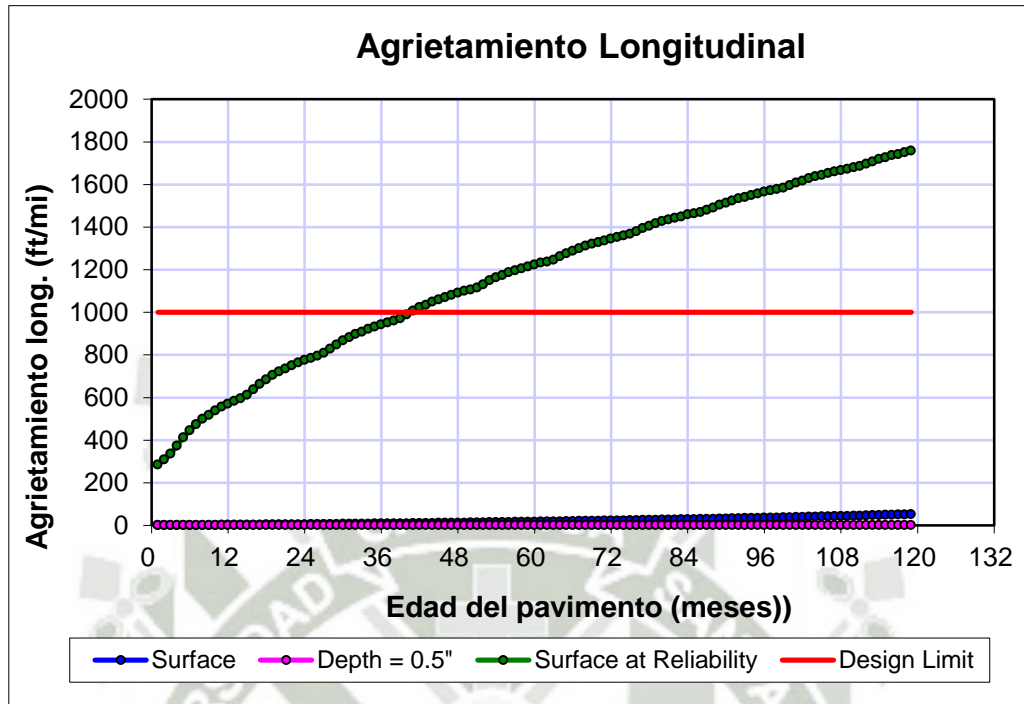
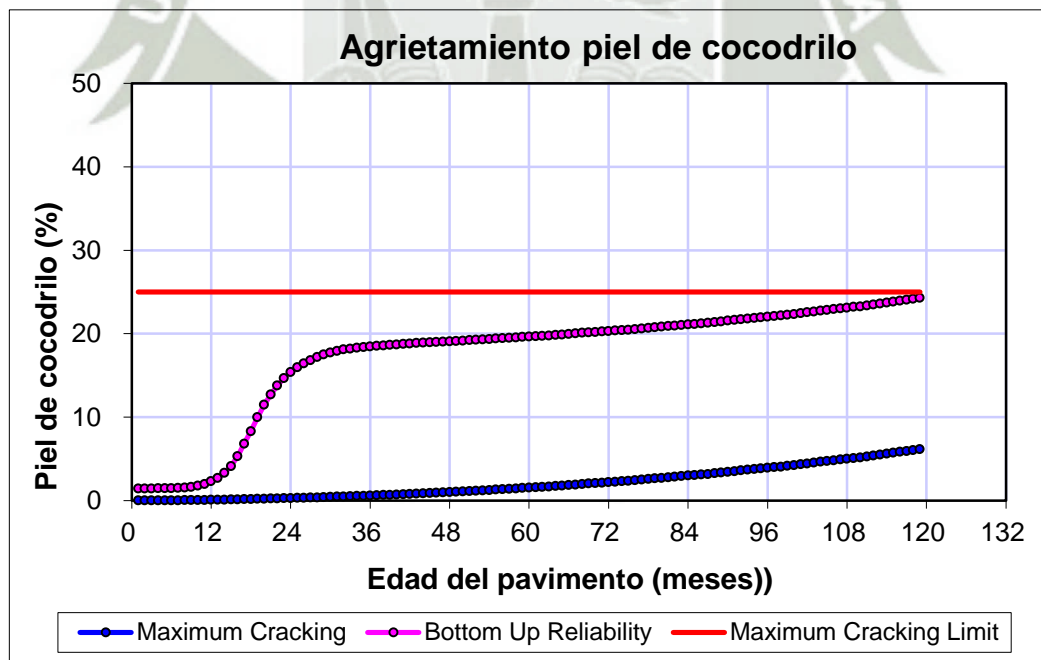


Gráfico N° 5.4, Agrietamiento piel de cocodrilo vs tiempo.



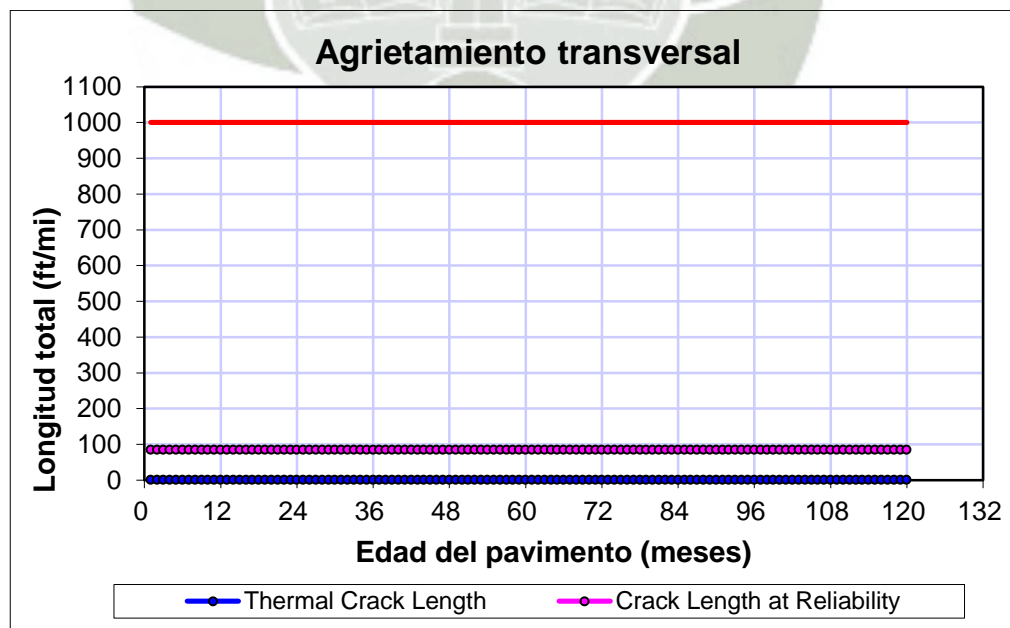
- **Predicción detallada del agrietamiento transversal.** Se muestra en detalle los resultados de la falla transversal.

**Tabla N° 5.19, Resumen de la Predicción detallada del Agrietamiento transversal.**

Arietamiento Transversal						
Edad pavimento		Profundidad de agriet. $C_{ave}$ (in)	Radio de profundidad $C/h_{ac}$	Long. De agriet. (ft/mi)	Espaciamiento promedio de agriet. (ft)	Long. De agriet. confiabilidad (ft/mi)
mes	año					
12	1	0	0	0		84.3
24	2	0	0	0		84.3
36	3	0	0	0		84.3
48	4	0	0	0		84.3
60	5	0	0	0		84.3
72	6	0	0	0		84.3
84	7	0	0	0		84.3
96	8	0	0	0		84.3
108	9	0	0	0		84.3
120	10	0	0	0		84.3

Fuente: Software MEPDG.

**Gráfico N° 5.5, Agrietamiento transversal.**



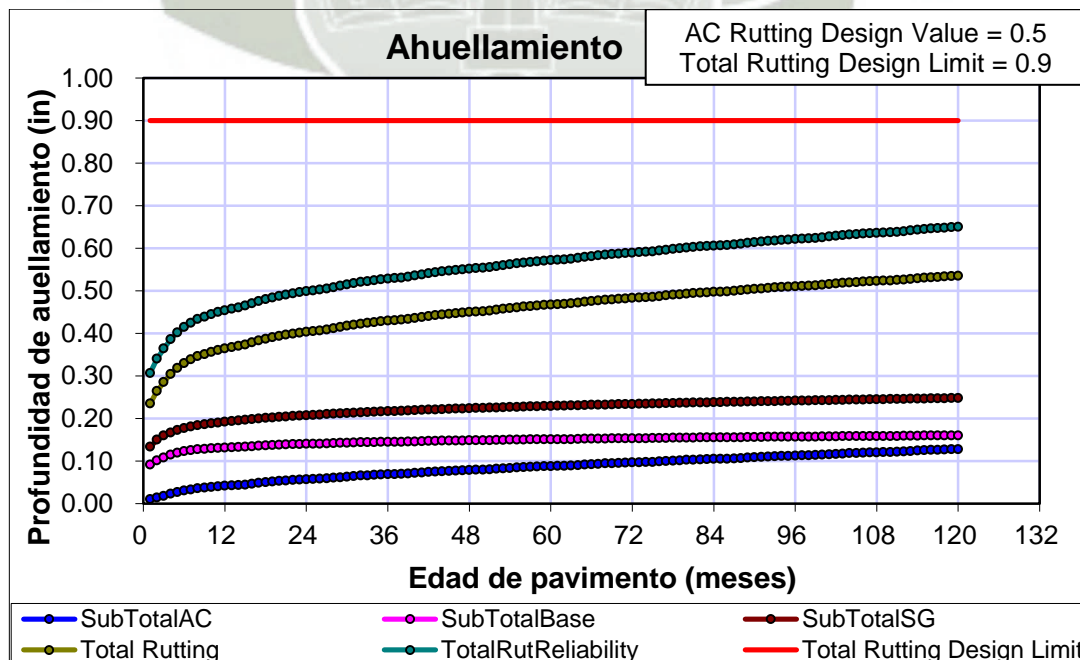
- **Predicción detallada del Ahuellamiento.** Se encuentra el ahuellamiento para la asfáltica, base granular (GB) y subrasante (SG), también se ubican el ahuellamiento total y el ahuellamiento afectado por la confiabilidad, para cada mes de la vida útil del pavimento.

**Tabla Nº 5.20, Resumen de la Predicción detallada del Ahuellamiento.**

Edad pavimento		Ahuellamiento Maximo, in (pulgadas)							Ahuellamiento total confiabilidad
mes	año	AC1	GB2	SG3	SubTotal AC	SubTotal Base	SubTotal SG	Total	
12	1	0.0412	0.1313	0.1918	0.0412	0.1313	0.1918	0.3642	0.454
24	2	0.0565	0.1397	0.2071	0.0565	0.1397	0.2071	0.4034	0.4986
36	3	0.0683	0.1445	0.2165	0.0683	0.1445	0.2165	0.4293	0.5281
48	4	0.0784	0.148	0.2234	0.0784	0.148	0.2234	0.4498	0.5516
60	5	0.0876	0.1507	0.229	0.0876	0.1507	0.229	0.4672	0.5715
72	6	0.0961	0.1529	0.2336	0.0961	0.1529	0.2336	0.4827	0.5893
84	7	0.1043	0.1549	0.2377	0.1043	0.1549	0.2377	0.4969	0.6057
96	8	0.1122	0.1567	0.2413	0.1122	0.1567	0.2413	0.5102	0.6211
108	9	0.12	0.1582	0.2445	0.12	0.1582	0.2445	0.5227	0.6356
120	10	0.1276	0.1597	0.2475	0.1276	0.1597	0.2475	0.5348	0.6497

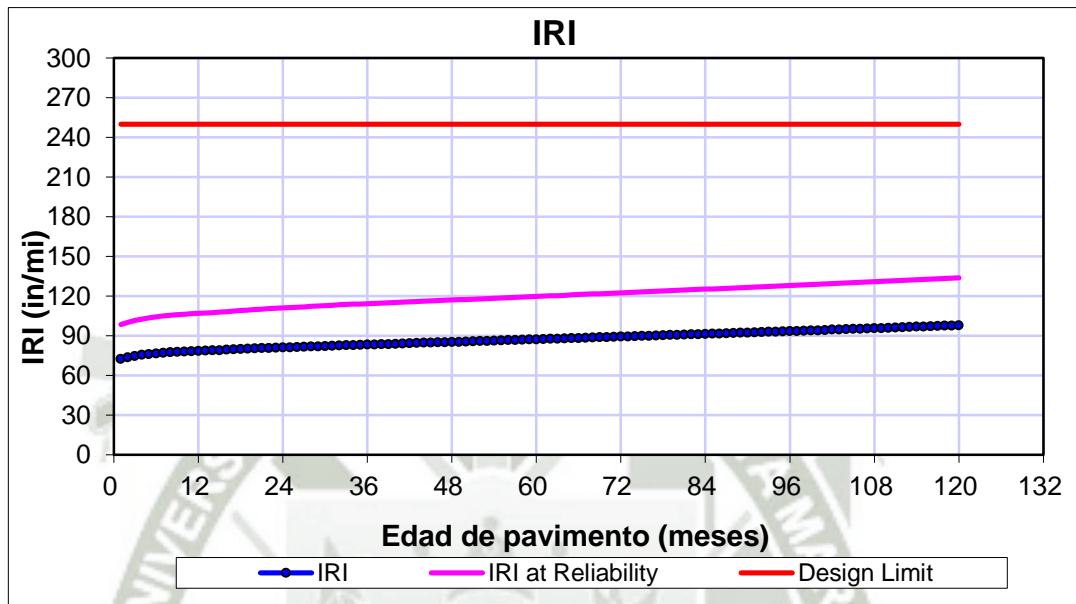
Fuente: Software MEPDG.

**Gráfico Nº 5.6, Ahuellamiento.**



- **Grafico del Índice de Rugosidad (IRI).** Con los resultados obtenidos en la tabla N° 5.29 se realizó el grafico del IRI calculado, limite y afectado por la confiabilidad.

**Gráfico N° 5.7, IRI.**



## CAPITULO VI

### COMPARACION DE RESULTADOS Y CALIBRACION PRELIMINAR DEL PROGRAMA MEPDG.

#### 6.1. CALIBRACIÓN.

El software MEPDG posee una característica única, que permite al diseñador “ajustar” los factores de calibración global o usar constantes de regresión específicas, para cada tipo de deterioro basado en un conjunto de datos locales y regionales (conocido como calibración local o regional). Por lo tanto es necesario hacer una calibración local o regional en las ecuaciones de deterioro para poder implementar esta metodología de diseño mecánico–empírica en nuestro país.

#### 6.2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN LOCAL O REGIONAL PRELIMINAR.

Podemos realizar la calibración local o regional para todos los modelos de deterioro siguiendo los siguientes procedimientos:

- Elegir los proyectos de diseño de pavimentos que ya hayan sido construidos, estos proyectos tienen que tener datos de diseño sobre todo espesores finales, ensayos de comprobación en la construcción (supervisión) y tener un buen tiempo de apertura al tránsito.

- Seleccionar los rangos admisibles de los datos de entrada para varios tipos de proyectos dentro del área geográfica del organismo vial (volumen de tránsito bajo, volumen de tránsito alto).
- Seleccionar procedimientos para obtener estos datos de entrada para proyectos regulares (por ejemplo: datos de volumen de tránsito y de cargas). Determinar la exactitud de estos valores en el resultado del diseño.
- Ejecutar ensayos necesarios para establecer datos de entrada específicos (por ejemplo: módulo dinámico de mezclas asfálticas, distribución de cargas por eje, CBR, granulometría, etc.), adquirir el equipamiento necesario para ejecutar los ensayos.
- Realizar estudios de deterioros (relevamiento de fallas) para el año “n” de funcionamiento (año de estudio), obteniendo el dato total por tipo de falla que se tiene.
- Ingresar todos los datos de entrada teniendo en cuenta el nivel deseado de jerarquía para cada dato de entrada en los diferentes tipos de proyectos.
- Una vez ingresados al programa da todos los datos de entrada para los diseños de los pavimentos, se hace correr el software y se determinan los valores del año solicitado (año “n” de funcionamiento) para cada tipo de falla e IRI predichos a lo largo de todo el periodo de diseño.

- Hacer estudios comparativos de los resultados de deterioro del software y del relevamiento de fallas que se realizó para el año “n” de funcionamiento, en esta comparación no es necesario que los resultados coincidan ya que no se realizó ninguna calibración en el programa.
- Para realizar la calibración se tienen que hacer variar algunas constantes de calibración para cada modelo de falla de manera tal que ambos resultados (Fallas relevadas y calculadas por el programa para igual tránsito, clima, tipo de materiales y sub rasante) coincidan con mayor exactitud.

Fuente: CORDO, O. 2012.

### **6.3. COMPARACIÓN DE FALLAS CALCULADAS Y RELEVADAS.**

En la presente tabla se tienen los resultados del relevamiento de fallas realizados en el capítulo III, para compararlos con los resultados del programa, se tiene que tener en cuenta que el programa no distingue las fallas leves, moderadas o severas las toma como un total, es por eso que se realiza una sumatoria por tipo de falla del relevamiento de fallas, según las fallas que analiza el programa, es decir (Agrietamiento piel de cocodrilo, longitudinal, transversal, ahuellamiento e IRI) y cambiamos las unidades a las dadas por el programa (unidades inglesas).

**Tabla N°6.1, Resultados del relevamiento de fallas.**

AVENIDA AVIACION		UND	METRADOS TOTALES			TOTAL
TIPO	MANIFESTACION DEL DETERIORO		L	M	S	
A.	1. AGRIETAMIENTO POR FATIGA (Piel de cocodrilo).	m2	198.85	0.00	0.00	198.85
	2. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.	m2	180.58	25.94	16.39	222.91
	3. AGRIETAMIENTO DE BORDE.	m	0.00	0.00	0.00	0.00
	4. a. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN LA HUELLA.	m	1.89	1.10	0.00	2.99
	4. b. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL FUERA DE LA HUELLA.	m	16.84	16.23	16.15	49.22
	5. REFLEJO EN JUSTAS.	m	0.00	0.00	0.00	0.00
	6. AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL.	m	5.27	23.05	55.51	83.83
B.	7. PARCHES.	m2	0.00	0.00	0.00	0.00
	8. BACHES.	m2	0.29	0.13	0.00	0.42
C.	9. AHUELLAMIENTO.	mm	3.55	0.00	0.00	3.55
	10. CORRIMIENTO.	m2	0.00	0.00	0.00	0.00
D.	11. SANGRADO O EXUDACION.	m2	0.00	0.00	0.00	0.00
	12. AGREGADO PULIDO.	m2	0.00	0.00	0.00	0.00
	13. PELADURAS.	m2	80.41	43.88	0.00	124.29
E.	14. DESNIVEL DE PISTA - BERMA.	mm	0.00	0.00	0.00	0.00
	15. EROSION DE BERMAS.	m	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Como ya se mencionó en el capítulo 3 el relevamiento de fallas solo se realizó en carril de diseño, que es el que analiza el programa, por lo tanto nuestro ancho de carril será de 3.60m.

- Para la obtención del % de piel de cocodrilo comparamos el resultado con el total de área de la vía en estudio ( $3.60\text{m} \times 500\text{m} = 1800\text{m}^2$ ) y el total de la falla de piel de cocodrilo es de  $198.85\text{m}^2$  que equivale al **11.05%** de la vía en estudio.
- Para la obtención del Agrietamiento Longitudinal y transversal se tiene que dividir el resultado del agrietamiento total entre 0.5km ya que el dato en comparación está en m/km y el tramo en estudio fue de (0.5km = 500m).

Entonces:

Agrietamiento longitudinal:

$$52.21\text{m} / 0.5 \text{ km} = \mathbf{104.42 \text{ m/km.}}$$

Agrietamiento transversal:

$$83.83\text{m} / 0.5\text{km} = \mathbf{167.66 \text{ m/km.}}$$

- Para el IRI vamos a los resultados del ensayo de Rugosímetro de Merlín en el cual se obtuvo **2.28 m/km**

El relevamiento de fallas se realizó el año 2012 es decir el 8vo año de vida del pavimento, por lo tanto los datos con los que se compara el relevamiento de fallas es con los datos del año 8 en el programa MEPDG.

Dando como resultado la siguiente tabla N°6.3.

**Tabla N°6.2, Resultados de deterioro al 8vo año de vida del pavimento.**

Edad del pavimento		Agrietamiento longitudinal (ft/mi)	Piel de cocodrilo (%)	Agriet. transversal (ft/mi)	Subtotal AC Ahuellamiento (in)	Ahuellamiento Total (in)	IRI (in/mi)	Cantidad de camiones (acum.)	IRI con confiabilidad (in/mi)
mes	año								
96	8	34.9	3.92	0	0.112	0.51	93.5	812688	127.99

Fuente: Software MEPDG.

**Tabla N°6.3, Comparación de resultados de deterioros.**

TIPO DE FALLA	LTPP	UND	LTPP	UND	MEPDG	UND
<b>Piel de cocodrilo</b>	11.05	%	<b>11.050</b>	%	<b>3.92</b>	%
<b>Agrietamiento Longitudinal</b>	104.42	m/km	<b>551.31</b>	pies/milla	<b>34.900</b>	pies/milla
<b>Agrietamiento Transversal</b>	167.66	m/km	<b>885.19</b>	pies/milla	<b>0.000</b>	pies/milla
<b>Ahuellamiento</b>	3.545	mm	<b>0.140</b>	pulg	<b>0.51</b>	pulg
<b>IRI</b>	2.28	m/km	<b>144.450</b>	pulg/milla	<b>93.5</b>	pulg/milla

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4. Análisis de sensibilidad de las ecuaciones de falla.

### 6.4.1. Análisis de sensibilidad ecuación de agrietamiento por fatiga.

$$N_f = 0.00432 \beta_{f_1} C K_1 \left[ \frac{1}{\varepsilon_t} \right]^{K_2 \beta_{f_2}} \left[ \frac{1}{E^*} \right]^{K_3 \beta_{f_3}}$$

- Modificando el  $\beta_{f_1}$  afectamos directamente el resultado en general.
- Modificando el  $\beta_{f_2}$  afectamos la deformación
- Modificando el  $\beta_{f_3}$  afectamos al módulo.

En la tabla N° 6.4, se muestra cómo afecto el  $\beta_{f_1}$  en el resultado final de fallas por fatiga e IRI, manteniendo constantes  $\beta_{f_2}$ , el rango de trabajo para los tres coeficientes de calibración, y es de -10 a 10, entonces podemos trabajar los datos partiendo de esa premisa.

**Tabla N°6.4, Resultados modificando el  $\beta_{f_1}$ .**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DAÑO POR FATIGA E IRI					
Coeficientes de Calibración (Rango -10 a 10)			Tipo de Falla		
Bf1	Bf2	Bf3	Longitudinal (pies/milla)	Piel de cocodrilo (%)	IRI (pulg/milla)
0.05	1.00	1.00	2530	89.8	221.5
0.1	1.00	1.00	1040	71.8	153.9
0.15	1.00	1.00	591	55.1	131.5
0.2	1.00	1.00	389	42.3	120.4
0.25	1.00	1.00	280	32.9	113.7
0.3	1.00	1.00	214	26.1	109.2
0.35	1.00	1.00	170	21.2	106
0.4	1.00	1.00	139	17.4	103.6
0.45	1.00	1.00	116	14.6	101.7
0.5	1.00	1.00	99.4	12.4	100.2
0.6	1.00	1.00	75.5	9.26	97.9
0.7	1.00	1.00	59.8	7.18	96.3
0.8	1.00	1.00	48.9	5.74	95.1
0.9	1.00	1.00	40.9	4.69	94.2
1	1.00	1.00	34.90	3.92	93.5
2	1.00	1.00	12.2	1.16	90.1
DATOS DEL RELEVAMIENTO DEL LTPP			551.31	11.05	144.45

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el valor del coeficiente  $\beta_1$  es más cercano a cero los valores de las fallas (agrietamiento longitudinal, piel de cocodrilo e IRI) aumentan, y mientras el valor del coeficiente  $\beta_1$  sea mayor a uno los valores de las fallas tendrán una tendencia a cero.

En la tabla N° 6.4, se muestra cómo afecta el  $\beta_2$  el resultado final de fallas por fatiga e IRI, manteniendo constantes  $\beta_1$  y  $\beta_3$ :

**Tabla N°6.5, Resultados modificando el  $\beta_2$ .**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DAÑO POR FATIGA					
Coeficientes de Calibración			Tipo de Falla		
(Rango -10 a 10)			Longitudinal	Piel de cocodrilo	IRI
Bf1	Bf2	Bf3	(pies/milla)	(%)	(pulg/milla)
1	1.04	1	3.29	0.375	88.5
1	1.03	1	5.93	0.678	89.2
1	1.02	1	10.7	1.22	90.2
1	1.01	1	19.3	2.2	91.6
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>34.90</b>	<b>3.92</b>	<b>93.5</b>
1	0.99	1	63.1	6.89	96.1
1	0.98	1	114	11.9	99.8
1	0.97	1	205	19.6	105
1	0.96	1	366	30.7	112.2
1	0.95	1	646	44.6	122.2
1	0.94	1	1120	59.4	136.3
1	0.93	1	1870	72.7	155.9
1	0.92	1	2970	82.9	183.1
1	0.91	1	4390	89.8	221.1
1	0.9	1	5950	94.1	274.3
<b>DATOS DEL RELEVAMIENTO DEL LTPP</b>			<b>551.31</b>	<b>11.05</b>	<b>144.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el valor de  $\beta_2$  es más sensible en este caso pero al rango de 1 a 0.9, que tiene una gran variación al modificar el coeficiente en décimas.

En la tabla N° 6.5, se muestra cómo afecta el  $\beta_3$  el resultado final de fallas por fatiga e IRI, manteniendo constantes  $\beta_1$  y  $\beta_2$ :

**Tabla N°6.6, Resultados modificando el  $\beta_{f3}$ .**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DAÑO POR FATIGA					
Coeficientes de Calibración (Rango -10 a 10)			Tipo de Falla		
Bf1	Bf2	Bf3	Longitudinal (pies/milla)	Piel de cocodrilo (%)	IRI (pulg/milla)
1.000	1.000	1.17	3090	92.1	243.5
1.000	1.000	1.16	2510	89.3	217.1
1.000	1.000	1.15	2010	85.7	195.1
1.000	1.000	1.14	1580	81.1	176.7
1.000	1.000	1.13	1240	75.4	161.5
1.000	1.000	1.12	960	68.8	148.7
1.000	1.000	1.11	739	61.2	138.3
1.000	1.000	1.1	566	53.1	129.5
1.000	1.000	1.09	432	44.8	122.3
1.000	1.000	1.08	328	36.8	116.3
1.000	1.000	1.07	249	29.5	111.3
1.000	1.000	1.06	189	23	107.2
1.000	1.000	1.05	143	17.7	103.7
<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1</b>	<b>34.90</b>	<b>3.92</b>	<b>93.5</b>
1.000	1.000	0.95	8.49	0.769	89.4
<b>DATOS DEL RELEVAMIENTO DEL LTPP</b>			<b>551.31</b>	<b>11.05</b>	<b>144.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el valor de  $\beta_{f3}$ , al igual que  $\beta_{f2}$  tiene un rango de valores para poder tener resultados acordes con el relevamiento de fallas, este rango va de 1 a 1.17, que también cambiando el coeficiente por décimas, el resultado varía.

Realizando un análisis por tipo de falla con los resultados de las tablas anteriores tenemos:

#### 6.4.1.1. Agrietamiento Longitudinal.

La siguiente tabla, se presenta un resumen de la variación del agrietamiento longitudinal de acuerdo a cada coeficiente.

El agrietamiento longitudinal en el relevamiento de fallas es:

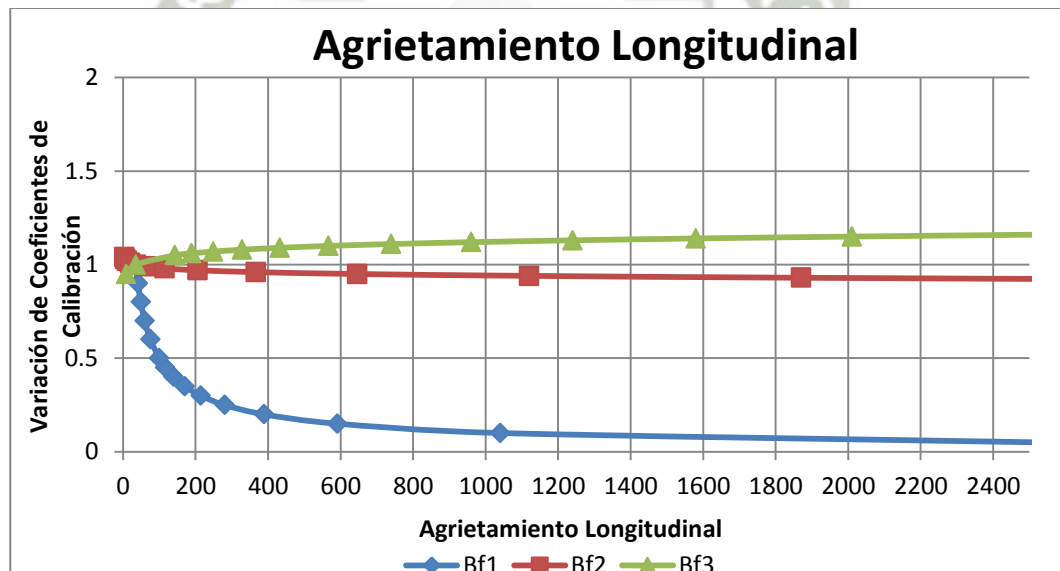
**551.31 pies/milla.**

Tabla N°6.7, Resumen Variación del Agrietamiento Long.

Agrietamiento longitudinal (pies/milla)					
Bf1	Resultados	Bf2	Resultados	Bf3	Resultados
0.05	2530	1.04	3.29	1.17	3090
0.1	1040	1.03	5.93	1.16	2510
0.15	591	1.02	10.7	1.15	2010
0.2	389	1.01	19.3	1.14	1580
0.25	280	1	34.9	1.13	1240
0.3	214	0.99	63.1	1.12	960
0.35	170	0.98	114	1.11	739
0.4	139	0.97	205	1.1	566
0.45	116	0.96	366	1.09	432
0.5	99.4	0.95	646	1.08	328
0.6	75.5	0.94	1120	1.07	249
0.7	59.8	0.93	1870	1.06	189
0.8	48.9	0.92	2970	1.05	143
0.9	40.9	0.91	4390	1	34.9
1	34.9	0.9	5950	0.95	8.49

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°6.1, Variación del Agrietamiento Longitudinal.



#### 6.4.1.2. Agrietamiento de Piel de Cocodrilo.

En la siguiente tabla al igual que en la anterior se presentan las variaciones del agrietamiento de piel de cocodrilo para cada coeficiente de calibración, eligiendo 3 opciones más cercanas a la dada en el relevamiento de fallas:

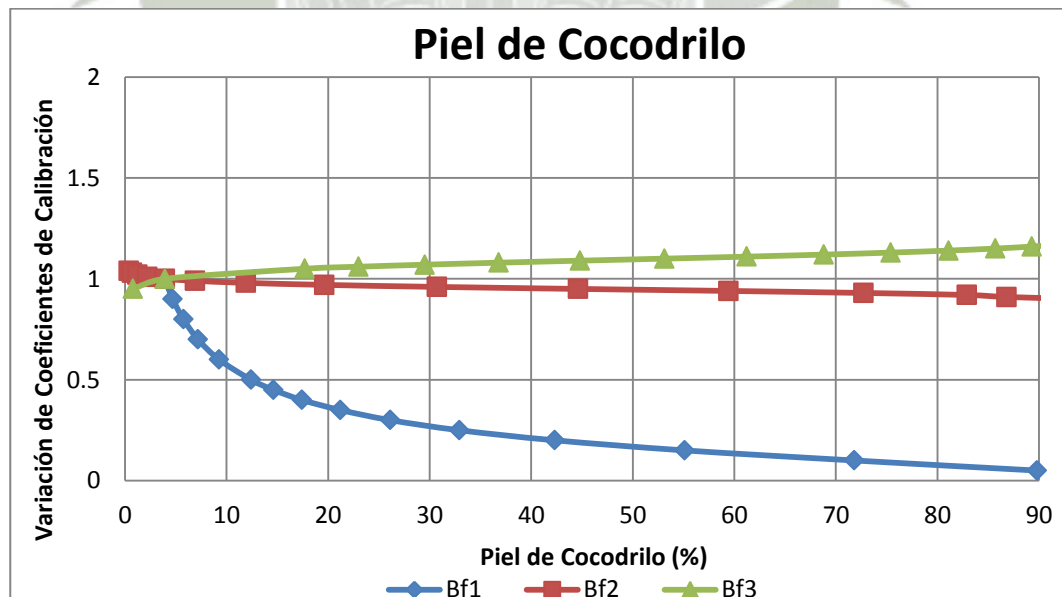
Agrietamiento de piel de cocodrilo en el relevamiento de fallas es de **11.05%**.

**Tabla N°6.8, Resumen Variación del Agrietamiento Piel de cocodrilo.**

Piel de Cocodrilo (%)					
Bf1	Resultados	Bf2	Resultados	Bf3	Resultados
0.05	89.8	1.04	0.375	1.17	92.1
0.1	71.8	1.03	0.678	1.16	89.3
0.15	55.1	1.02	1.22	1.15	85.7
0.2	42.3	1.01	2.2	1.14	81.1
0.25	32.9	1	3.92	1.13	75.4
0.3	26.1	0.99	6.89	1.12	68.8
0.35	21.2	0.98	11.9	1.11	61.2
0.4	17.4	0.97	19.6	1.1	53.1
0.45	14.6	0.96	30.7	1.09	44.8
0.5	12.4	0.95	44.6	1.08	36.8
0.6	9.26	0.94	59.4	1.07	29.5
0.7	7.18	0.93	72.7	1.06	23
0.8	5.74	0.92	82.9	1.05	17.7
0.9	4.69	0.91	86.8	1	3.92
1	3.92	0.9	94.1	0.95	0.769

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°6.2, Variación del Agrietamiento de Piel de Cocodrilo.**



### 6.4.1.3. Índice de rugosidad IRI.

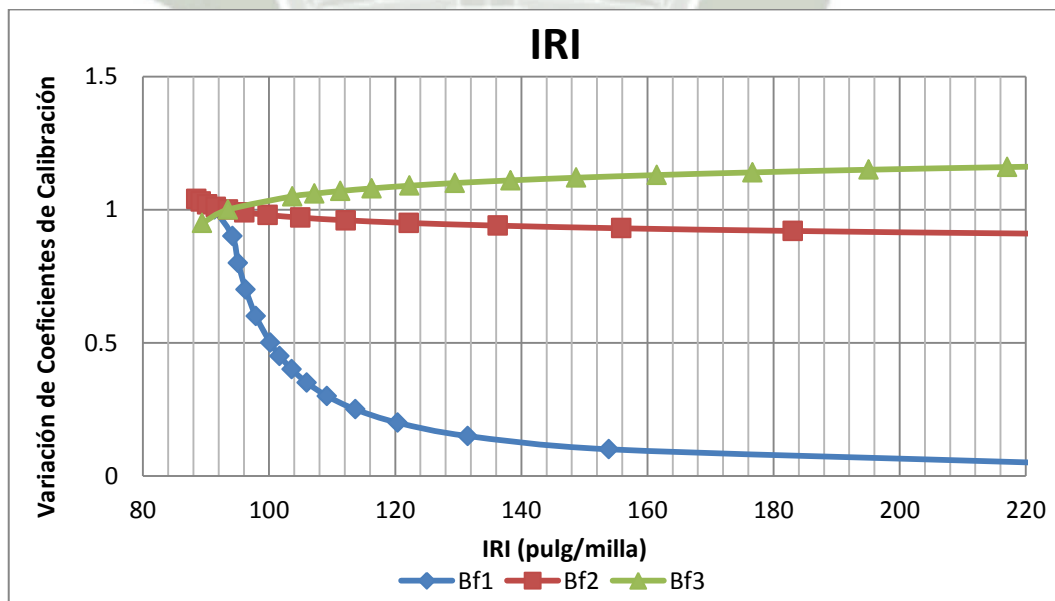
El resultado del ensayo Merlín dio que el IRI es de **144.45pulg/milla.**

**Tabla N°6.9, Resumen Variación del IRI.**

IRI (pulg/milla)					
Bf1	Resultados	Bf2	Resultados	Bf3	Resultados
0.05	221.5	1.04	88.5	1.17	243.5
0.1	153.9	1.03	89.2	1.16	217.1
0.15	131.5	1.02	90.2	1.15	195.1
0.2	120.4	1.01	91.6	1.14	176.7
0.25	113.7	1	93.5	1.13	161.5
0.3	109.2	0.99	96.1	1.12	148.7
0.35	106	0.98	99.8	1.11	138.3
0.4	103.6	0.97	105	1.1	129.5
0.45	101.7	0.96	112.2	1.09	122.3
0.5	100.2	0.95	122.2	1.08	116.3
0.6	97.9	0.94	136.3	1.07	111.3
0.7	96.3	0.93	155.9	1.06	107.2
0.8	95.1	0.92	183.1	1.05	103.7
0.9	94.2	0.91	221.1	1	93.5
1	91.4	0.9	274.3	0.95	89.4

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°6.3, Variación del Índice de Rugosidad IRI.**



Según las gráficas realizadas podemos observar que el comportamiento de cada falla con respecto a cada coeficiente es similar, es decir, por ejemplo que modificando el  $\beta f_1$  el comportamiento que tienen los agrietamientos longitudinales, piel de cocodrilo e IRI es el mismo. Esto nos ocurre para cada coeficiente de calibración. Podemos dar un rango de valores para los coeficientes los cuales no dan valores de falla razonables.

**$\beta f_1$ : de 0.050 a 1.000**

**$\beta f_2$ : de 0.910 a 1.000**

**$\beta f_3$ : de 1.000 a 1.170**

Con los resultados obtenidos en las tablas anteriores de la elección de coeficientes de calibración cercanos a los dados por el relevamiento de fallas y ensayo Merlín, se tiene:

**Tabla N°6.10, Coeficientes de calibración más cercanos.**

Coeficiente de calibración		Tipo de falla		
		Piel de Cocodrilo (%)	Agrieta. Longitudinal (pies/milla)	IRI (pulg/milla)
$\beta f_1$	0.1	71.80	1040	153.9
$\beta f_1$	0.15	55.10	591	131.5
$\beta f_1$	0.50	12.40	99.4	100.2
$\beta f_2$	0.94	59.40	1120	136.3
$\beta f_2$	0.95	44.60	646	122.2
$\beta f_2$	0.98	11.90	114	99.8
$\beta f_3$	1.05	17.70	143	103.7
$\beta f_3$	1.10	53.10	556	129.5
$\beta f_3$	1.12	68.80	960	148.7

Fuente: Elaboración propia.

Para la elección del coeficiente de calibración preliminar, se tomara un coeficiente que no se aleje mucho de nuestra realidad, es decir que no se acerque ni se aleje mucho de nuestros datos de relevamiento de fallas, por lo tanto nuestro coeficiente será:

$$\beta_{f2} = 0.95.$$

#### 6.4.2. Análisis de sensibilidad ecuación de agrietamiento transversal o térmico.

Analizando la ecuación N° 6.9:

$$A = 10^{K_t \beta_t (4.389 - 2.52 \log (E_{HMA} \sigma_m n))}$$

Como muestra solo se tiene un coeficiente de calibración, pero hay que tener en cuenta que para cada nivel de jerarquía en el que se trabaja se modifica el  $\beta_t$ , en nuestro caso esta falla se trabajó en el nivel 3 de jerarquía ( $\beta_{t3}$ ).

En la tabla N° 6.10, se muestra la variación del agrietamiento transversal y variaciones del IRI, tomando diferentes valores de  $\beta_{t3}$ , el programa nos indica que el rango de este coeficiente es de 0 a 1000, entonces trabajamos sobre esa premisa.

Tabla N°6.11, Resumen Variación del Agrietamiento Transversal.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL		
Coeficientes de Calibración (Rango 0 a 1000)	Tipo de Falla	
	transversal (pies/milla)	IRI (pulg/milla)
<b>Bt3</b>		
1.000	0.00	91.40
5.000	0.00	93.50
90.000	37.6	93.8
100.000	111	94.3
110.000	300	95.9
<b>120.000</b>	<b>732</b>	<b>99.3</b>
130.000	1400	104.7
140.000	1900	108.7
150.000	2110	110.3
<b>DATOS DEL RELEVAMIENTO DEL LTPP</b>	<b>885.19</b>	<b>144.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto el coeficiente será:

$$\beta_{t3} = 120$$

Gráfico N°6.4, Variación del Agrietamiento Transversal.

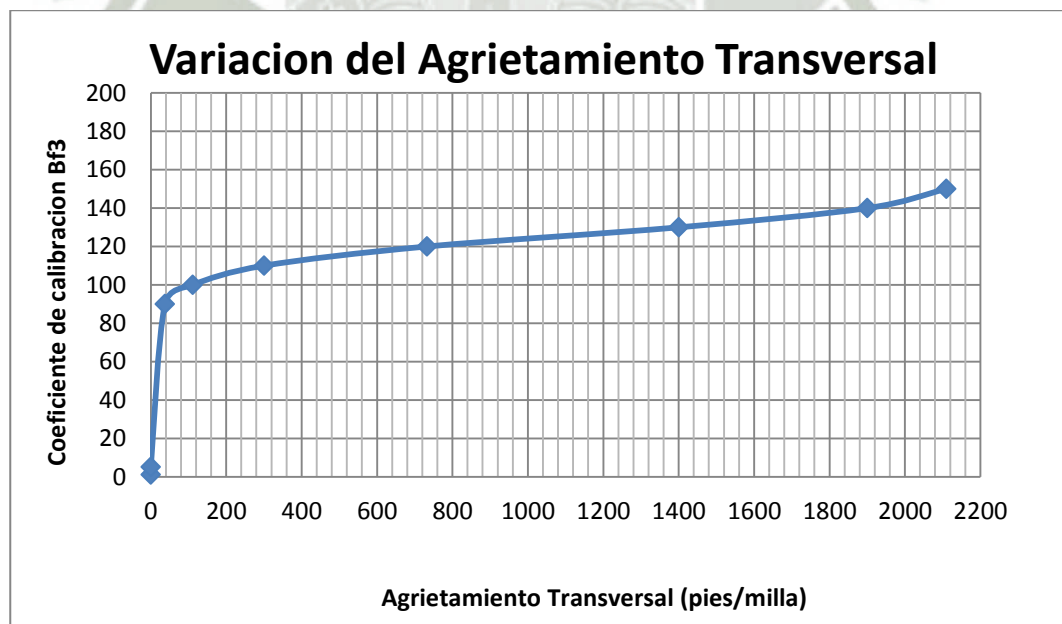
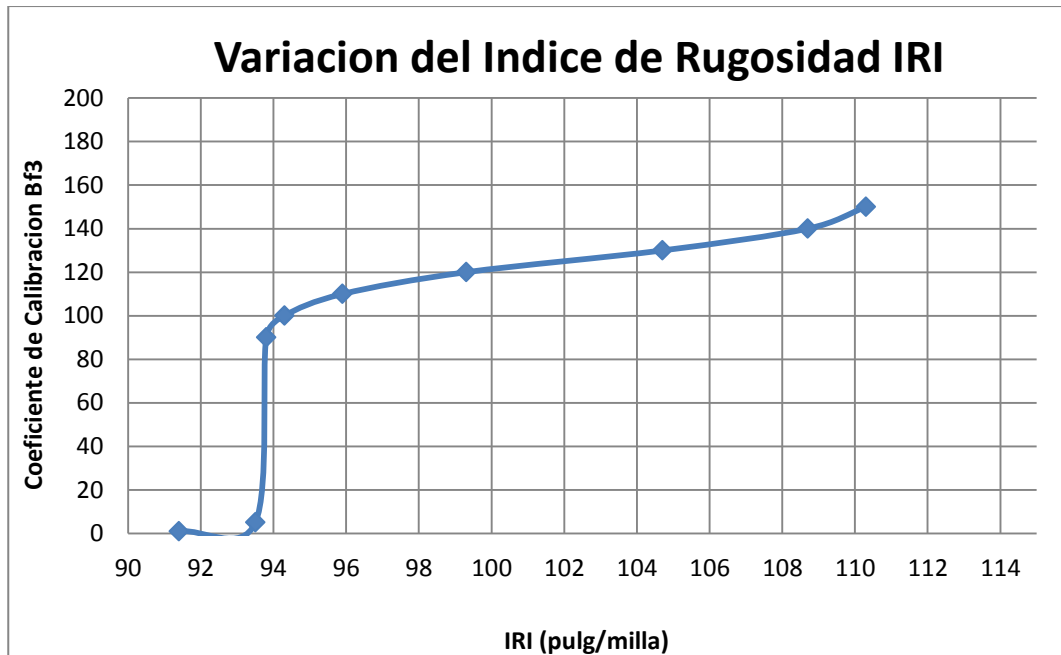


Gráfico N°6.5, Variación del Índice de Rugosidad IRI.



#### 6.4.3. Análisis de sensibilidad ecuación de ahuellamiento.

Analizando la ecuación N° 6.15:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = K_z \beta_{r1} 10^{k_1} T^{k_2} \beta_{r2} N^{k_3} \beta_{r3}$$

Podemos decir que:

- Modificando el  $\beta_{r1}$  afectamos directamente el resultado en general.
- Modificando el  $\beta_{r2}$  afectamos la temperatura.
- Modificando el  $\beta_{r3}$  afectamos al número de repeticiones de carga.

En la siguiente tabla, se muestra cómo afecto el  $\beta_{r1}$  en el resultado final del ahuellamiento e IRI, manteniendo constantes  $\beta_{r2}$  y  $\beta_{r3}$ :

Tabla N°6.12, Resumen Variación del Ahuellamiento e IRI con Br1.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL AHUELLAMIENTO EN LA CARPETA ASFÁLTICA					
Coeficientes de Calibración (Rango -10 a 10)			Ahuellamiento		IRI (pulg/milla)
Br1	Br2	Br3	CARPETA (pulg)	TOTAL (pulg)	
0.10	1.00	1.00	0.012	0.454	89.700
0.20	1.00	1.00	0.024	0.466	90.100
0.30	1.00	1.00	0.035	0.478	90.600
0.40	1.00	1.00	0.047	0.490	91.100
0.50	1.00	1.00	0.059	0.501	91.500
<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.112</b>	<b>0.510</b>	<b>93.500</b>
2.00	1.00	1.00	0.236	0.679	98.600
3.00	1.00	1.00	0.654	0.797	103.400
4.00	1.00	1.00	0.473	0.915	108.100
5.00	1.00	1.00	0.591	1.033	112.800
6.00	1.00	1.00	0.709	1.151	117.500
7.00	1.00	1.00	0.827	1.269	122.300
8.00	1.00	1.00	0.945	1.388	127.000
9.00	1.00	1.00	1.000	1.442	129.200
10.00	1.00	1.00	1.000	1.442	129.200

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°6.6, Variación del Ahuellamiento Total.

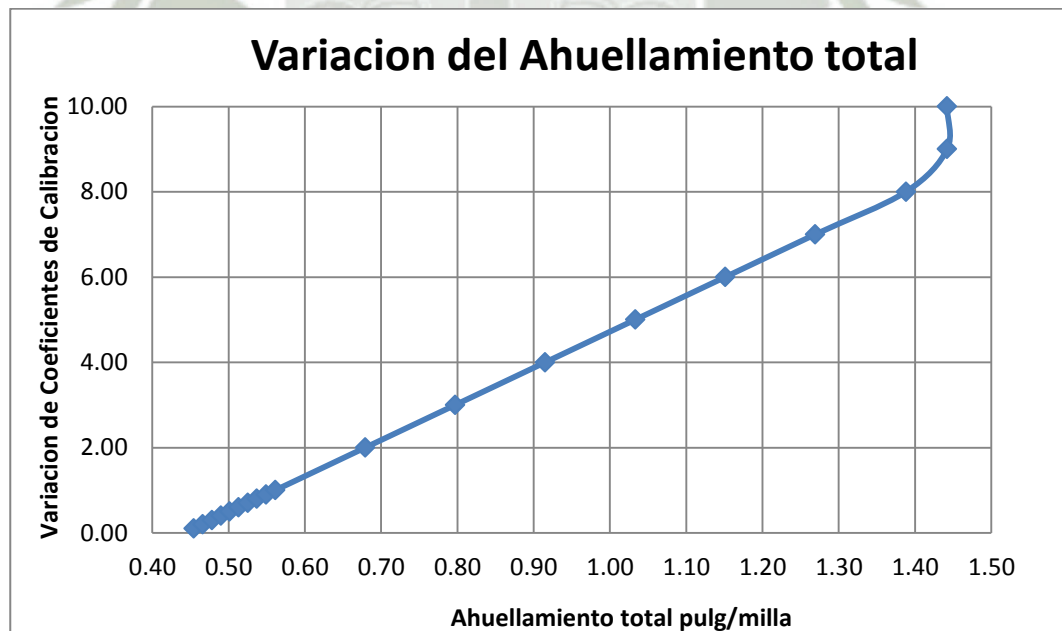
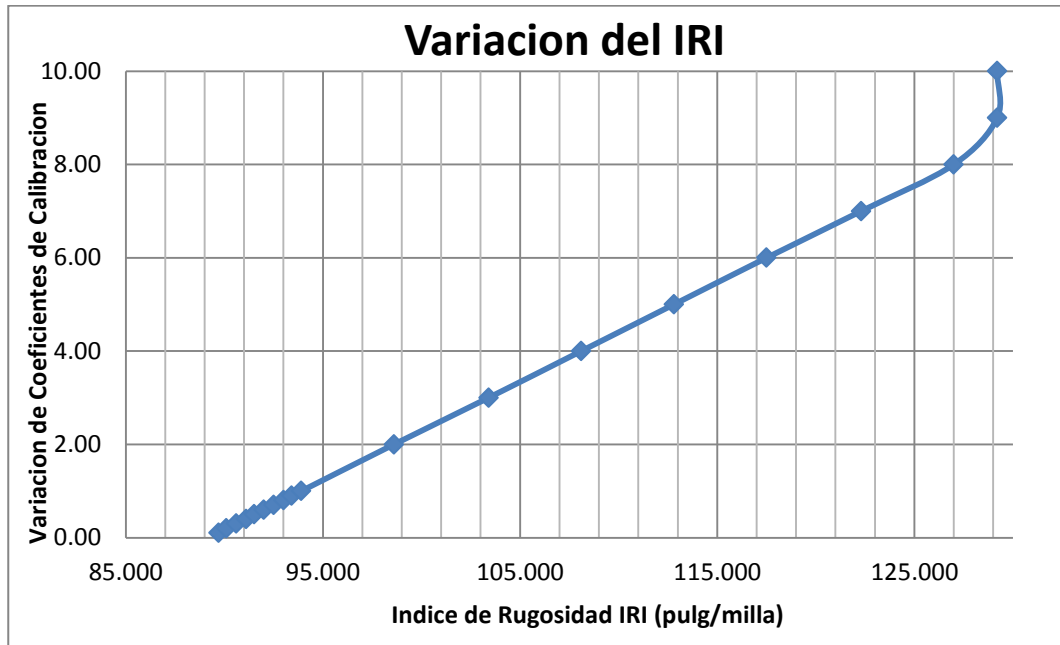


Gráfico N°6.7, Variación del Índice de Rugosidad IRI.



En la tabla N° 6.12, se muestra cómo afecto el  $\beta_2$  en el resultado final del ahuellamiento e IRI, manteniendo constantes  $\beta_1$  y  $\beta_3$ :

Tabla N°6.13, Resumen Variación del Ahuellamiento e IRI con Br2.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL AHUELLAMIENTO EN LA CARPETA ASFALTICA					
Coeficientes de Calibración (Rango -10 a 10)			Ahuellamiento		IRI (pulg/milla)
Br1	Br2	Br3	CARPETA (pulg)	TOTAL (pulg)	
1.00	0.60	1.00	0.008	0.451	89.500
1.00	0.70	1.00	0.016	0.458	89.800
1.00	0.80	1.00	0.031	0.473	90.400
1.00	0.90	1.00	0.061	0.503	91.600
<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.112</b>	<b>0.510</b>	<b>93.500</b>
1.00	2.00	1.00	1.018	1.457	129.800
1.00	3.00	1.00	1.500	1.942	149.200
1.00	4.00	1.00	1.500	1.942	149.200
1.00	5.00	1.00	1.501	1.943	149.200
1.00	6.00	1.00	2.000	2.442	169.200
1.00	7.00	1.00	2.000	2.442	169.200
1.00	8.00	1.00	2.000	2.442	169.200

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°6.8, Variación del Ahuellamiento.

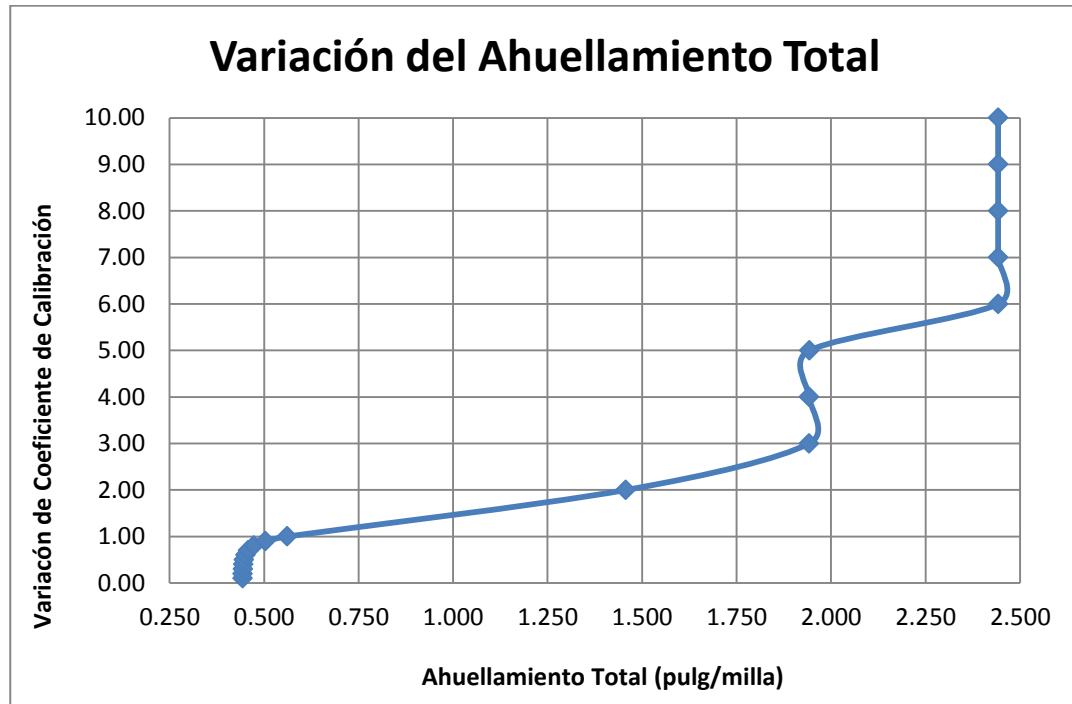
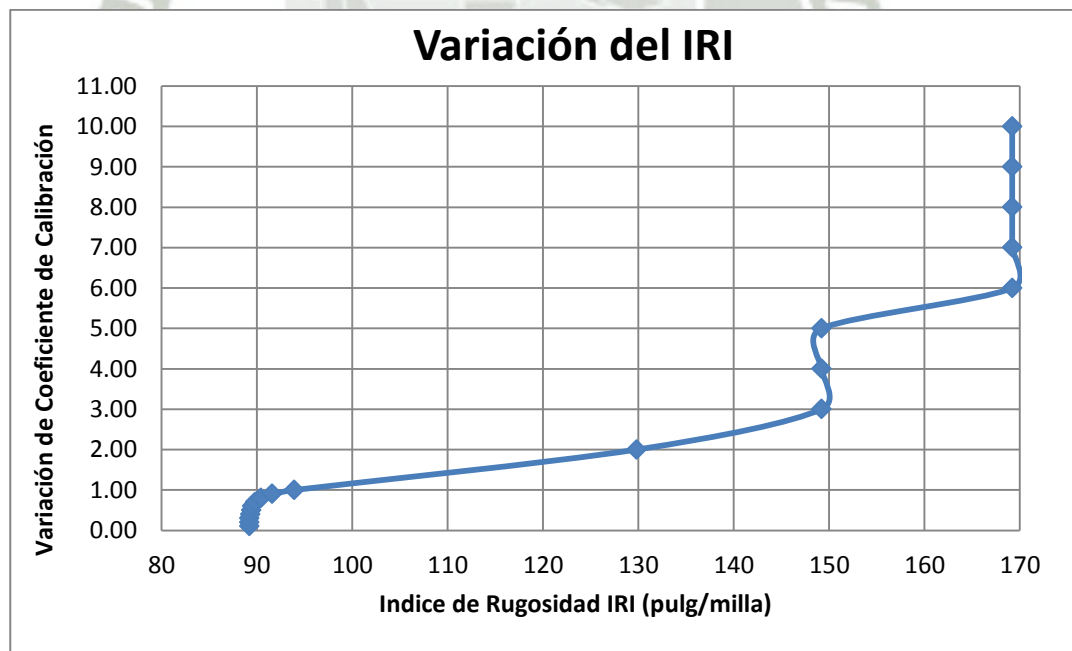


Gráfico N°6.9, Variación del Ahuellamiento.



En la siguiente tabla, se muestra cómo afecto el  $\beta_3$  en el resultado final del ahuellamiento e IRI, manteniendo constantes  $\beta_1$  y  $\beta_2$ :

**Tabla N°6.14, Resumen Variación del Ahuellamiento e IRI con Br3.**

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL AHUELLAMIENTO EN LA CARPETA ASFALTICA					
Coeficientes de Calibración (Rango -10 a 10)			Ahuellamiento		IRI (pulg/milla)
Br1	Br2	Br3	CARPETA (pulg)	TOTAL (pulg)	
1.00	1.00	0.10	0.001	0.443	89.200
1.00	1.00	0.20	0.001	0.443	89.200
1.00	1.00	0.30	0.002	0.444	89.200
1.00	1.00	0.40	0.003	0.445	89.300
1.00	1.00	0.50	0.005	0.447	89.400
1.00	1.00	0.60	0.009	0.451	89.500
1.00	1.00	0.70	0.017	0.459	89.900
1.00	1.00	0.80	0.032	0.474	90.500
1.00	1.00	0.90	0.061	0.504	91.600
<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.112</b>	<b>0.510</b>	<b>93.500</b>
1.00	1.00	2.00	1.001	1.443	129.200
1.00	1.00	3.00	1.022	1.461	129.900
1.00	1.00	4.00	1.500	1.939	149.100
1.00	1.00	5.00	1.501	1.943	149.200
1.00	1.00	6.00	1.926	2.363	166.000
1.00	1.00	7.00	2.000	2.442	169.200
1.00	1.00	8.00	2.000	2.442	169.200
1.00	1.00	9.00	2.000	2.442	169.200
1.00	1.00	10.00	2.000	2.442	169.200

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el valor de  $\beta_3$  es menor a 1 el valor de los resultados disminuyen y cuando el valor de  $\beta_3$  es mayor a 1 los resultados del ahuellamiento aumentan hasta el tope que vendría a ser 7 porque a partir de ese coeficiente los siguientes se mantienen constantes.

Gráfico N°6.10, Variación del Ahuellamiento.

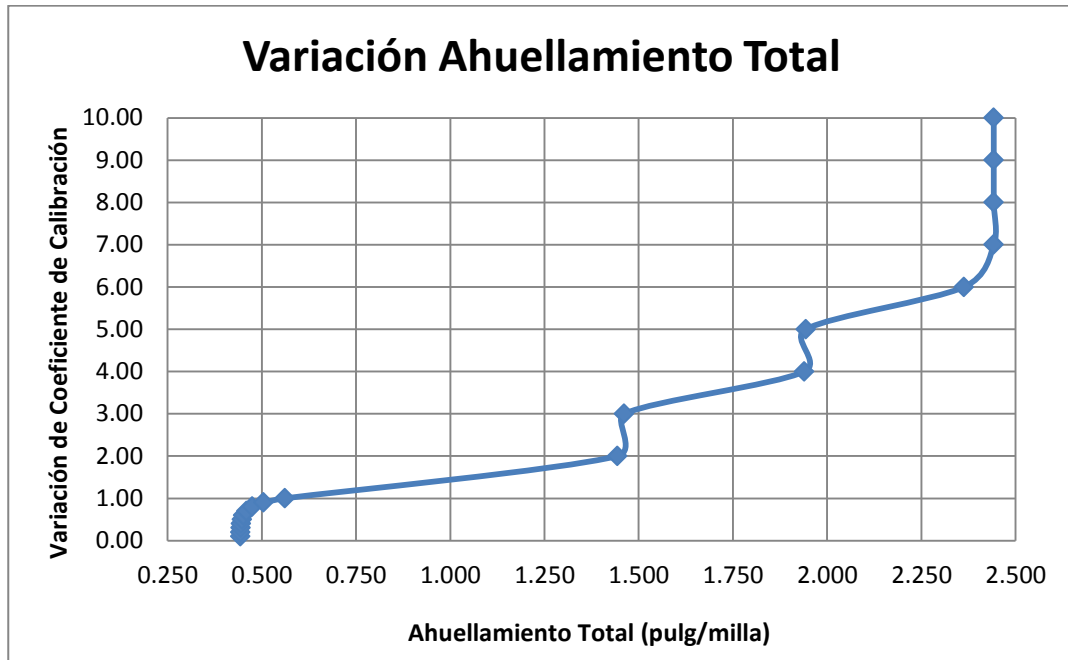
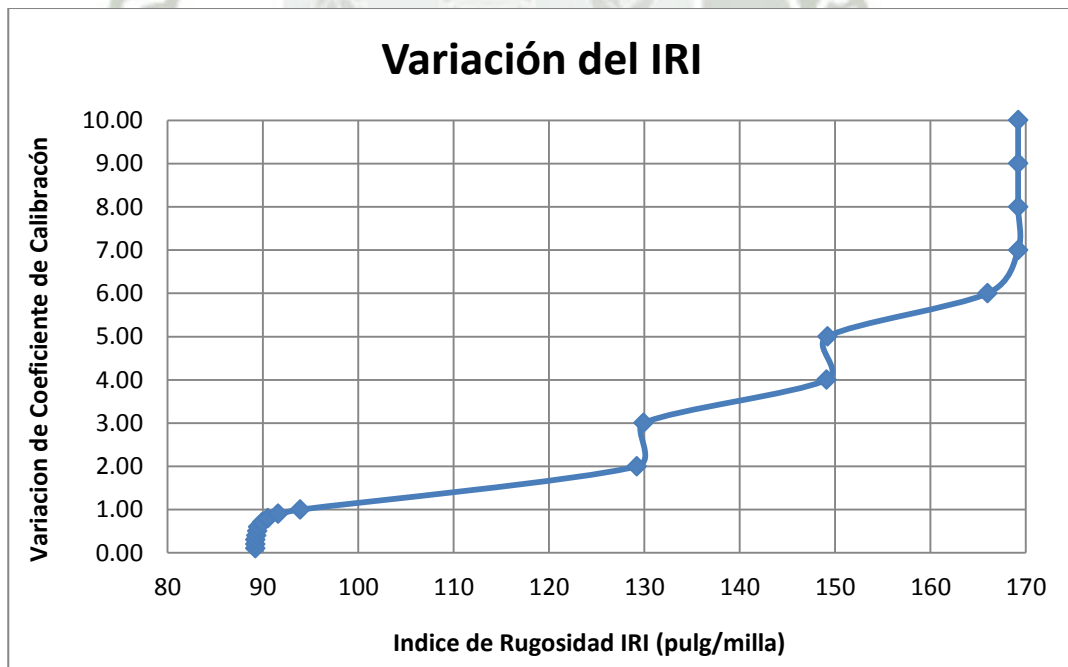


Gráfico N°6.11, Variación del Índice de Rugosidad.



En el ensayo de relevamiento de fallas se obtuvo 0.14 pulg de Ahuellamiento y 144.45 pulg/milla de IRI. Entonces para tomar el coeficiente de calibración, lo hacemos eligiendo  $\beta_r$  que nos dé como resultado el dato más cercano a nuestro dato.

Como se muestran en las tablas 6.11, 6.12 y 6.13 no existe un coeficiente con el que se pueda llegar a un resultado tan bajo como el medido en el relevamiento de fallas 0.14pulg (3.55mm), el resultado que nos entrega el programa es de 0.561 pulg (14.25mm) y según las tablas se puede llegar hasta 0.443 pulg (11.25mm), esta fórmula no se calibrara ya que no hay mucha diferencia en mover los coeficientes de calibración.

#### 6.5. CALIBRACIÓN PRELIMINAR EN EL PROGRAMA.

Una vez que los coeficientes de calibración local son determinados, se colocaran en sus respectivas formulas en el programa:

- ❖ Fallas por fatiga:  $\beta_{f2} = 0.95$
- ❖ Agrietamiento Transversal:  $\beta_{t3} = 120.00$
- ❖ Ahuellamiento:  $\beta_{r1} = 1.00$

#### 6.6. RESULTADOS DEL PROGRAMA CALIBRADO.

En el anexo 6.1, se presentan los resultados como los presenta el programa y en las siguientes tablas se presentaran los resúmenes de los resultados:

- El agrietamiento longitudinal, se puede ver que el daño predicho no supera el límite 1000 pies/milla ya que tiene 646 pies/milla, pero no cumple en la aplicación de la confiabilidad al 90% de la falla determinada.
- El agrietamiento de piel de cocodrilo, si supera el límite de daño de 25 %, con un daño determinado de 44.6%.
- El agrietamiento transversal, supera el límite de daño de 1000 pies/milla, con 732 pies/milla.

**Tabla N°6.15, Resumen de resultados.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de daño	Confiabilidad	Daño predicho	Confiabilidad predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	144.9	99.74	Pass
Agrietamiento long. (ft/mile):	1000	90	942	51.06	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	90	57	1.18	Fail
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	1130.4	28.62	Fail
Deformación permanente CA (in):	0.5	90	0.13	99.999	Pass
Deformación permanente total (in):	0.9	90	0.54	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

## 6.7. PROPUESTA DE DISEÑO.

La estructura del pavimento analizado falla, es por ello que se analizara la propuesta de diseño realizada en el capítulo 4 con la guía AASHTO 93, teniendo en cuenta que los coeficientes de calibración son los mismos.

Por otro lado los datos de entrada del tránsito son los mismos, excepto las características de los materiales:

**$CBR_{BASE}$  = 100%, Clasificación tipo A-1-a**

**$CBR_{SUBBASE}$  = 40%, Clasificación tipo A-2-4**

### 6.7.1. Espesores a analizar:

Los espesores utilizados para esta propuesta de diseño serán:

Carpeta Asfáltica = 2.50 pulg = 6.35 cm

Base = 8.00 pulg = 20.32 cm

Subbase = 12.00 pulg = 30.48

### 6.7.2. Ingreso de los materiales:

#### 6.7.2.1. Carpeta Asfáltica.

Para la propuesta de diseño se colocara una carpeta asfáltica MAC – 1, teniendo como datos la granulometría, peso unitario, % de vacíos y asfalto efectivo, estabilidad Marshall, estos datos se obtuvieron de un ensayo realizado a una mezcla MAC-1 para Arequipa (anexo N°6.2).

#### 6.7.2.2. Base.

Se tiene como dato el CBR de 100%, aplicando la ecuación del Módulo resiliente del programa tenemos:

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 48684.52 \text{ lb/pulg}^2$$

#### 6.7.2.3. Sub base.

Se tiene como dato el CBR de 40%, aplicando la ecuación del Módulo resiliente del programa tenemos:

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 27083.78 \text{ lb/pulg}^2$$

#### 6.7.2.4. Sub rasante.

Para la sub rasante se utilizaran los mismos datos que se utilizaron en el capítulo anterior, sin modificaciones.

#### 6.7.3. Resultados del programa calibrado.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de resultados calculados por el programa MEPDG, todos los cálculos realizados se encuentran en el anexo 6.3:

**Tabla N°6.16, Resumen de resultados programa calibrado.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	98.2	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	90	2200	30.2	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	90	14.6	76.91	Fail
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	111.1	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.43	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

En la nueva propuesta de diseño podemos observar que la falla longitudinal sobre pasa en más del 100% el límite establecido de falla y el agrietamiento de piel de cocodrilo no supera el límite pero falla en la aplicación de la confiabilidad del 90%, por lo tanto se realizara un estudio de más propuestas de diseño para compararlas y así elegir la mejor.

#### 6.7.3.1. Propuestas.

Se presentaran las propuestas de diseño realizadas con el método AASHTO 2008, las cuales tendrán las mismas

características de materiales (carpeta, base y sub base). Los resultados de estas propuestas se encuentran en el anexo 6.4.

**Tabla N°6.17, Análisis de Propuestas de estructuras de pavimentos.**

<b>ANÁLISIS DE PROPUESTAS DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>									
<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>				<b>RESULTADOS</b>			<b>RESULTADOS CON CONFIABILIDAD 90%</b>		
#	CARP.	BASE	SUB BASE	AGRIET. LONG.	AGRIET. PIEL DE COCODRILO	AGRIET. TRANSV.	AGRIET. LONG.	AGRIET. PIEL DE COCODRILO	AGRIET. TRANSV.
	(pulg)	(pulg)	(pulg)	(pies/milla)	(%)	(pies/milla)	(pies/milla)	(%)	(pies/milla)
1	2.5	8.0	12.0	2,200.00	14.60	111.10	5,165.76	32.71	215.30
2	2.5	10.0	12.0	1,790.00	12.60	111.10	4,719.59	30.71	215.40
3	2.5	12.0	12.0	1,650.00	11.50	110.90	4,564.12	29.61	215.10
4	2.0	8.0	12.0	170.00	13.10	141.30	2,405.87	31.21	251.20
5	2.0	10.0	12.0	180.00	11.10	141.60	2,439.04	29.21	251.50
6	2.0	12.0	12.0	205.00	10.00	140.80	2,516.41	28.11	250.70

Fuente: Software MEPDG.

Según la tabla anterior podemos decir que:

- Una carpeta de 2.5 pulg tiene mayor cantidad de agrietamiento longitudinal que una carpeta de 2 pulg, esto quiere decir que el agrietamiento longitudinal es mayor mientras se vaya aumentando el espesor, para el transito analizado en el diseño.
- Al modificar los espesores de las bases podemos ver que la diferencia de falla no es muy alta tanto en la longitudinal como en la de piel de cocodrilo.
- Es muy importante tener en cuenta las características de los materiales a utilizar, (al aumentar o disminuir CBR o MR podemos aumentar o disminuir las intensidades de las fallas).

De acuerdo al análisis anterior se tendrá como paquete final: 2” de carpeta, 10” de base y 12” de sub base, cuyos resultados se encuentran en el anexo 6.5. Presentando el cuadro resumen de resultados:

**Tabla N°6.18, Resumen de resultados propuesta de diseño elegida.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	99.1	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	90	180	67.91	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	90	11.1	83.74	Fail
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	141.6	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.44	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

Esta propuesta de diseño presentada anteriormente falla al aplicar la confiabilidad que afecta a tal daño, esto quiere decir que aplicando una confiabilidad del 90% para todas las fallas el programa es muy conservador, sobre todo para las fallas por fatiga (longitudinal y piel de cocodrilo), debido a que aumentan en más del 200% en el resultado de las falla. Por lo tanto se realizaran unas modificaciones en las confiabilidades de estas dos fallas, para obtener un resultado más acorde con nuestra realidad:

- Paquete estructural: carpeta 2” – base 10” – subbase 12”.
- Límites de daño que se tiene para las fallas son:
  - Agrietamiento longitudinal : 1000 pies/milla
  - Agrietamiento de piel de cocodrilo : 25%

- Resultado de las fallas sin confiabilidad:
  - Agrietamiento longitudinal : 180 pies/milla
  - Agrietamiento de piel de cocodrilo : 11.10%

**Tabla N°6.19, Comparación de resultados afectados por confiabilidades.**

CONFIABILIDAD (%)	RESULTADOS DE FALLAS			
	LONGITUDINAL	ACEPTABLE	PIEL DE COCODRILLO	ACEPTABLE
50	180	SI	11.1	SI
55	401.51	SI	12.88	SI
60	626.58	SI	14.68	SI
65	859.22	SI	16.54	SI
70	1104.38	NO	18.51	SI
75	1368.95	NO	20.63	SI
80	1663.56	NO	22.99	SI
85	2006.96	NO	25.74	NO

Fuente: Software MEPDG.

De acuerdo a la tabla anterior podemos concluir que para la falla longitudinal una confiabilidad no muy conservadora dentro del rango aceptable es de 65%, teniendo en cuenta que para otros casos es mejor utilizar una confiabilidad no menor al 80%.

**Tabla N°6.20, Resumen de resultados propuesta elegida y confiabilidad corregida.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	99.1	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	65	180	67.91	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	80	11.1	83.74	Fail
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	141.6	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.44	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

## CAPITULO VII

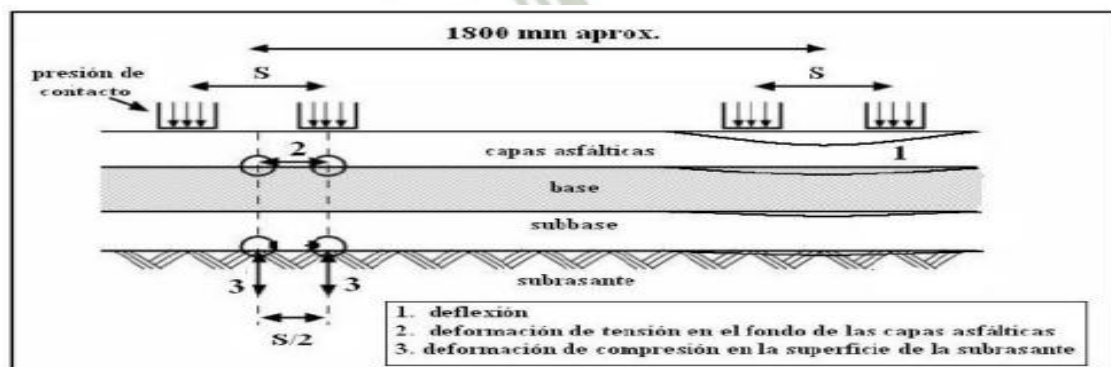
### DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR EL METODO DE DEFLEXIONES

#### 7.1. LA DEFLECTOMETRÍA Y SUS USOS.

Esta evaluación se utiliza para conocer la capacidad portante de la estructura de un pavimento, es decir, si el pavimento está en la capacidad de soportar las cargas de tránsito actuantes en la vía, un método muy sencillo y factible para poder conocer la capacidad estructural del pavimento es aplicar una carga a la superficie de rodadura y medir las deflexiones.

La deflexión de una estructura de pavimento asfáltico es el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en respuesta a la aplicación de una carga externa. Cuando esta carga se aplica sobre la superficie, todas las capas se deflectan, desarrollándose esfuerzos y deformaciones en cada capa, como se observa en la imagen N°7.1.

Imagen N° 7.1, Deflexión en el pavimento asfáltico.



Dependiendo de la estructura del pavimento, la sub rasante contribuye entre un 70 y 95% de la deflexión medida en la superficie del pavimento, es decir, que la mayor deflexión en los pavimentos es causada por la compresión elástica de la sub rasante.

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

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

- Análisis estadístico de las deflexiones del tramo en evaluación.
- Determinar los periodos críticos en que se origina un mayor deterioro del pavimento, basándose en la variación estacional de las deflexiones.
- Como un indicador para estimar la “capacidad de soporte” del pavimento para resistir las cargas de tránsito durante su vida útil.
- Esbozar estrategias de mantenimiento en los sistemas de gestión de pavimentos.

- Análisis de la relación deterioro-fatiga usando procedimientos de cálculo regresivo.
- Correlación entre los valores de deflexiones y la presencia o rápido desarrollo de fallas por fatiga y la posibilidad de establecer un rango de valores tolerables en relación al tránsito.

Un equipo de medición de deflexiones ante una carga estática es la Viga Benkelman y tiene como ventajas y desventajas:

## 7.2. DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA.

Como ya se mencionó en el capítulo III, la deflexión admisible es un parámetro estadístico utilizado para la caracterización representativa de los pavimentos, el cálculo de este parámetro se realizó en el mencionado capítulo (numeral 3.3.3. Ensayo de la Viga Benkelman), los resultados son:

- La deflexión característica es de **59.4 mm<sup>-1</sup>**.
- El radio de curvatura característico es de **287.60 mm**.

## 7.3. DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN ADMISIBLE.

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

Podemos mencionar algunas fórmulas empleadas para calcular la deflexión admisible.

1. De acuerdo al Instituto del Asfalto.
2. De acuerdo al Criterio de California.

Estas fórmulas por ser empíricas son muy sensibles a parámetros como el tráfico de la vía, espesor de la carpeta asfáltica y características de los materiales.

Para hallar la deflexión admisible del pavimento solo se tiene que tener como dato primordial el ESAL del pavimento, en nuestro caso se tienen dos datos de ESAL:

1. El primero calculado de acuerdo al ESAL de diseño que utilizó la entidad para el cálculo de la estructura de pavimento existente, el cual es de  $3.44 \times 10^5$  eq 18 kips.

Con este dato calcularemos el ESAL a la fecha de evaluación que es el año 2012, esto se realizara con la fórmula de población futura.

$$T_j = T_i * (1 + r)^{t_j - t_i}$$

**Ecu. N°7.1**

- $ESAL_{PROYECTO\ 2004} = 3.44 \times 10^5$  (tasa de crecimiento  $r = 6\%$ ).
- $ESAL_{PROYECTO\ 2012} = 3.44 \times 10^5 (1 + 0.06)^{2012 - 2004}$
- $ESAL_{PROYECTO\ 2012} = 5.48 \times 10^5$  eq 18 kips**

2. El segundo dato de ESAL con el que se cuenta es el que se hallara con los datos de evaluación actuales del pavimento, esto quiere decir con el TMDA de 16,460 veh/día, este cálculo se presenta en el anexo 7.1. Según este cálculo se tiene un ESAL al año 2012 de:

$$\text{ESAL}_{\text{ACTUALIZADO 2012}} = 6.62 \times 10^6 \text{ eq 18 kips}$$

Para determinar la deflexión admisible contamos con dos métodos ya antes mencionados que a continuación se calculan:

### 7.3.1. Método del Instituto del Asfalto.

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

Dónde:

Ecu. N°7.2

N = ESAL

- **Deflexión admisible del proyecto:**

$$D_{adm} = 25.64 (5.48 \times 10^5)^{-0.2383}$$

$$D_{adm} = 1.10 \approx 110 \text{ mm}^{-1}$$

- **Deflexión admisible actualizada:**

$$D_{adm} = 25.64 (6.62 \times 10^6)^{-0.2383}$$

$$D_{adm} = 0.607 \approx 61 \text{ mm}^{-1}$$

### 7.3.2. Método del Criterio de California.

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

Dónde:

Ecu. N°7.3

N = ESAL

- **Deflexión admisible del proyecto:**

$$D_{adm} = 6.237 (5.48 \times 10^5)^{-0.165}$$

$$D_{adm} = 0.70 \approx 70 \text{ mm}^{-1}$$

- **Deflexión admisible actualizada:**

$$D_{adm} = 6.237 (6.59 \times 10^6)^{-0.165}$$

$$D_{adm} = 0.47 \approx 47 \text{ mm}^{-1}$$

Como resultados tenemos que según el diseño realizado en el año 2004 nuestras deflexiones admisibles deberían ser:

Instituto del asfalto :  $D_{adm} = 110 \text{ mm}^{-1}$

Criterio de California :  $D_{adm} = 70 \text{ mm}^{-1}$

Pero con el tránsito actualizado que supera en gran parte al del diseño tenemos que las deflexiones admisibles reales son:

Instituto del asfalto :  $D_{adm} = 61 \text{ mm}^{-1}$

Criterio de California :  $D_{adm} = 47 \text{ mm}^{-1}$

## CAPITULO VIII

### ANALISIS E INTERPRETACION DE METODOLOGIAS DE DISEÑO

#### 8.1. ANÁLISIS AASHTO 93.

En la siguiente tabla se presenta la comparación de datos ingresados para el diseño con la guía AASHTO 93 para el proyecto del año 2004 y el diseño con la actualización (verificación) de datos.

**Tabla Nº 8.1, Comparación de datos y resultados AASHTO 93.**

DATOS INGRESADO	PROYECTO 2004	PROYECTO ACTUALIZADO
<b>CBR</b>	25.50 %	19.40 %
<b>MR</b>	19 125.00 lb/pulg <sup>2</sup>	13 933.58 lb/pulg <sup>2</sup>
<b>TMDA</b>	9 613 veh/día	10 023 veh/día
<b>% CAMIONES</b>	2.5 %	Se trabajó con todos los veh.
<b>FACTOR DE CRECIMIENTO</b>	6.00 %	6.40 %
<b>PERIODO DE DISEÑO</b>	10 años	10 años
<b>ESAL</b>	3.44 x 10 <sup>5</sup> eq. 18kips	4.01 x 10 <sup>6</sup> eq 18kips
<b>CONF. R</b>	95 %	95 %
<b>Zr</b>	-1.64	-1.64
<b>DESV. EST. So</b>	0.45	0.49
<b>SERV. Po</b>	4.50	4.50
<b>SERV. Pf</b>	2.50	2.50
<b>SN</b>	<b>2.15 pulg.</b>	<b>3.77 pulg.</b>

Fuente: Elaboración propia.

Y los diseños son:

**Tabla Nº 8.2, Comparación Estructura del pavimento.**

DISEÑO	ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	
	CARPETA ASFALTICA	BASE
<b>PROYECTO</b>	5 cm	20 cm
<b>ACTUALIZADO</b>	10 cm	58 cm

Fuente: Elaboración propia.

- Comparando los CBR, el del diseño y el actualizado tienen una variación de 6.1%, pudiendo atribuirse a que el CBR puede disminuir con el tiempo, ya que el CBR actualizado es el CBR hallado en campo calculado con el método del percentil de diseño.
- Al comparar los Módulos Resilientes ( $M_R$ ) debemos tener en cuenta las formulas usadas en los diseños, estas deben ser elegidas de acuerdo al % de CBR que tiene el materia de sub rasante.
- Para la obtención del ESAL en el proyecto actualizado se trabajó con todos los vehículos haciendo uso del EALF para convertir los vehículos menores en camiones y así poder tener un dato de estos vehículos, por otro lado la tasa de crecimiento aumento en un 0.4% y como resultado usando el método de espectros de carga se obtuvo un ESAL muchísimo mayor al obtenido en el diseño del proyecto en el año 2004.
- Por ultimo comparamos el Número estructural (SN), el cual debido a todos los datos ingresados en la actualización del diseño es mayor al del diseño en el año 2004.
- Ya que el Número Estructural del diseño actualizado es mayor que el número estructural del diseño, podemos decir que el diseño de la estructura de pavimento en el Av. Aviación está **sub-dimensionado**.

## 8.2. ANÁLISIS AASHTO 2008 CALIBRADO.

En la 1ra tabla se presenta los resultados del análisis de diseño del proyecto del año 2004, cambiando las confiabilidades para verificar si estas son aceptables o no.

**Tabla Nº 8.3, Revisión de resultados con el cambio de confiabilidades.**

Performance criteria	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	131.4	99.96	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	65	942	51.06	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	80	57	118	Fail
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	90	1130.4	28.62	Fail
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.13	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.54	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

Se presenta la siguiente tabla para realizar la comparación de resultados al último año de vida y al 8vo comparándolos con los límites de comportamiento de daños:

**Tabla Nº 8.4, Comparación de resultados AASHTO 2008.**

TIPO DE FALLA	LIMITE DE COMPORTAMIENTO	CALCULO DEL DAÑO EN EL PAVIMENTO SEGÚN MEPDG	CALCULO DEL DAÑO EN EL PAV. SEGÚN MEPDG AL 8VO AÑO DE VIDA
Agrietamiento longitudinal	1000 pies/milla	942 pies/milla	646pies/milla
Agrietamiento de piel de cocodrilo	25 %	57 %	44.6 %
Agrietamiento transversal	1000 pies/milla	1130.40 pies/milla	732 pies/milla
Ahuellamiento en la carpeta asfáltica	0.50 pulg	0.128 pulg	0.112 pulg
Ahuellamiento total	0.90 pulg	0.535 pulg	0.51 pulg
IRI	250 pulg/milla	144.9 pulg/milla	128.1 pulg/milla

Fuente: Software MEPDG.

El programa reconoce que las fallas que no cumple con los límites de comportamiento propuestos son:

- **Agrietamiento Longitudinal:** El resultado no es mayor que el límite de comportamiento pero al aplicar la confiabilidad falla.
- **Agrietamiento de Piel de Cocodrilo:** El resultado supera el límite de daño que se tiene para este tipo de falla en 32%.
- **Agrietamiento Transversal:** El resultado sobre pasa en 130.40 pies/milla el límite de daño que se tiene para este tipo de falla.

De acuerdo a esta comparación de resultado con los límites de daños podemos decir que la estructura de pavimento de la Av. Aviación esta **sub-dimensionado**.

Y al comparar los resultados del 8vo año de vida del pavimento con los límites de comportamiento, tenemos que en el agrietamiento de piel de cocodrilo ya supera el límite de daño y las otras fallas comienzan a ser elevadas, por lo tanto actualmente esta estructura de pavimento necesita un **mejoramiento**.

### 8.3. Análisis de Deflexiones.

La deflexión característica obtenida por sectores homogéneos se comparará con la deflexión admisible para el número de repeticiones de ejes equivalentes de diseño.

Se tiene que tener en cuenta que en todos los controles de deflexión para un pavimento se debe cumplir que:

La deflexión característica ( $D_c$ ) sea menor a que la deflexión admisible ( $D_{adm}$ ).

$$D_c < D_{adm}$$

En el caso de que no se cumpla con esta regla nos quiere decir que la estructura del pavimento está soportando más carga vehicular de la que puede soportar, por lo tanto necesitaría un recapado o mejoramiento.

De acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo III (en el ensayo de la Viga Benkelman) y en el capítulo VII, se tiene que la deflexión característica es:

$$D_c = 59.4 \text{ mm}^{-1}$$

Comparando la deflexión característica con las deflexiones admisibles reales tenemos:

$$59.4 \text{ mm}^{-1} < 61 \text{ mm}^{-1}$$

$$59.4 \text{ mm}^{-1} > 47 \text{ mm}^{-1}$$

Según el método del instituto del asfalto nuestra deflexión característica es menor que la admisible pero se tiene que tener en cuenta que estamos a  $1.6 \text{ mm}^{-1}$  de llegar a la admisible, por otro lado según el criterio de California la deflexión característica es mayor que la admisible.

Realizando estas dos comparaciones y teniendo resultados muy cercanos podemos concluir diciendo que la estructura de pavimento está

comenzando a fallar estructuralmente por lo que se necesitaría realizar un mejoramiento estructural.

Por otro lado al realizar una comparación entre las deflexiones admisibles halladas en el capítulo anterior, tenemos que:

La deflexión admisible calculada con los datos que se obtuvieron del diseño en el año 2004, comparada con la deflexión hallada en la actualidad (año 2012) tenemos que:

- Según el instituto del asfalto:

$$Dadm_{2004} > Dadm_{2012}$$

$$110 \text{ mm}^{-1} > 61 \text{ mm}^{-1}$$

- Según el criterio de california:

$$Dadm_{2004} > Dadm_{2012}$$

$$70 \text{ mm}^{-1} > 47 \text{ mm}^{-1}$$

Según estas dos comparaciones podemos decir que el diseño de la estructura de pavimento de la Av. Aviación esta **sub-dimensionada**.

#### 8.4. Índice de Rugosidad.

Definida como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan la calidad de la marcha, la seguridad e incrementan los costos de mantenimiento del vehículo. En el procedimiento de diseño AASHTO, la serviciabilidad está calificada en términos de Clasificación de Serviciabilidad presente (PSR = Present Serviceability Rating).

**Tabla Nº 8.5, Clasificación del pavimento según la serviciabilidad**

Índice de Serviciabilidad	Clasificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Fuente: Guía AAHTO 93.

Existe una correlación entre el IRI y la clasificación de serviciabilidad presente (PSR) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PSR = 5 e^{-0.0041 (IRI)}$$

Según los ensayos para la obtención del índice de rugosidad en la Av. Aviación se obtuvo como resultados:

**Tabla Nº 8.6, Resumen cálculos de IRI.**

Ensayo	Km	Carril	D	IRI (m/km)
1	2+100 - 2+500	Derecho	44.83	2.70
2	2+500 - 2+900	Derecho	32.00	2.10
3	2+900 - 3+300	Derecho	31.05	2.05
<b>Promedio</b>				<b>2.28</b>

Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo III, numeral 3.4.1. Ensayo del Rugosímetro de Merlín, se calculó el IRI para el pavimento en estudio, el cual es:

$$IRI = 2.28m/km = 144.45 \text{ pulg/milla.}$$

Calculando la serviciabilidad en la ecuación de correlación tenemos:

$$PSR = 5 e^{-0.0041 (144.45)}$$

$$PSR = 2.765$$

De acuerdo al resultado obtenido en la correlación del IRI con la serviciabilidad presente, podemos decir que nuestro pavimento se encuentra en una clasificación regular, **por lo tanto el pavimento necesita un mantenimiento.**

### 8.5. Comparación de los materiales.

De acuerdo a los ensayos realizados en el capítulo 3, Lavado asfáltico se obtuvo la granulometría por lo que luego de la obtención de una muestra en el año 2012 se tiene la siguiente tabla:

#### 8.5.1. Granulometría.

**Tabla Nº 8.7, Comparación de la granulometría.**

COMPARACION DE LA GRANULOMETRIA MEZCLA ASFALTICA						
MALLA	Resultados 2012	Especf. de diseño	Check <input type="checkbox"/> o X	Especf. MTC	Tolerancia	Check <input type="checkbox"/> o X
3/4"	100.00	100	✓	100	± 5%	✓
1/2"	85.52	80 - 100	✓	80 - 100	± 5%	✓
3/8"	72.31	70 - 90	✓	70 - 88	± 5%	✓
1/4"					± 5%	
Nº 4	52.74	50 - 70	✓	51 - 68	± 5%	✓
Nº 6					± 4%	
Nº 8	40.49	35 - 50	✓		± 4%	
Nº 10	37.71			38 - 52	± 4%	✓
Nº 16	31.23				± 3%	
Nº 20					± 2%	
Nº 30	23.27	18 - 29	✓		± 3%	
Nº 40	20.51			17 - 28	± 3%	✓
Nº 50	16.96	13 - 23	✓		± 3%	
Nº 80	10.02			8 - 17	± 3%	✓
Nº 100	8.31	8 - 16	✓		± 3%	
Nº 200	3.58	4 - 10	X	4 - 8	± 2%	✓
< Nº 200	0.00					

Fuente: Elaboración propia.

Según la granulometría y de acuerdo al tipo de mezcla asfáltica que se tiene, al realizar el control de calidad un error en el % pasante para la malla N° 200 al igual que el capítulo II existe pérdida de finos en el lavado asfáltico., sale acorde con los parámetros de diseño y con los parámetros dados por el MTC.

### 8.5.2. Porcentaje de asfalto.

Comparando los porcentajes hallados en el capítulo II y el capítulo III tenemos que:

$$\% \text{ Asfalto}_{2004\text{diseño}} = 6.10\% \pm 0.3\%$$

$$\% \text{ Asfalto}_{2004\text{construcción}} = 6.43\%$$

$$\% \text{ Asfalto}_{2012} = 6.38\%$$

Comparando estos resultados corroboramos los resultados del % de asfalto del año de la construcción, con el actual y con el de diseño.

### 8.6. Determinación del plan de trabajo.

Según a las comparaciones anteriores tenemos el siguiente cuadro que nos dará un resumen de diseño y que plan de trabajo debe realizarse.

**Tabla N° 8.4, Plan de trabajo.**

ANALISIS	ESTADO DEL PROYECTO 2004	PLAN DE TRABAJO
AASHTO 1993	Sub-dimensionado	Mejoramiento
AASHTO 2008	Sub-dimensionado	Mejoramiento
DEFLEXIONES	Sub-dimensionado	Mejoramiento
INDICE DE RUGOSIDAD (IRI)	-----	Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados de todas las comparaciones tanto de diseño (AASHTO 93 y 2008) como de evaluación (Deflexión y Rugosidad), se tiene como resultado los planes de trabajo a realizar.

Teniendo en cuenta que contamos con más falla estructural que funcional y de acuerdo a la tabla anterior, en la actualidad a la estructura de pavimento de la Av. Aviación se le necesita otorgarle un nuevo aporte estructural, para lo cual se realizara:

1. Mantenimiento a todas las fallas encontradas.
2. Colocación de un refuerzo estructural.



## CAPITULO IX

### DETERMINACION DEL REFUERZO

#### 9.1. REFUERZO ESTRUCTURAL.

Este tipo de refuerzos es usado comúnmente, excepto cuando el pavimento existente esta tan deteriorado que justifique su remoción total. Los casos en que no es factible colocar el refuerzo de concreto asfaltico son:

- La cantidad de fallas tipo piel de cocodrilo es muy grande.
- Un ahuellamiento superficial excesivo que indique que los materiales del paquete tienen poca estabilidad.
- La base estabilizada existente muestra signos de gran deterioro y repararla sería muy costoso.
- La base granular debe ser removida y reemplazada debido a la infiltración y a la contaminación del material proveniente de una capa inferior (mala calidad).
- El descascaramiento y peladuras de la carpeta indican que esta debe ser reemplazada.

#### 9.2. DISEÑO DE REFUERZO SEGÚN MÉTODO AASHTO 93.

La guía AASHTO 93 para el diseño de pavimentos, es una de las metodologías más difundidas en el mundo, esta guía de diseño ha tenido varias revisiones desde su primera versión en 1968 (1ra revisión) hasta la

actualidad en que se cuenta con la versión 1993 (7ma revisión). La importancia de esta última, es que contiene una serie de nuevos criterios considerados en el diseño de pavimentos, y en especial una parte dedicada a la rehabilitaciones de pavimentos, para la aplicación de la metodología de diseño propuesta por AASHTO 93, para este diseño se tiene que tener en cuenta:

**Nivel de confiabilidad y desviación estándar del refuerzo:** La confiabilidad tiene una gran influencia en el espesor de los refuerzos. Y la incertidumbre para el refuerzo puede ser muy diferente que la de un pavimento nuevo. Se recomienda  $S_o = 0.49$ .

**Evaluación estructural de pavimento existente:**

Las fallas estructurales son aquellas que reducen la capacidad estructural del pavimento, la capacidad estructural SC es el pavimento Flexible es:  
 $SC = SN$  (numero estructural).

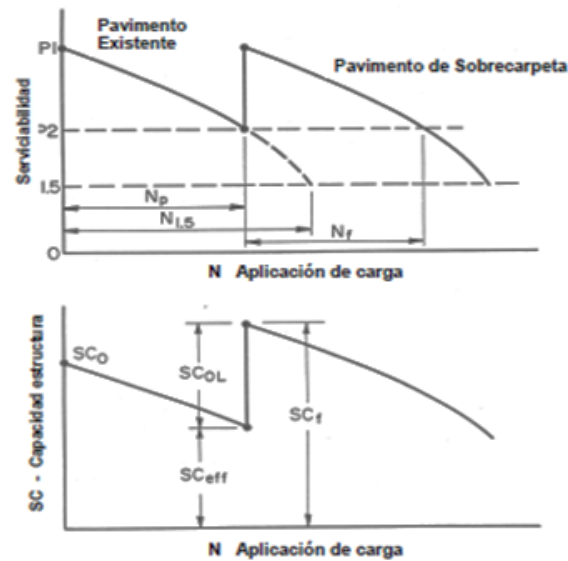
$SN_{eff} = SC_{eff}$  = Número estructural eficiente (al tiempo en que se propone el refuerzo).

$SN_{OL} = SC_{OL}$  = Número estructural requerido del refuerzo (Over Lay).

$SN_o = SC_o$  = Número estructural de diseño inicial.

$SN_1 = SC_1$  = Número estructural requerido para el total al año del refuerzo (transito futuro).

Imagen N°9.1, Variación de la capacidad estructural de un pavimento.



Fuente: Guía AASHTO 93.

De acuerdo a la imagen anterior podemos decir que:

$$SN_1 = SN_{eff} + SN_{OL}$$

$$SN_{OL} = SN_1 - SN_{eff}$$

Ecu. N°9.1

Se sabe que:

$$SN_{OL} = a_{OL} \times D_{OL}$$

Ecu. N°9.2

Dónde:

$a_{OL}$  = Coeficiente de la capa asfáltica del refuerzo.

$D_{OL}$  = Espesor requerido de refuerzo.

Por lo tanto tenemos:

$$a_{OL} \times D_{OL} = SN_1 - SN_{eff}$$

$$D_{OL} = \frac{SN_1 - SN_{eff}}{a_{OL}}$$

Ecu. N°9.3

**a. El pavimento existente está formado por:**

Concreto Asfáltico	5.6 cm
Base Granular (CBR = 33.40%)	30 cm
Total	35.6 cm

**b. Calculando el coeficiente de la capa asfáltica del refuerzo.**

El coeficiente estructural de refuerzo en este caso vale 0.43 (concreto asfáltico).

**c. Calculando el ESAL del 2014 al 2024 para calcular  $SN_1$ .**

Se estima una vida útil del pavimento de refuerzo de 10 años, la tasa de crecimiento será de 6.4% (se estima la misma tasa de crecimiento).

En el capítulo 4 se obtuvo el  $TMDA_{2012} = 16,460$  veh/día

Según el cálculo de población futura tenemos que el  $TMDA_{2014} = 18,633$  veh/día.

Para estimar el dato del  $TMDA_0$  para el cálculo del ESAL del 2014 al 2024, se tiene que tener en cuenta la siguiente formula dada por Cal y Mayor que nos define el transito futuro como:

$$TF = TA + IT$$

Ecu. N°9.4

Dónde:

TF = Transito futuro.

TA = Transito actual.

IT = Incremento del tránsito (este dato se agrega en el cálculo del ESAL con la tasa de crecimiento calculando “g” factor de incremento anual)

Por lo tanto nuestra fórmula para el tránsito futuro será:

$$TF = TA \quad \text{Ecu. N}^{\circ}9.5$$

Siendo:

$$TA = TE + TAT \quad \text{Ecu. N}^{\circ}9.6$$

TE = Tránsito existente = 18,633 veh/día

T<sub>AT</sub> = Tránsito atraído

$$TAT = TG + TD \quad \text{Ecu. N}^{\circ}9.7$$

TG = Tránsito generado (TG = 15%TE según Cal y Mayor)

TD = Tránsito desarrollado (TD = 5%TE según Cal y Mayor)

$$TAT = 20\%(TE) \quad \text{Ecu. N}^{\circ}9.8$$

Por lo tanto el tránsito futuro para calcular el ESAL del 2014 al 2024 es:

$$TF = 18,633 + 0.20(18,633)$$

$$TF = 22,360 \text{ veh/día.}$$

Los cálculos se presentan en el anexo 9.1, se realizó el cálculo de la composición vehicular, del ESAL mediante el método del ESAL unitario y los espectros de carga.

Y calculando el ESAL tenemos:

$$ESAL_{2024} = 8.97 \times 10^6 \text{ eq 18kips}$$

**d. Calculando el número estructural requerido al año del refuerzo (SN<sub>1</sub>).**

La metodología para el cálculo de los recapado, se basa en estimar la diferencia entre el número estructural requerido (SN<sub>f</sub>) para soportar un nuevo periodo de solicitaciones, y el número estructural efectivo existente (SN<sub>eff</sub>). El valor de (SN<sub>f</sub>) se calcula aplicando las fórmulas de diseño propuestas por AASHTO.

$$\log W_{18} = Z_r * S_o + 9.36 \log \left( \frac{SN}{2.54} + 1 \right) - 0.2 + \frac{\log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{SN}{2.54}} + 2.32 \log Mr - 8.07$$

Ingresando con:

Ecu. N°9.9

- CBR de la sub rasante (percentil) = 19.40%
- ESAL<sub>2024</sub> = 8.97 x 10<sup>6</sup>
- Confiabilidad (R) = 85%
- Z<sub>r</sub> = -1.04
- Desviación estándar (S<sub>o</sub>) = 0.49
- Serviciabilidad final (p<sub>f</sub>) = 2.5

Calculando, tenemos que el SN<sub>1</sub> = 9.72 cm ≈ 3.83 pulg.

**e. Se cuentan con 3 maneras para calcular el Número estructural eficiente SN<sub>eff</sub>, las cuales son:**

**1. Mediante ensayos no destructivos (NDT):**

Determinados aparatos (FWD) permiten conocer las condiciones de la sub rasante y de las distintas capas. Este método no se utilizara

por que no se cuenta con el equipo FWD (Falling Weigh Deflectometer).

## 2. Inspección visual y ensayos de materiales:

Estudio de tipos de falla presentes, análisis de las condiciones de drenaje existente, toma de muestras y ensayos de laboratorio.

## 3. Estudios de daños de fatiga por efecto del tránsito (vida

remanente): En base al tránsito que ha pasado se puede inferir un daño por fatiga en el pavimento en base a este, determinar la vida remanente que le queda al pavimento.

### 9.2.1. Inspección visual.

Se determina el  $SN_{eff}$  aplicando la fórmula de diseño del número estructural, en nuestro caso la estructura real del pavimento contiene 2 capas, asfalto y base:

$$SN_{eff} = SN_{carpeta} + SN_{base}$$

$$SN_{eff} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_1 \quad \text{Ecu. N°9.10}$$

Los coeficientes estructurales de capa  $a_1$  y  $a_2$  se encuentran minorados por efecto del deterioro, estos se obtienen de las siguientes tablas:

**Tabla N° 9.1, Coeficiente de capa ( $a_1$ ) de acuerdo a la condición de la carpeta de rodadura.**

CONDICION DE LA CARPETA DE RODADURA	COEF.
Piel de cocodrilo leve o fisuras transversales leves	0.35 a 0.40
Menos del 10% de piel de cocodrilo leve, menos del 5% fisuras transversales moderadas a severas.	0.25 a 0.35
<b>Más del 10% de piel de cocodrilo leve y/o menos del 10% fisuras de piel de cocodrilo moderado y/o 5-10% fisuras transversales moderadas a severas.</b>	<b>0.20 a 0.30</b>
Más del 10% fisuras de piel de cocodrilo moderada y/o menos del 10% fisuras de piel de cocodrilo severa y/o más del 10 % fisuras transversales.	0.14 a 0.20
Más del 10% de fisuras tipo piel de cocodrilo son severas y/o más del 10% de fisuras transversales severas.	0.08 a 0.15

Fuente: Guía AASHTO 93.

**Tabla N° 9.2, Coeficiente de capa ( $a_2$ ) de acuerdo a la condición de la base y sub base granular.**

CONDICION DE LA BASE Y SUBBASE GRANULAR	COEF.
No hay evidencia de bombeo, degradación o contaminación de fino.	0.10 a 0.14
Cierta evidencia de bombeo, degradación o contaminación de fino.	0.00 a 0.10

Fuente: Software MEPDG.

De acuerdo al estudio de relevamiento de fallas realizado en todo el ancho de la vía es decir de 7.20 y de 500m de largo, se tiene que:

**Tabla N° 9.3, Porcentaje de fallas en el pavimento.**

Tipo de falla	Nivel de Severidad		
	Leve	Media	Severa
Piel de cocodrilo	10.72%	-----	-----
Fisuras transversales	3.19%	14.32%	23.06%

Fuente: Software MEPDG.

Solo se considera un coeficiente estructural minorado para la carpeta de concreto asfaltico, que es la única que está deteriorada. Se considera:

$$a_1 = 0.25$$

Ya que hay un más del 10% de piel de cocodrilo leve y/o menos del 10% fisuras de piel de cocodrilo moderado y/o 5 - 10% fisuras transversales moderadas a severas.

El coeficiente estructural para la base es el mismo coeficiente con el que se diseñó:

$$a_2 = 0.11$$

Para el coeficiente de drenaje se realizó un cálculo para el tipo de material en el capítulo 4, el cual es:

$$m_1 = 1.19$$

Ingresando estos datos a la ecuación N°9.10 tenemos:

$$SN_{eff} = (0.25)(5.6) + (0.11)(30)(1.19)$$

$$SN_{eff} = 5.33 \text{ cm}$$

Calculando el espesor de la capa de refuerzo con la ecuación 9.3, tenemos:

$$D_{OL} = \frac{SN_1 - SN_{eff}}{a_{OL}}$$

$$D_{OL} = \frac{9.72 - 5.33}{0.43}$$

$$D_{OL} = 10.21 \text{ cm} = 4.08 \text{ pulg}$$

Con este método tenemos como resultado 4pulg (10cm) de espesor.

### 9.2.2. Vida remanente.

La vida remanente de un pavimento responde a esta expresión:

$$\frac{(N - N_p)}{N_{1.5}} = \left(1 - \frac{RL}{100}\right) \quad \text{Ecu. N}^\circ\text{9.11}$$

Dónde:

RL = Vida remanente.

$N_p$  = ESAL hasta el momento actual (antes del refuerzo).

$N_{1.5}$  = Numero de cargas que producen la rotura del pavimento (lleva al pavimento a tener una serviciabilidad de 1.5)  $p_t = 1.5$ . Este valor se determina con una confiabilidad del 50%.

Luego en función de la vida remanente se determina el factor de condición CF y el número estructural  $SN_{eff}$ .

#### Factor de condición (CF):

$$CF = \frac{SC_n}{SC_o} \quad \text{Ecu. N}^\circ\text{9.12}$$

Dónde:

$SC_n$  = Capacidad estructural del pavimento después de  $N_p$  ESALs.

$SC_o$  = Capacidad estructural original del pavimento.

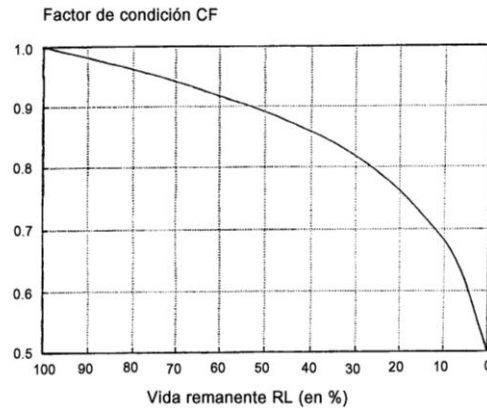
Si RL = 100%,  $N_p = 0$   $SC = SC_o \rightarrow CF = 1.0$

Si RL = 0%,  $N_p = N_{1.5}$   $SC = SC_{falla} \rightarrow CF = 0.5$

$N_{1.5}$  Ecuación de diseño o con el uso de ábacos. (Confiabilidad = 50%).

Si  $N_p > N_{1.5}$  se usa  $CF = 0.5$  para la estimación del  $SC_{eff}$ .

**Imagen N° 9.2, Relación entre el factor de condición y la vida remanente.**



Fuente: Guía AASHTO 93.

$$SC_{eff} = CF \times SN_o$$

Ecu. N°9.13

Dónde:

$SC_{eff}$  = Capacidad estructural efectiva del pavimento existente.

$SN_o$  = Capacidad estructural original del pavimento.

Espesor de refuerzo:

$$SN_{OL} = a_{OL} \times D_{OL} = SN_f - SN_{eff}$$

Calculando  $N_p$  que es el ESAL que ha soportado antes del refuerzo, a partir del año 2004 al año 2014, estos cálculos se encuentran en el anexo 9.2.

$$N_p = 4.05 \times 10^6 \text{ eq 18kips.}$$

Para calcular el  $N_{1.5} = W_{18}$ , que es todo el ESAL que puede soportar, se ingresando a la ecuación AASHTO con los siguientes datos:

$$\text{CBR} = 19.40\%$$

$$\text{Confiabilidad (R)} = 50\%$$

$$p_o = 4.20$$

$$p_f = 1.50$$

$$\text{SN} = (a_1)(D_1) + (a_2)(D_2)(m_1) = (0.43)(5.6\text{cm}) + (0.11)(30\text{cm})(1.19)$$

$$\text{SN} = 6.34\text{cm}$$

Entonces:

$$\mathbf{N_{1.5} = W_{18} = 2.70 \times 10^6}_{\text{eq 18kips}}$$

De acuerdo a los cálculos realizados tenemos que:

$$\mathbf{N_p > N_{1.5}}$$

$$\mathbf{4.01 \times 10^6 > 2.70 \times 10^6}$$

Por lo tanto utilizaremos  $\text{CF} = 0.50$  y  $\text{SN}_0 = 6.34\text{cm}$  en la ecuación

9.8.

$$\text{SC}_{\text{eff}} = 0.50 \times 6.34$$

$$\mathbf{\text{SC}_{\text{eff}} = 3.17\text{cm}}$$

Calculando el espesor de refuerzo:

$$D_{\text{OL}} = \frac{\text{SN}_1 - \text{SN}_{\text{eff}}}{a_{\text{OL}}}$$

$$D_{\text{OL}} = \frac{9.72 - 3.17}{0.43}$$

$$D_{OL} = 15.23 \text{ cm} = 6.09 \text{ pulg}$$

De acuerdo a la metodología de vida remanente se tiene como espesor de diseño: 6 pulg (15 cm).

### 9.3. DISEÑO DE REFUERZO SEGÚN MÉTODO AASHTO 2008.

En este método se describen los procedimientos mecánico – empíricos para el diseño de rehabilitaciones de pavimentos flexibles con refuerzos de concreto asfáltico.

El diseño de rehabilitaciones con concreto asfáltico es muy similar al diseño de un pavimento flexible nuevo, los cuales ya se mostraron en el capítulo 5. Diseño de Pavimento Flexible AASHTO 2008, siendo un diseño iterativo:

- Se selecciona una alternativa de diseño.
- Se estudia a detalle para ver el final de su vida de diseño (comprobando que las fallas estén dentro de los límites aceptables).

El refuerzo reduce la tasa a la cual se desarrollan las fallas en el pavimento existente, el estado del pavimento existente juega un rol muy importante en el desarrollo de estos daños en el refuerzo.

#### 9.3.1. Información general.

- Nombre del proyecto y descripción.
- Vida de diseño: La vida útil esperada para la rehabilitación que es este caso será de 10 años.

- Fecha de construcción del pavimento existente: Febrero → Agosto 2004.
- Fecha de construcción del refuerzo: Agosto 2014 → Febrero 2015.
- Fecha de apertura al tránsito: Octubre 2014 → Abril 2015.
- Refuerzo de concreto asfáltico: Se elige la opción Overlay (superposición), seleccionamos Asphalt concrete overlay, y AC over AC, lo cual nos indica que el refuerzo es de concreto asfáltico sobre superficie asfáltica.

### **9.3.2. Ubicación del proyecto.**

La ubicación, identificación, sección, formato, progresivas es el mismo tramo colocado en el anterior diseño con el MEPDG.

### **9.3.3. Parámetros de análisis.**

Las confiabilidades para el diseño de un refuerzo son del 50% para todas las fisuras y agrietamientos, esto quiere decir para las fallas longitudinal, piel de cocodrilo y transversal.

### **9.3.4. Tránsito.**

Los datos de tránsito son datos clave para proceder al análisis y diseño de rehabilitaciones, los procedimientos de diseño para todos los tipos de rehabilitaciones con concreto asfáltico están basados en estimaciones futuras de tránsito. Datos de entrada del mismo tipo que para un pavimento nuevo.

Se cuenta con el estudio de tránsito para el año 2012 por lo tanto se tienen los datos a ingresar:

#### 9.3.4.1. Transito medio diario anual.

El TMDA<sub>2014</sub> se calculó en el numeral 9.2, inciso c. Calculando el transito atraído, por lo tanto nuestro dato de tránsito para calcular el número total de vehículos para este diseño será:

$$\text{TMDA}_{2014} = 22,360 \text{ veh/día}$$

Y según la composición del tránsito se tiene:

**Tabla Nº 9.4, Composición vehicular.**

VEHICULO	%	Nº veh. Entero
Autos	68.153	15239.00
Pick up	12.337	2759.00
Combi rural	6.053	1353.00
Micro bus	11.262	2518.00
Bus 2E	0.280	63.00
Bus 3E	0.036	8.00
Camión 2E	1.241	278.00
Camión 3E	0.380	85.00
Camión 4E	0.059	13.00
Semi trailer 2S1/2S2	0.031	7.00
Semi trailer 2S3	0.032	7.00
Semi trailer 3S1/3S2	0.030	7.00
Semi trailer >=3S3	0.038	8.00
Trailer 2T2	0.017	4.00
Trailer 2T3	0.015	3.00
Trailer 3T2	0.018	4.00
Trailer 3T3	0.016	4.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>22,360</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se realizaron las equivalencias con el EALF para poder utilizar todos los vehículos en estudio, se procederá hallar la equivalencia de los vehículos livianos a camión 3E.

**Tabla N° 9.5, Equivalencias de vehículos livianos a camión 3E.**

	Nº veh.	EALF Camión 3E	Camión 3E
Auto	15,239	0.000115469	2.00
Pick up	2,759	0.000962245	3.00
Combi rural	1,353	0.001239372	2.00
Micro	2,518	0.046926781	118.00
<b>TOTAL CAMION 3E</b>			<b>125</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto el número total de vehículos pesados es:

**Tabla N° 9.6, Número total de vehículos.**

VEHICULO	Nº veh.	FHWA
Autos	0	<b>CLASE 2</b>
Pick up	0	<b>CLASE 3</b>
Combi rural	0	
Micro	0	
Bus 2E	63	<b>CLASE 4</b>
Bus 3E	8	
Camión 2E	278	<b>CLASE 5</b>
Camión 3E	210	<b>CLASE 6</b>
Camión 4E	13	<b>CLASE 7</b>
Semi trailer 2S1/2S2	7	<b>CLASE 8</b>
Semi trailer 2S3	7	<b>CLASE 9</b>
Semi trailer 3S1/3S2	7	
Semi trailer >=3S3	8	<b>CLASE 10</b>
Trailer 2T2	4	<b>CLASE 11</b>
Trailer 2T3	3	
Trailer 3T2	4	
Trailer 3T3	4	<b>CLASE 12</b>
<b>TOTAL</b>	<b>616</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Cambiando la tabla anterior a la clasificación FHWA tenemos:

**Tabla Nº 9.7, Clasificación de vehículos según la FHWA.**

FHWA	MTC Perú	Nº Vehículos
clase 4	Bus 2E, Bus 3E-1	71
clase 5	C2 (1-1)	278
clase 6	C3 (1-2)	210
clase 7	C4 (1-3)	13
clase 8	T2S1 (2S1, 2S2)	7
clase 9	T2S3, T3S1 (3S1, 3S2)	14
clase 10	T3S3	8
clase 11	C2R2 (2T2), C2R3 (2T3), C3R2 (3T2)	11
clase 12	C3R3 (3T3)	4
clase 13	-----	0
<b>Total</b>		<b>616</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto el transito medio diario anual de camiones al año 2014 es de:

$$\text{AADTT} = 616 \text{ veh/día.}$$

Los siguientes puntos, ya los vimos en el capítulo V, es por eso que se muestra un resumen de los datos de ingreso que se colocaran:

- Número de carriles en la dirección de diseño: 2 carriles.
- Porcentaje de camiones en la dirección de diseño: 100%.
- Porcentaje de vehículos en el carril de diseño: 80%.
- Velocidad operativa de los vehículos: 25mph (40km/hr).

### 9.3.5. Clima.

El clima al igual que en las características y factores del tránsito, es el mismo archivo que se realizó para el diseño del pavimento flexible nuevo en el capítulo V.

### 9.3.6. Estructural del pavimento.

Para el ingreso de las capas de la estructura de pavimento en un refuerzo, se necesita colocar todas las capas existentes, con sus respectivas características de materiales.

Las características de los materiales como en algunos otros factores que se ingresaron al programa también se detallaron en el capítulo V, por lo que se mostraran las ventanas de ingreso de estos datos.

- **Carpeta asfáltica (refuerzo): 3.75 cm (1.5 pulg).**
- **Carpeta asfáltica (existente): 5.00 cm (2 pulg).**
- **Base granular: 20.00 cm (7.87 pulg).**

Al momento de colocar la estructura para diseñar el refuerzo tiene que colocar los datos en la parte de la derecha, los cuales son:

- **Rehabilitation Level:** Nivel de rehabilitación, trabajaremos en el nivel 3.
- **Milled thickness (in):** Espesor de fresado, no se realizará fresado de la carpeta existente, así que se coloca 0.
- **Pavement rating:** Puntuación del pavimento, es la serviciabilidad actual del pavimento, esta se calculó el capítulo 8, numeral 8.5.

Teniendo como resultado:

$$\text{PSI} = 2.756$$

Se elige FAIR, lo que indica que el pavimento existente tiene una serviciabilidad razonable.

- **Total rutting:** (Ahuellamiento total), Este dato se calculó en el capítulo III, en el relevamiento de fallas, el cual no da un ahuellamiento de 3.545 mm que es igual a 0.14pulg.

• **Concreto asfáltico (Refuerzo):**

Para el refuerzo se propone una mezcla SMA, que es una mezcla de excelente desempeño a largo plazo, específicamente debido a su alta resistencia a la deformación permanente bajo un tráfico pesado. Los datos se encuentran en el anexo N° 9.3.

a) **Granulometría:**

**Tabla N° 9.8, Granulometría mezcla SMA.**

Granulometría (Tanteo SMA TMN 19.05 mm)				
Tamiz	Tamiz mm	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
1	25.400	0	0	100
3/4	19.050	7	7	93
1/2	12.700	23	30	70
3/8	9.525	24	54	46
1/4	6.350	18	72	28
4	4.760	4	76	24
6	3.360	1	77	23
8	2.380	2	79	21
10	2.000	1	80	20
16	1.138	2	82	18
20	0.840	1	83	17
30	0.590	1	84	16
40	0.426	1	85	15
50	0.297	2	87	13
80	0.177	2	89	11
100	0.149	1	90	10
200	0.074	1	91	9
Fondo		9	100	0
Total		100	-	-

Fuente: GAMARRA, R. 2009.

**b) Dosificación de la mezcla asfáltica:**

**Tabla N° 9.9, Dosificación mezcla asfáltica SMA.**

Dosificación	%	
Cemento asfáltico	6.397	100.000
Fibra de celulosa	0.400	
Restante:	93.203	
Grava $\frac{3}{4}$	11.18	12.00%
Grava $\frac{1}{2}$	58.72	63.00%
Arena	15.84	17.00%
Filler	7.46	8.00%
<b>Total % del agregado</b>		<b>100.00%</b>

Fuente: GAMARRA, R. 2009.

**c) Características de la mezcla asfáltica:**

Estas características se obtuvieron del ensayo MARSHALL, el cual se encuentra en el anexo N°9.3:

**Tabla N° 9.10, Resumen ensayo Marshall.**

ENSAYO MARSHALL	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM - D2041	2.44
% DE VACIOS	3.28
% V.M.A.	17.02
% VACIOS LLENADO POR C.A.	80.76
% DE ASFALTO EFECTIVO	5.89
FLUJO (0.01 PULG)	15.43
ESTABILIDAD CORREGIDA	1,066.14

Fuente: GAMARRA, R. 2009.

- \* Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/4": 7.00%
- \* Porcentaje Retenido Acumulado malla 3/8": 54.00%
- \* Porcentaje Retenido Acumulado malla N°4: 76.00%
- \* Porcentaje Pasante Acumulado malla N° 200: 9.00%
- \* Contenido de asfalto: 6.397 %
- \* Porcentaje de vacíos: 3.276 %
- \* Peso unitario total:  $2.44 \text{ gr/cm}^3 = 152.39 \text{ lb/pie}^3$

- **Concreto asfáltico, base y sub rasante (Existente):**

Los datos de la estructura existente son los mismos que se utilizaron en el capítulo V, diseño de pavimento flexible AASHTO 2008.

### 9.3.7. Coeficientes de calibración.

Los coeficientes de calibración ya se calcularon y estos vienen a ser los mismos para el diseño de rehabilitación (diseño del refuerzo).

- ❖ Fallas por fatiga:  $\beta_{f2} = 0.95$
- ❖ Agrietamiento Transversal:  $\beta_{t3} = 120.00$
- ❖ Ahuellamiento:  $\beta_{r1} = 1.00$

### 9.3.8. Resultados.

En el anexo N° 9.4 se presentan los resultados y a continuación los siguientes cuadros resúmenes:

**Tabla N° 9.11, Resumen de Resultados.**

Resumen de Confiabilidad					
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho	Confiabilidad Predicha	Aceptable
IRI final (in/mi)	250	90	77.3	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	50	6390	1.33	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	50	0.0001	99.999	Pass
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	50	1.00	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.12	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.24	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

Como se puede observar en la tabla N°9.11, nuestro diseño de refuerzo no pasa en el agrietamiento longitudinal, este supera el límite de daño permitido.

Se hizo una comparación de este diseño con uno de espesor de 2pulg (anexo N° 9.5) y los resultados son similares, presentando a continuación la comparación de resultados.

a) Comparación de resúmenes de resultados:

**Tabla N° 9.12, Comparación de resultados según espesores.**

Resumen de Confiabilidad						
Criterio de Rendimiento	Límite de Daño	Confiabilidad	Daño Predicho		Confiabilidad Predicha	Aceptable
			Espesor 1.5 pulg	Espesor 2 pulg		
IRI final (in/mi)	250	90	77.3	75.5	99.999	Pass
Agrietamiento Long. (ft/mile):	1000	50	6390	6800	1.33	Fail
Piel de cocodrilo (%):	25	50	0.0001	0.0001	99.999	Pass
Agrietamiento transversal (ft/mi):	1000	50	1	1	99.999	Pass
Deformación permanente (in):	0.5	90	0.12	0.09	99.999	Pass
Deformación permanente total) (in):	0.9	90	0.24	0.2	99.999	Pass

Fuente: Software MEPDG.

b) Comparación de fallas longitudinales anuales:

**Tabla N° 9.13, Comparación Agrietamiento Longitudinal.**

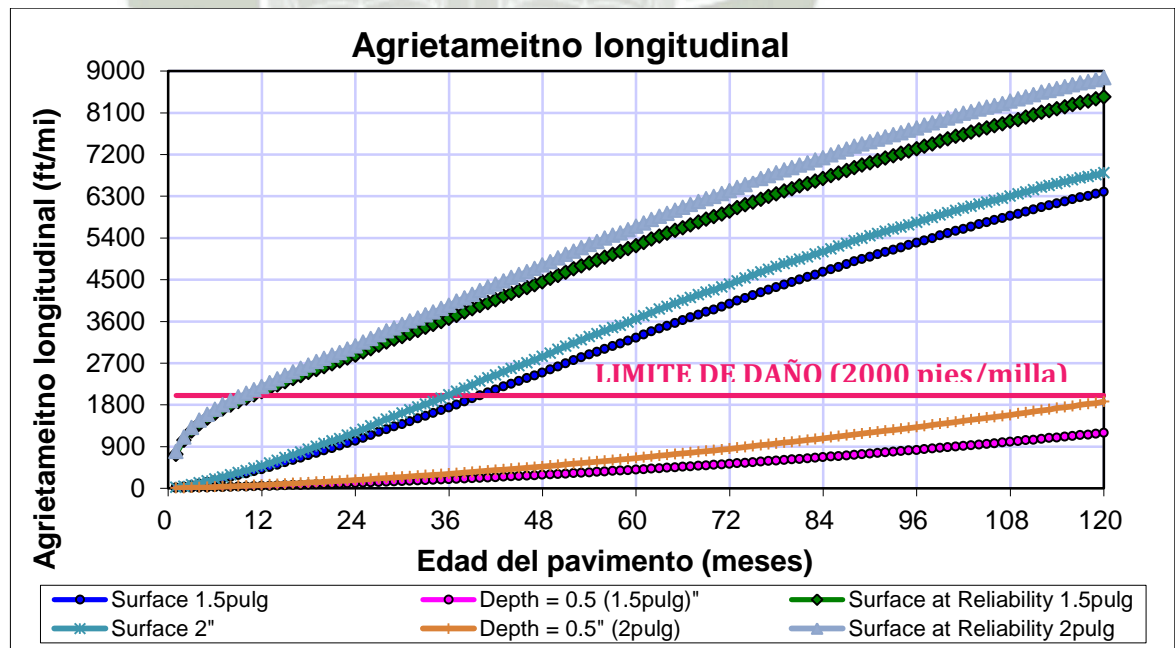
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL					
Edad del pavimento		Espesor 1.5 pulg		Espesor 2 pulg	
		Longitudinal	Aplicando la confiabilidad	Longitudinal	Aplicando la confiabilidad
		Cracking	Longitudinal	Cracking	Longitudinal
		(ft/mi)	Cracking	(ft/mi)	Cracking
mes	año		(ft/mi)		(ft/mi)
12	1	405.00	2,082.93	482.00	2,195.59
24	2	1,020.00	2,867.05	1,200.00	3,070.93
36	3	1,740.00	3,659.90	2,010.00	3,947.60
48	4	2,490.00	4,451.58	2,840.00	4,815.14
60	5	3,240.00	5,228.42	3,650.00	5,649.43
72	6	3,970.00	5,977.40	4,400.00	6,416.63
84	7	4,660.00	6,681.61	5,100.00	7,129.50
96	8	5,290.00	7,322.41	5,730.00	7,769.41
108	9	5,870.00	7,911.44	6,300.00	8,347.22
120	10	6,390.00	8,438.40	6,800.00	8,853.93

Fuente: Software MEPDG.

En la tabla y como se muestra en el siguiente gráfico, se encuentran los resultados del análisis de deterioro del agrietamiento longitudinal, para los dos espesores de refuerzo diseñados, como se puede observar las fallas longitudinales comienzan a aparecer en el 1er año de vida del refuerzo, cabe resaltar que esta falla se encuentra en la superficie del refuerzo (ver gráfico N°9.2 surface 1.5pulg y surface 2pulg), esta falla comienza a superar el límite de daño en el 3er año y 5 meses para el refuerzo de 1.5pulg y 3er año para el refuerzo de 2 pulg, lo que nos indica que para un espesor de 1.5pulg encontraremos menores fallas que para un espesor de 2pulg.

Por lo tanto entre las 2 alternativas propuestas se elige el refuerzo de espesor de 1.5 pulg (3.75cm).

**Gráfico N° 9.2, Comparación de resultados del agrietamiento longitudinal.**



#### **9.4. DISEÑO DE REFUERZO SEGÚN MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.**

Este método fue desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica y se encuentra publicado en la Serie de Manuales N°17 (MS-17), en su edición de 1983.

Esta metodología consiste en estimar espesores de recapados para la rehabilitación de pavimentos tanto de asfalto como de hormigón, considerando las condiciones estructurales del pavimento existente.

##### **9.4.1. Método de Diseño Empírico por Medida de Deflexión.**

Para el caso del diseño de un recapado con asfalto sobre un pavimento de superficie asfáltica, se considera para la determinación del espesor necesario del recapado, obtener la deflexión de diseño mediante el ensayo de la Viga Benkelman y el número de ejes equivalentes que solicitara este pavimento durante el periodo de diseño del recapado.

La deflexión de diseño debe ser determinada empleando el promedio de deflexiones medidas en una sesión de la vía (deflexiones medias), a la cual se le debe sumar dos veces la desviación estándar; a este valor obtenido, se le debe multiplicar por un factor de ajuste por temperatura ( $f$ ) y por un factor de ajuste periódico ( $c$ ) correspondiente al intervalo de tiempo durante el cual la estructura de pavimento se estima que será más afectada por las solicitaciones de carga.

$$\delta_{diseño} = (\bar{x} + 2S) * f * c \quad \text{Ecu. N}^{\circ}9.14$$

Dónde:

$\delta_{Diseño}$  = Deflexión de diseño.

$\bar{x}$  = Media aritmética de los valores de deflexiones.

S = Desviación estándar del valor promedio.

f = Factor de ajuste por temperatura.

c = Factor de ajuste por periodo crítico.

El ensayo de la Viga Benkelman y sus resultados se encuentran calculados en el capítulo III, Muestreo y Análisis de la Estructura Real del Pavimento.

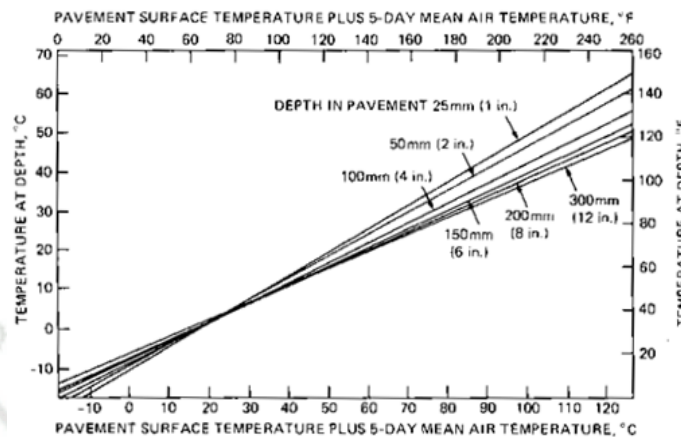
#### 9.4.2. Factor de ajuste por temperatura.

Considera cambios de temperatura y humedad que ocurren durante el día, mes o año de medición de las deflexiones. Durante la realización de las mediciones se tomaron medidas de la temperatura del asfalto se obtuvo como resultado:

**Temperatura promedio del asfalto: 32.6°C.**

Una vez hallado este valor se deberá promediar los valores de las temperaturas máximas y mínimas del aire (ambiente) de los 5 días previos a la medición de las deflexiones en el tramo en estudio, que sumada a la temperatura promedio del asfalto se obtendrá la temperatura para ingresar en la siguiente gráfica:

**Gráfico N° 9.3, Predicción de la temperatura del pavimento.**



- Promedio de las 5 temperaturas previas al día del ensayo.

**Tabla N° 9.14, Promedio de temperaturas.**

Fecha de ensayo:		01/04/2012	
Fecha:	Día	Temperatura Máxima	Temperatura. Mínima
27/03/2012	Martes	20.0 °C	9.0 °C
28/03/2012	Miércoles	20.1 °C	11.1 °C
29/03/2012	Jueves	19.3 °C	9.9 °C
30/03/2012	Viernes	20.5 °C	9.7 °C
31/03/2012	Sábado	19.0 °C	11.1 °C
<b>Promedio</b>		<b>19.8 °C</b>	<b>10.2 °C</b>
<b>Promedio total</b>		<b>15 °C</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Temperatura Promedio de los últimos 5 días °C : 15.00**

**Temperatura promedio del asfalto °C : 32.60**

La temperatura a usar en el gráfico es la suma de la temperatura promedio de los 5 días previos y la temperatura promedio del asfalto.

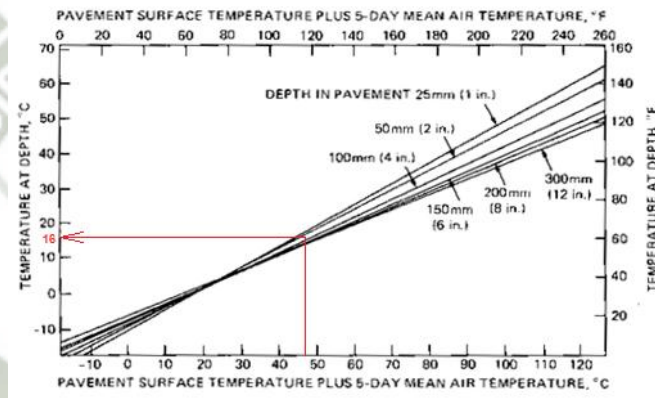
Con esta nueva temperatura y sabiendo que el espesor de la carpeta asfáltica es de 5.6cm y su espesor medio es de 2.8cm, se hallaran las nuevas temperaturas, en la mitad y en el fondo de la carpeta asfáltica:

**Temperatura a usar en el grafico (°C) : 47.60**

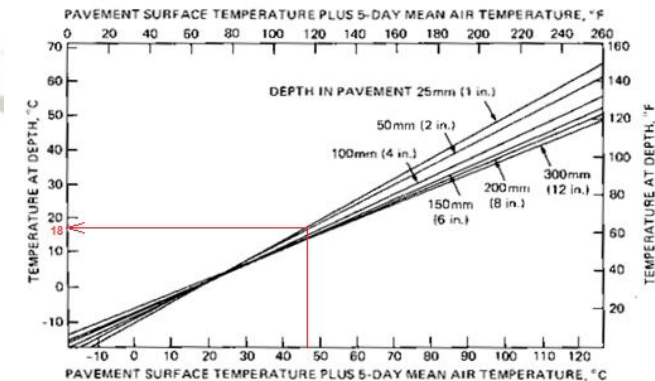
**Espesor de la carpeta asfáltica (mm) : 56.00**

**Espesor medio de la carpeta asfáltica (mm) : 28.00**

**Grafica N° 9.4, Hallando la temperatura al fondo de la capa.**



**Grafica N° 9.5, Hallando la temperatura a medio espesor de la capa.**



**Temperatura al fondo de la capa (°C) : 16**

**Temperatura a medio espesor de la capa (°C) : 18**

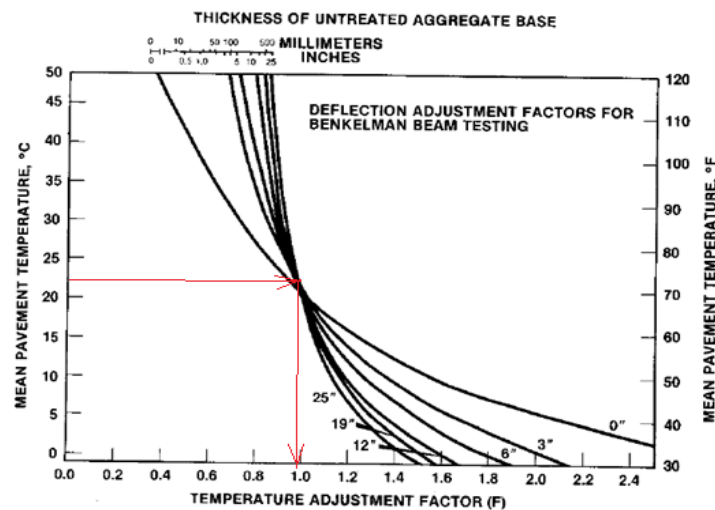
Se deben promediar las nuevas temperaturas con el promedio de la temperatura del pavimento:

<b>Temp. Promedio del asfalto (°C)</b>	<b>: 32.60</b>
<b>Temp. Al fondo de la capa (mm)</b>	<b>: 16.00</b>
<b>Temp. A medio espesor de la capa (mm)</b>	<b>: 18.00</b>
<b>TEMPERATURA MEDIA DEL PAVIMENTO (°C)</b>	<b>: 22.20</b>

Para hallar el factor de temperatura “f”, se utilizara el siguiente gráfico, ingresando con la temperatura calculada anteriormente y el espesor de la base granular del pavimento analizado.

<b>Temperatura media del pavimento (°C)</b>	<b>: 22.2</b>
<b>Espesor de la base (cm)</b>	<b>: 30.00 (11.81pulg)</b>

**Grafica N° 9.6, Hallando el factor de ajuste por temperatura.**



**FACTOR DE AJUSTE DE TEMPETATURA (f) : 0.99**

#### 9.4.3. Factor de ajuste por periodo crítico.

El periodo crítico es el intervalo del tiempo durante el cual la estructura de pavimento está más sensible a ser afectada por las solicitaciones de carga. El Instituto del Asfalto define este factor con la finalidad de corregir la deflexión de acuerdo al clima.

El método recomienda dos procesos para determinar el factor de ajuste por periodo crítico:

- a. Poseer una base de datos donde con secciones similares de pavimento, temperatura ambiente y sub rasante, se realicen los ensayos deflectométricos y poseer las deflexiones en diferentes épocas del año.
  - Se realizará la medición de la deflexión donde se supone el pavimento no tendrá muchos cambio estructurales, el factor será igual a 1.
  - Se realizó la medición en diferentes épocas del año, donde basándose en el factor 1 se obtendrá otros factores que cuantifican mejor la desviación de la deflexión en este caso serán mayores que la unidad.
- b. Si no se posee esta base, que en medida es la realidad se puede realizar ensayos en forma normal y realizar los ajustes necesarios empleando juicios que hayan intervenido en este tipo de trabajos, como la siguiente tabla:

**Tabla Nº 9.15, Factores de corrección de la Deflexión  
Promedio por condiciones ambientales.**

Naturaleza del suelo de la sub rasante	Condiciones climáticas durante el periodo de la medición en campo		
	lluvias	intermedio	Seco
Suelos arenosos y permeables	1.0	1.0 a 1.1	1.1 a 1.3
Suelos arcillosos e impermeables	1.0	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Fuente: MS17 Instituto del asfalto.

Utilizando la tabla anterior donde indicaremos las condiciones del clima del ensayo, se realizó en un clima seco, con suelo de fundación arenoso permeable, obteniendo como resultado:

**FACTOR DE AJUSTE POR PERIODO CRÍTICO : 1.10**

#### 9.4.4. Deflexión de diseño ( $\delta_{\text{Diseño}}$ ).

Para el cálculo de la deflexión de diseño se necesita tener los valores del promedio de deflexiones y la desviación estándar calculadas en el ensayo de la Viga Benkelman (capítulo 3):

**Promedio Do ( $\bar{x}$ ) : 47.3 mm<sup>-1</sup>**

**Desviación estándar (S) : 7.4 mm<sup>-1</sup>**

Con los factores obtenidos en los numerales anteriores se calcula la deflexión de diseño:

$$\delta_{\text{diseño}} = (\bar{x} + 2S) * f * c$$

$$\delta_{\text{diseño}} = (47.3 + 2(7.4)) * 0.99 * 1.10$$

$$\delta_{\text{diseño}} = 67.63 \text{ mm}^{-1}$$

#### 9.4.5. Determinación del espesor de refuerzo.

Para determinar el espesor de refuerzo se tiene la gráfica N° 9.7, que nos da el Instituto del Asfalto (MS – 17), es aquí donde ubicaremos en la abscisa superior la Deflexión de Diseño en mm y en la inferior en pulgadas, en la ordenada derecha se encontrara el ESAL y finalmente en la ordenada izquierda el Espesor de refuerzo en mm y en pulgadas.

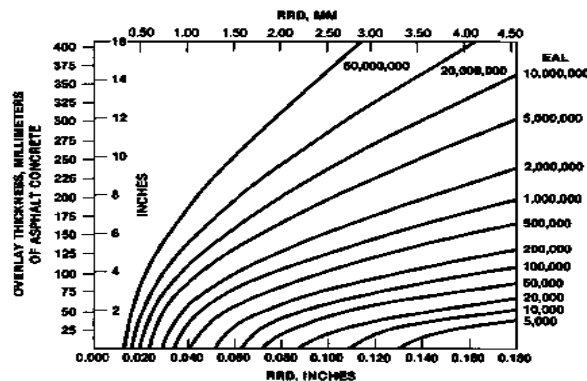


Figure IV-6—Asphalt concrete overlay thickness required to reduce pavement deflections from a measured to a design deflection value (rebound test)

#### Estimación del ESAL.

El ESAL utilizado para este diseño es para el tránsito del año 2004 al 2014, es decir la cantidad de tránsito que soportara el refuerzo.

Este ESAL fue calculado en el numeral 9.2 inciso c.

$$ESAL_{2014-2024} = 8.97 \times 10^6_{eq\ 18kips}$$

Por lo tanto con todos los datos hallados anteriormente procedemos a ingresarlos a la gráfica N° 9.7:

- $\delta_{diseño} = 67.63\ mm^{-1} = 0.676\ mm$
- $ESAL = 6.59 \times 10^6_{eq\ 18\ kips}$

Grafica N° 9.8, Hallando el refuerzo asfáltico.

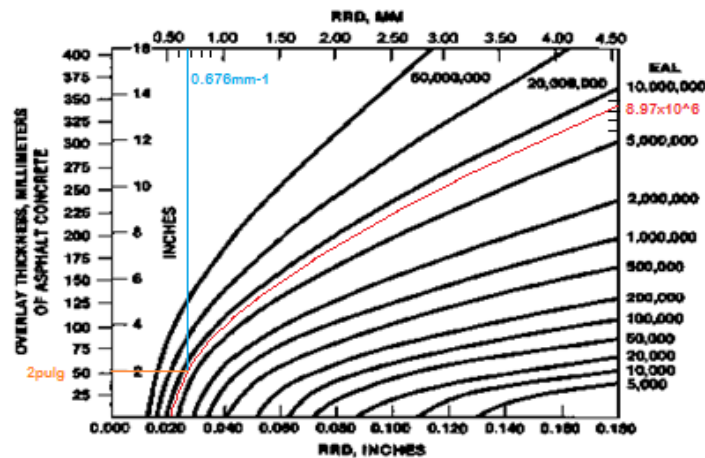


Figure IV-6—Asphalt concrete overlay thickness required to reduce pavement deflections from a measured to a design deflection value (rebound test)

El espesor de refuerzo según el Instituto del Asfalto es: 2 pulg (5 cm).

### 9.5. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS Y ELECCIÓN DEL ESPESOR DE DISEÑO.

Se presenta la siguiente tabla con el resumen de resultados de cada propuesta de diseño:

Tabla N° 9.16, Comparación de método de diseño.

DISEÑO DE REFUERZO		
METODOLOGIA DE DISEÑO	PROPUESTA DE ESPESOR	
	(pulg)	(cm)
<b>AASHTO 93</b>		
- Inspección Visual	4.00	10.00
- Vida Remanente	6.00	15.00
<b>AASHTO 2008</b>		
	1.50	4.00
<b>INSTITUTO DEL ASFALTO</b>		
	2.00	5.00

Fuente: Elaboración propia.

Debemos tener en cuenta que:

- El método de inspección visual, es un método que no cuenta con fundamentos mecanicistas.
- El método de vida remanente, es un método empírico y muy conservador.
- El método AASHTO 2008, es un método mecánico – empírico que considera tanto las fallas que se desarrollan en el refuerzo como las que continúan del daño del pavimento existente, ciertamente conservador debido a la confiabilidad asignada para los deterioros, con lo positivo que todas las características asignadas en el programa son locales (transito, clima, materiales).
- El método del Instituto del asfalto, es un método también mecánico – empírico que nos permite diseñar el espesor del refuerzo mediante las condiciones estructurales actuales (deflexiones).

Como respuesta final de espesor de diseño elegiremos el resultado con el método AASHTO 2008, ya que contamos con más detalle en el diseño y contamos con el plan de mantenimiento de fisuras, para la vida de diseño.

## CAPITULO X

### PLAN DE MEJORAMIENTO

#### 10.1. DETERMINACIÓN DE LAS INTERVENCIONES TOTALES SEGÚN RELEVAMIENTO ACTUAL DE FALLAS.

En el capítulo III, se realizó el relevamiento de fallas para la Av. Aviación en un tramo de muestra, solamente para el carril de diseño de la vía es decir 3.60m de ancho, razón por la cual se tendrá que realizar el metrado de toda la vía (7.20m de ancho) en el tramo de muestra ya antes mencionado.

Con el metrado de estas fallas para 0.5km podemos hallar el factor de las fallas presentadas en la estructura de pavimento es decir  $m/km$  o  $m^2/km$  de acuerdo a la unidad de la falla, este factor se calculara dividiendo del total de cada tipo de falla encontrada en el metrado entra la longitud en kilómetros decir 0.5km.

El metrado se realizó del mismo modo que el relevamiento de fallas, realizando un análisis fotográfico con el programa AutoCAD, cada 2 y 3 metros, obteniendo un resumen de fallas cada 25m tal como lo muestra la siguiente imagen.

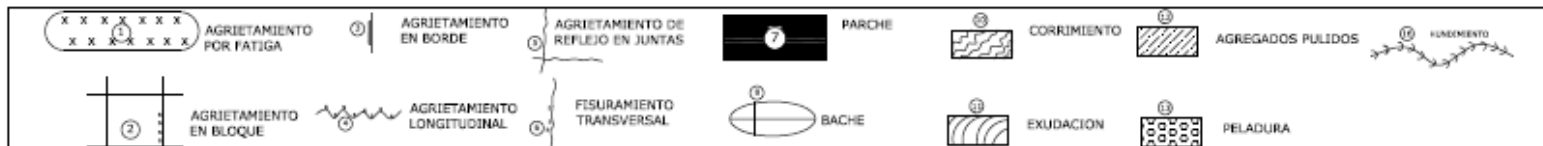
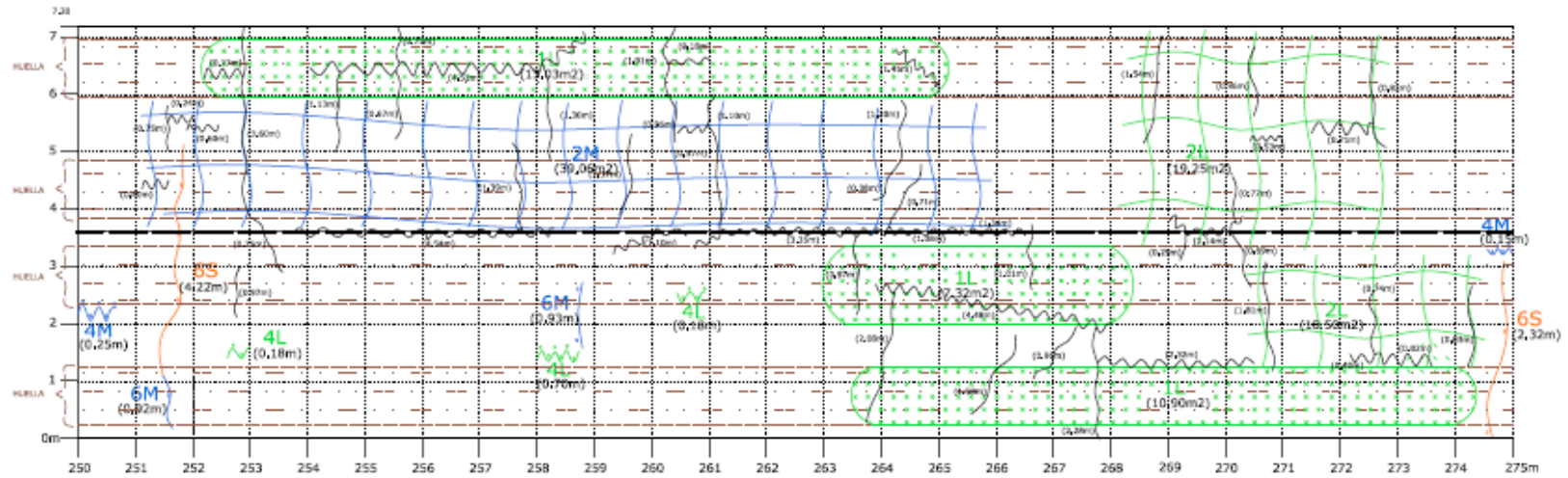
Imagen N° 10.1, Plano de metrado de fallas.

METRADO DE FALLAS

Proyecto : DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUIAS ASSHTO 93 Y AASHTO 2008, EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM 2+100 HASTA KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA,

Ubicación: AVENIDA AVIACION, CERRO COLORADO - AREQUIPA

Tramo : km 2+350 @ 2+375



Se muestra la siguiente tabla resumen de los metrados de fallas realizados en el tramo de muestra (0.5 km = 500 m):

**Tabla N° 10.1, Metrado de fallas tramo de muestra (500 m).**

<b>METRADO DE FALLAS PARA EL TRAMO DE MUESTRA (500m)</b>				
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UND</b>	<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
		<b>Leve</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
Agrietamiento de piel de cocodrilo	m	382.36	-	-
Agrietamiento en bloque	m	169.62	101.56	32.66
Agrietamiento de borde	m	10.00	-	-
Agrietamiento longitudinal	m	24.26	20.01	20.85
Agrietamiento transversal	m	15.97	71.59	115.30
Baches	m2	0.52	-	-
Peladuras	m2	81.21	43.88	-

Fuente: Elaboración propia.

Calculando los factores para cada nivel y tipo de falla se tiene la siguiente tabla:

**Tabla N° 10.2, Factores para metrados de fallas.**

<b>FACTORES PARA METRADOS</b>				
<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>UND</b>	<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		
		<b>Leve</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>
Agrietamiento de piel de cocodrilo	m/km	564.72	-	-
Agrietamiento en bloque	m/km	339.24	202.12	65.32
Agrietamiento de borde	m/km	20.00	-	-
Agrietamiento longitudinal	m/km	48.52	40.04	41.70
Agrietamiento transversal	m/km	31.94	143.18	230.60
Baches	m2/km	1.04	-	-
Peladuras	m2/km	162.42	87.76	-

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior se calcularan los metrados de las fallas para todo el tramo propuesto en el mejoramiento:

**Tabla N° 10.3, Metrado total de fallas.**

METRADOS (8.4km)				
TIPO DE FALLA	UND	NIVEL DE SEVERIDAD		
		Leve	Moderado	Severo
Agrietamiento de piel de cocodrilo	m	4743.65	-	-
Agrietamiento en bloque	m	2849.62	1706.21	548.69
Agrietamiento de borde	m	168.00	-	-
Agrietamiento longitudinal	m	407.57	336.34	350.28
Agrietamiento transversal	m	268.30	1202.71	1937.04
Baches	m2	8.74	-	-
Peladuras	m2	1364.33	317.18	-

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N°1.20 Mantenimiento de acuerdo al nivel de cada tipo de falla, mostrada en el capítulo 1, se tiene el tipo de mantenimiento para cada falla encontrada en el pavimento analizado, por lo que a continuación se describirán las intervenciones que se realizarán a las fallas encontradas en el metrado:

- **Agrietamiento de cocodrilo.**  
Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.
- **Agrietamiento en bloque.**  
Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.  
Moderado: Sello de grietas de 6 a 19mm.  
Severo: Sello de grietas mayores a 19mm.
- **Agrietamiento de borde.**  
Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.
- **Agrietamiento longitudinal.**  
Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.  
Moderado: Sello de grietas de 6 a 19mm.

Severo: Sello de grietas mayores a 19mm.

- **Agrietamiento transversal.**

Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.

Moderado: Sello de grietas de 6 a 19mm.

Severo: Sello de grietas mayores a 19mm.

- **Baches.**

Leve: Parchado superficial.

- **Peladuras.**

Cualquier nivel: Sellos asfáltico o tratamiento superficial.

De acuerdo a las intervenciones o mantenimientos para cada tipo de falla tenemos las siguientes partidas con el respectivo metrado:

**Tabla Nº 10.4, Metrado de fallas.**

DESCRIPCION	UND	METRADO
Leve: Sello de fisuras y grietas de 3 a 6mm.	m	<b>8,437.14</b>
Moderado: Sello de grietas de 6 a 19mm.	m	<b>3,245.26</b>
Severo: Sello de grietas mayores a 19mm.	m	<b>2,836.01</b>
Parchado superficial.	m <sup>2</sup>	<b>8.74</b>

Fuente: Elaboración propia.

\* Para las peladuras encontradas no se realizara ningún tratamiento previo, ya que se colocara un refuerzo asfáltico.

## 10.2. DETERMINACIÓN DE PARTIDAS A EJECUTAR.

Las partidas que serán ejecutadas en este proyecto serán:

**Tabla Nº 10.5, Partidas a ejecutar.**

ITEM	DESCRIPCION	UND
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>	
01.01	CARTEL DE OBRA	Und.
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.
02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2
<b>03</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>	
03.01	SELLO DE FISURAS Y GRIETAS DE 3 A 6mm	m
03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m
03.03	SELLO DE GRIETAS MAQYORES A 19mm	m
03.04	PARCHADO SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFALTICOS	m2
<b>04</b>	<b>REFUERZO ASFALTICO</b>	
04.01	RIEGO DE LIGA	m2
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 1.5pulg	m2
04.02.01	PREPARACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3
04.02.02	TRANSPORTE DE LA MEZCLA ASFALTICA A OBRA 25km	m3
04.02.03	EXTENDIDO Y COMPACTADO	m2

Fuente: Elaboración propia.

### 10.3. DETERMINACIÓN DE METRADOS PARA LAS PARTIDAS A EJECUTAR.

Como ya se mencionó anteriormente el área total a realizar la obra es del km 2+100 al 6+300 para las dos vías, es decir tanto para los carriles de subida como para los de bajada.

La longitud total 8.4km (8400m).

El ancho de los carriles es 7.2m.

El área total de la vía a rehabilitar es de 60,480.00 m<sup>2</sup>.

**Tabla N° 10.6, Metrado de partidas.**

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>		
01.01	CARTEL DE OBRA	Und.	1.00
<b>02</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>		
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.	1.00
02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	60,480.00
<b>03</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>		
03.01	SELLO DE FISURAS Y GRIETAS DE 3 A 6mm	m	8,437.14
03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m	3,245.26
03.03	SELLO DE GRIETAS MAQYORES A 19mm	m	2,836.01
03.04	PARCHADO SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFALTICOS	m2	8.74
<b>04</b>	<b>REFUERZO ASFALTICO</b>		
04.01	RIEGO DE LIGA	m2	60,480.00
04.02	<b>CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 1.5pulg (4cm)</b>	m2	60,480.00
04.02.01	PREPARACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3	2,419.20
04.02.02	TRANSPORTE DE LA MEZCLA ASFALTICA A OBRA 25km	m3	2,419.20
04.02.03	EXTENDIDO Y COMPACTADO	m2	60,480.00

Fuente: Elaboración propia.

#### 10.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Las especificaciones técnicas de las partidas especificadas en el punto anterior, corresponden al manual de carreteras en la parte de: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú; en los siguientes ítems.

- Sección 101 – Movilización y desmovilización de equipo.
- Sección 102 – Topografía y georeferenciación.
- Sección 421 – Sello de fisuras.
- Sección 422 – Sello de grietas.
- Sección 417 – Riego de Liga.

- Sección 424 – Pavimento de concreto asfáltico con mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA).

Se debe indicar que las especificaciones técnicas indicadas en el párrafo anterior no se adjuntan en el presente proyecto de investigación.

#### 10.5. DETERMINACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE LAS PARTIDAS A EJECUTAR.

Los análisis de costos unitarios de las partidas se encuentran en el anexo N°10.1.

#### 10.6. DETERMINACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL MEJORAMIENTO.

El cálculo del presupuesto nos da como monto total de mantenimiento:

<b>Costo Directo</b>	<b>:</b>	<b>1,888,309.17 S/.</b>
<b>Gastos Generales</b>	<b>:</b>	<b>283,246.38 S/.</b>
<b><u>Utilidad 10%</u></b>	<b>:</b>	<b><u>188,830.92 S/.</u></b>
<b>Sub Total</b>	<b>:</b>	<b>2,360,386.47 S/.</b>
<b><u>Impuesto IGV (18%)</u></b>	<b>:</b>	<b><u>424,869.56 S/.</u></b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>:</b>	<b>2,785,256.03 S/.</b>

## CAPITULO XI

### PLAN DE MANTENIMIENTO

#### 11.1. PLAN DE MANTENIMIENTO.

Según los modelos de deterioro obtenidos en el diseño del refuerzo se sabe que los deterioros que van a superar el nivel de falla en el pavimento a lo largo del servicio son:

- **Agrietamiento Longitudinal.**

Por lo tanto se analizarán dos estrategias de intervención:

1. Tratamiento de fisuras y grietas.
2. Tratamiento superficial con Slurry Seal o lechada asfáltica.

Se analizarán las dos estrategias y se determinará la mejor según análisis técnico-económico.

Se debe mencionar que este plan de mantenimiento no considera los mantenimientos rutinarios, tales como:

- Barrido.
- Limpieza de drenes, bermas.
- Señalización horizontal.

## 11.2. ESTRATEGIA PARA TRATAMIENTO DE FISURAS Y GRIETAS.

La metodología de diseño AASHTO 2008 nos da el daño acumulado para toda la vida útil del refuerzo estructural, en la siguiente tabla se presentan los daños para cada año y el acumulado que es el resultado del cálculo con el programa MEPDG:

**Tabla Nº 11.1, Daño calculado y daño acumulado por año.**

Edad del Pav.		Daño Calculado			Daño Acumulado		
		Agrietamiento Longitudinal (pies/milla)	Agrietamiento Longitudinal (m/km)	Porcentaje de Daño (%)	Agrietamiento Longitudinal (pies/milla)	Agrietamiento Longitudinal (m/km)	Porcentaje acumulado (%)
mes	año						
12	1	405.00	76.55	6.34%	405.00	76.55	6.34%
24	2	615.00	116.24	9.62%	1,020.00	192.78	15.96%
36	3	720.00	136.08	11.27%	1,740.00	328.86	27.23%
48	4	750.00	141.75	11.74%	2,490.00	470.61	38.97%
60	5	750.00	141.75	11.74%	3,240.00	612.36	50.70%
72	6	730.00	137.97	11.42%	3,970.00	750.33	62.13%
84	7	690.00	130.41	10.80%	4,660.00	880.74	72.93%
96	8	630.00	119.07	9.86%	5,290.00	999.81	82.79%
108	9	580.00	109.62	9.08%	5,870.00	1,109.43	91.86%
120	10	520.00	98.28	8.14%	6,390.00	1,207.71	100.00%
<b>TOTAL</b>		<b>6,390.00</b>	<b>1,207.71</b>	<b>100.00%</b>			

Fuente: Elaboración propia.

### 11.2.1. Determinación del número de intervenciones a lo largo del periodo de diseño.

Según la metodología HDM versión 4, Highway Development and Management (Herramienta para el desarrollo y administración de carreteras), en sus estrategias recomienda una intervención del tratamiento de fisuras entre el 10 al 25% de la falla total acumulada, por lo tanto se determinaran el número de intervenciones al 10% y 20%, para poder comparar estas dos propuestas se realizara un análisis de costos para cada año intervención, teniendo en cuenta

que las partidas a ser utilizadas para esta comparación serán, Movilización y desmovilización de equipo y Sello de grietas de 6 a 19mm:

**Imagen Nº 11.1, Análisis de costos unitarios Movilización y desmovilización de equipos y maquinarias.**

<b>2.01. MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS</b>					
REND.: glb/día	Costo unitario directo por glb				750.00
Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales					
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb		1.0000	750.00	750.00

Fuente: Elaboración propia, programa S10.

**Imagen Nº 11.2, Análisis de costos unitarios de Fisuras y grietas de 6 a 19mm.**

<b>03.01. SELLO DE GRIETAS</b>					
REND.: 1,500 m/día	Costo unitario directo por glb				11.60
Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	13.15	0.07
OPERARIO	hh	3.0000	0.0160	11.95	0.19
PEON	hh	4.0000	0.0213	9.64	0.21
					<b>0.47</b>
Materiales					
SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.3200	11.15	3.57
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.3200	17.40	5.57
					<b>9.14</b>
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.47	0.01
COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87HP	hm	1.0000	0.0053	75.39	0.40
	hm	1.0000	0.0053	88.50	0.47
	hm	1.0000	0.0053	153.40	0.81
	hm	1.0000	0.0053	56.12	0.30
					<b>1.99</b>

Fuente: Elaboración propia, programa S10.

- Propuesta de intervenciones con fallas al 10%:

**Tabla Nº 11.2, Programa de intervenciones al 10%.**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AL 10%						
Porcentaje de Daño (%)	Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 2		Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 3	
		% de Fisuras Arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar		% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar
6.34%	6.34%	-	-	-	-	-
9.62%	15.96%	15.96	-	-	-	-
11.27%	27.23%		11.27	11.27	11.27	-
11.74%	38.97%		11.74	23.01		11.74
11.74%	50.70%		11.74	34.75		11.74
11.41%	62.13%		11.42	46.17		11.42
10.80%	72.93%		10.8	56.97		10.8
9.86%	82.79%		9.86	66.83		9.86
9.08%	91.86%		9.08	75.91		9.08
8.14%	100.00%		8.14	84.05		8.14
Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 4		Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 5		
	% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar		% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar	
11.74	11.74	-	-	-	-	
23.48		11.74	11.74	11.74	-	
34.9		11.42	23.16		11.42	
45.7		10.8	33.96		10.8	
55.56		9.86	43.82		9.86	
64.64		9.08	52.9		9.08	
72.78		8.14	61.04		8.14	
Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 6		Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 7		
	% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar		% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar	
11.42	11.42	-	-	-	-	
22.22		10.8	10.8	10.8	-	
32.08		9.86	20.66		9.86	
41.16		9.08	29.74		9.08	
49.3		8.14	37.88		8.14	
Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 9		Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 10		
	% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar		% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar	
9.86	-	-		-	-	
18.94	18.94	-		-	-	
27.08		8.14	8.14	8.14	-	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11.3, Intervenciones al 10%.

INTERVENCIONES AL 10%		
Año	Actuaciones	
	% daño	m/km
1	0	-
2	15.96	192.75
3	11.27	136.11
4	11.74	141.79
5	11.74	141.79
6	11.41	137.80
7	10.80	130.43
8	0.00	0.00
9	18.94	228.74
10	8.14	98.31
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>1,207.71</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 11.4, Costo propuesta de intervenciones al 10%.

PROPUESTA AL 10%											
Año	INTERV.		METRADO FISURAS	SELLO DE GRIETAS	MOV Y DESMOV.	COSTO DIRECTO	G.G.	UTL.	COSTO TOTAL	IGV	COSTO POR INTERVENCIÓN
			8.4	11.6	750.00						
	% daño	m/km	km	S./m	S/.	S/.	15%	10%	S/.	18%	S/.
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	15.96	192.75	<b>1,619.10</b>	18,781.56	750.00	<b>19,531.56</b>	2,929.73	1,953.16	<b>24,414.45</b>	4,394.60	<b>28,809.05</b>
3	11.27	136.11	<b>1,143.32</b>	13,262.56	750.00	<b>14,012.56</b>	2,101.88	1,401.26	<b>17,515.70</b>	3,152.83	<b>20,668.52</b>
4	11.74	141.79	<b>1,191.04</b>	13,816.02	750.00	<b>14,566.02</b>	2,184.90	1,456.60	<b>18,207.52</b>	3,277.35	<b>21,484.88</b>
5	11.74	141.79	<b>1,191.04</b>	13,816.02	750.00	<b>14,566.02</b>	2,184.90	1,456.60	<b>18,207.52</b>	3,277.35	<b>21,484.88</b>
6	11.41	137.80	<b>1,157.52</b>	13,427.23	750.00	<b>14,177.23</b>	2,126.58	1,417.72	<b>17,721.54</b>	3,189.88	<b>20,911.42</b>
7	10.80	130.43	<b>1,095.61</b>	12,709.10	750.00	<b>13,459.10</b>	2,018.86	1,345.91	<b>16,823.87</b>	3,028.30	<b>19,852.17</b>
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	18.94	228.74	<b>1,921.42</b>	22,288.43	750.00	<b>23,038.43</b>	3,455.76	2,303.84	<b>28,798.03</b>	5,183.65	<b>33,981.68</b>
10	8.14	98.31	<b>825.80</b>	9,579.33	750.00	<b>10,329.33</b>	1,549.40	1,032.93	<b>12,911.66</b>	2,324.10	<b>15,235.76</b>
<b>T</b>	<b>100.00</b>	<b>1,207.72</b>	<b>10,144.85</b>	<b>117,680.24</b>	<b>6,000.00</b>	<b>123,680.24</b>	<b>18,552.04</b>	<b>12,368.02</b>	<b>154,600.30</b>	<b>27,828.05</b>	<b>182,428.35</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Propuesta de intervenciones con fallas al 20%:

**Tabla Nº 11.5, Programa de intervenciones al 20%.**

<b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE FISURAS AL 20%</b>						
Porcentaje de Daño (%)	Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 3		Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 5	
		% de Fisuras Arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar		% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar
6.34%	6.34%	-	-	-	-	-
9.62%	15.96%	-	-	-	-	-
11.27%	27.23%	27.23	-	-	-	-
11.74%	38.97%		11.74	11.74	-	-
11.74%	50.70%		11.74	23.47	23.47	-
11.41%	62.13%		11.42	34.9		11.42
10.80%	72.93%		10.8	45.7		10.8
9.86%	82.79%		9.86	55.56		9.86
9.08%	91.86%		9.08	64.63		9.08
8.14%	100.00%		8.14	72.77		8.14
Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 7	Porcent. Acumu. (%)	INTERVENCION AÑO 10			
			% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar	% de Fisuras arregladas	% de Saldo de fisuras por arreglar
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
11.42	-	-	-	-	-	-
22.22	22.22	-	-	-	-	-
32.08		9.86	9.86	-	-	-
41.16		9.08	18.94	-	-	-
49.3		8.14	27.07	27.07	-	-

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 11.6, Intervenciones al 20%.**

INTERVENCIONES AL 20%		
Año	Actuaciones	
	% daño	m/km
1	0.00%	-
2	0.00%	-
3	27.23%	328.86
4	0.00%	-
5	23.47%	283.50
6	0.00%	-
7	22.22%	268.38
8	0.00%	-
9	0.00%	-
10	27.07%	326.97
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>1,207.71</b>

Fuente: Elaboración propia.

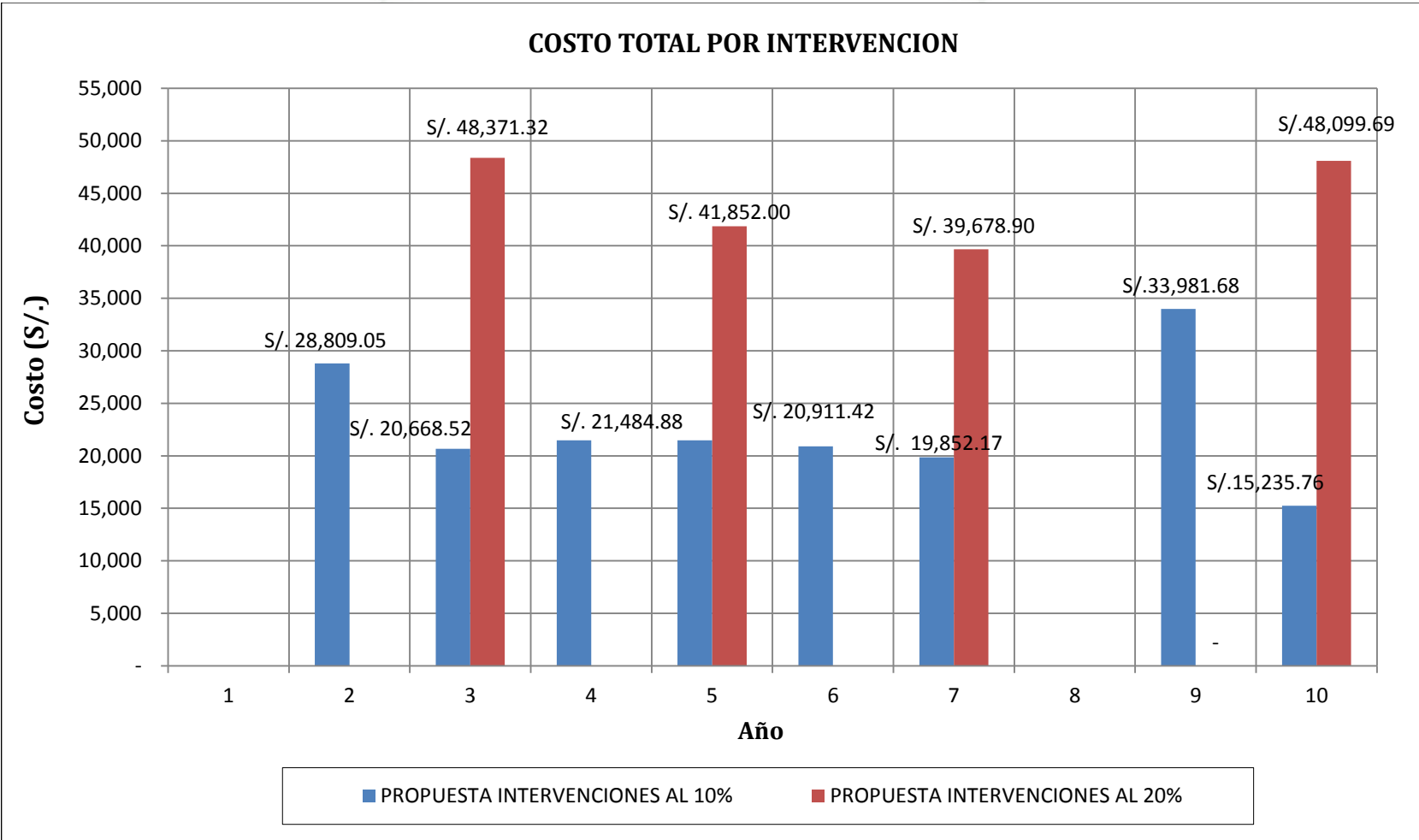
**Tabla N° 11.7, Costo propuesta de intervenciones al 20%.**

PROPUESTA AL 20%											
Año	INTERVENCIONES		KM TOTAL	SELLO DE GRIETAS	MOV Y DESMO V.	COSTO DIRECTO	G. G.	UTL.	COSTO TOTAL	IGV	COSTO POR INTERVENCIÓN
	% daño	m/km	km	S./m	glb						
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	27.23	328.86	2,762.42	32,044.12	750.00	<b>32,794.12</b>	4,919.12	3,279.41	<b>40,992.65</b>	7,378.68	<b>48,371.32</b>
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	23.47	283.50	2,381.40	27,624.24	750.00	<b>28,374.24</b>	4,256.14	2,837.42	<b>35,467.80</b>	6,384.20	<b>41,852.00</b>
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	22.22	268.38	2,254.39	26,150.95	750.00	<b>26,900.95</b>	4,035.14	2,690.09	<b>33,626.18</b>	6,052.71	<b>39,678.90</b>
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	27.07	326.97	2,746.55	31,859.96	750.00	<b>32,609.96</b>	4,891.49	3,261.00	<b>40,762.45</b>	7,337.24	<b>48,099.69</b>
<b>T</b>	<b>1.00</b>	<b>1,207.71</b>	<b>10,144.76</b>	<b>117,679.26</b>	<b>3,000.00</b>	<b>120,679.26</b>	<b>18,101.89</b>	<b>12,067.93</b>	<b>150,849.08</b>	<b>27,152.83</b>	<b>178,001.91</b>

Fuente: Elaboración propia.

Para poder comparar las dos propuestas de intervención se tiene el siguiente gráfico:

**Gráfico N° 11.1, Comparación de costos por año de intervención.**



Comparando los costos podemos observar que el total de las intervenciones realizadas al 10% es de S/. 182,428.35 y de las intervenciones realizadas al 20% es de S/. 178,001.91 siendo la diferencia de S/. 4,426.44, tenemos que tener en cuenta también que como se muestra en el gráfico N°11.1 la propuesta de intervención al 20% son menos consecutivas por lo que reduce los costos en movilización y costos indirectos, por lo tanto, eligiendo la alternativa más económica tenemos la propuesta de intervenciones al 20%.

#### 11.2.2. Determinación de partidas.

**Tabla N° 11.8, Partidas a ejecutar tratamiento de fallas.**

ITEM	DESCRIPCION	UND
<b>01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.
<b>02</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>	
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m

Fuente: Elaboración propia.

#### 11.2.3. Determinación de metrados.

**Tabla N° 11.9. Metrados tratamiento de fallas.**

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
<b>01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>		
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.	4.00
<b>02</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>		
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m	10,144.76

Fuente: Elaboración propia.

#### **11.2.4. Especificaciones técnicas.**

Las especificaciones técnicas de las partidas especificadas en el punto anterior, corresponden al manual de carreteras en la parte de: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú; en los siguientes ítems.

- Sección 101 – Movilización y desmovilización de equipo.
- Sección 421 – Sello de fisuras.
- Sección 422 – Sello de grietas.

Se debe indicar que las especificaciones técnicas indicadas en el párrafo anterior no se adjuntan en el presente proyecto de investigación.

#### **11.2.5. Determinación de costos unitarios de las partidas a ejecutar.**

Los análisis de costos unitarios se encuentran en el Numeral 11.2.1. Determinación del número de intervenciones a lo largo del periodo de diseño, del presente capítulo.

#### **11.2.6. Determinación del costo actual de la estrategia.**

El cálculo del presupuesto se encuentra en el anexo N°11.1, el cual nos da como monto actual de la estrategia elegida:

<b>Costo Directo</b>	<b>:</b>	<b>120,679.22 S/.</b>
<b>Gastos Generales</b>	<b>:</b>	<b>18,101.88 S/.</b>
<b><u>Utilidad 10%</u></b>	<b>:</b>	<b><u>12,067.92 S/.</u></b>
<b>Sub Total</b>	<b>:</b>	<b>150,849.02 S/.</b>
<b><u>Impuesto IGV (18%)</u></b>	<b>:</b>	<b><u>27,152.82 S/.</u></b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>:</b>	<b>178,001.84 S/.</b>

### 11.3. ESTRATEGIA TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON SLURRY SEAL O LECHADA ASFÁLTICA.

Una lechada asfáltica es un tratamiento superficial constituido por un mortero de arena - asfalto (emulsión asfáltica).

La función de este tratamiento superficial es cubrir las fallas que se presentan en el pavimento con una capa de aproximadamente 1cm; la función de esta capa es recuperar las características funcionales del pavimento mas no las características estructurales, es decir que no aporta capacidad estructural.

Se considera que este tratamiento se coloca sobre superficies que tienen un estado de deterioro medio a bajo, es decir que debe ser colocado sobre superficies asfálticas que no presenten:

- Ahuellamiento excesivo mayor a 8mm.
- Piel de cocodrilo en nivel de deterioro moderado a alto.
- Agrietamiento total acumulado mayor a 4000.00 pies/milla.

Según lo descrito anteriormente es factible la colocación de un mortero de una lechada asfáltica a los 6 años de vida de servicio considerando que:

- El ahuellamiento es: 0.192 pulg (6 mm) al 6to año.
- La piel de cocodrilo es: 0.00 al 6to año.
- Agrietamiento total acumulado es 3970.00 pies/milla al 6to año.

### 11.3.1. Determinación de partidas.

**Tabla N° 11.10. Partidas a ejecutar tratamiento slurry seal.**

ITEM	DESCRIPCION	UND
<b>01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.
<b>02</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>	
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>	
03.01	SLURRY SEAL	m2

Fuente: Elaboración propia.

### 11.3.2. Determinación de metrados.

De acuerdo a la tabla N° 11.1 Daño calculado y daño acumulado por año, tenemos que al 6to año de vida del pavimento tenemos un 62.13% de daño acumulado lo cual viene a ser 3,970.00 pies/milla (750.33 m/km), ya que el proyecto se está realizando en los 8.4km, nuestro metrado de fisuras vendría a ser:

$$750.33 \text{ m/km} \times 8.4 \text{ km} = 6,302.77 \text{ m}$$

**Tabla N° 11.11. Metrados tratamiento slurry seal.**

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO
<b>01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>		
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb.	1.00
<b>02</b>	<b>TRATAMIENTO DE SUPERFICIE</b>		
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 A 19mm	m	6,302.77
<b>03</b>	<b>PAVIMENTOS</b>		
03.01	SLURRY SEAL	m2	60,480.00

Fuente: Elaboración propia.

### 11.3.3. Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas de las partidas especificadas en el punto anterior, corresponden al manual de carreteras en la parte de: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú; en los siguientes ítems.

- Sección 101 – Movilización y desmovilización de equipo.
- Sección 421 – Sello de fisuras.
- Sección 422 – Sello de grietas.
- Sección 427 – Emulsión asfáltica

Se debe indicar que las especificaciones técnicas indicadas en el párrafo anterior no se adjuntan en el presente proyecto de investigación.

### 11.3.4. Determinación de costos unitarios.

Los análisis de costos unitarios se presentan en el anexo N°11.2.

### 11.3.5. Determinación del costo total actual de la estrategia.

El cálculo del presupuesto nos da como monto total de mantenimiento:

<b>Costo Directo</b>	<b>:</b>	<b>579,474.93 S/.</b>
<b>Gastos Generales</b>	<b>:</b>	<b>86,921.24 S/.</b>
<b>Utilidad 10%</b>	<b>:</b>	<b>57,947.49 S/.</b>
<b>Sub Total</b>	<b>:</b>	<b>724,343.66 S/.</b>
<b>Impuesto IGV (18%)</b>	<b>:</b>	<b>130,381.86 S/.</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>:</b>	<b>854,725.52 S/.</b>

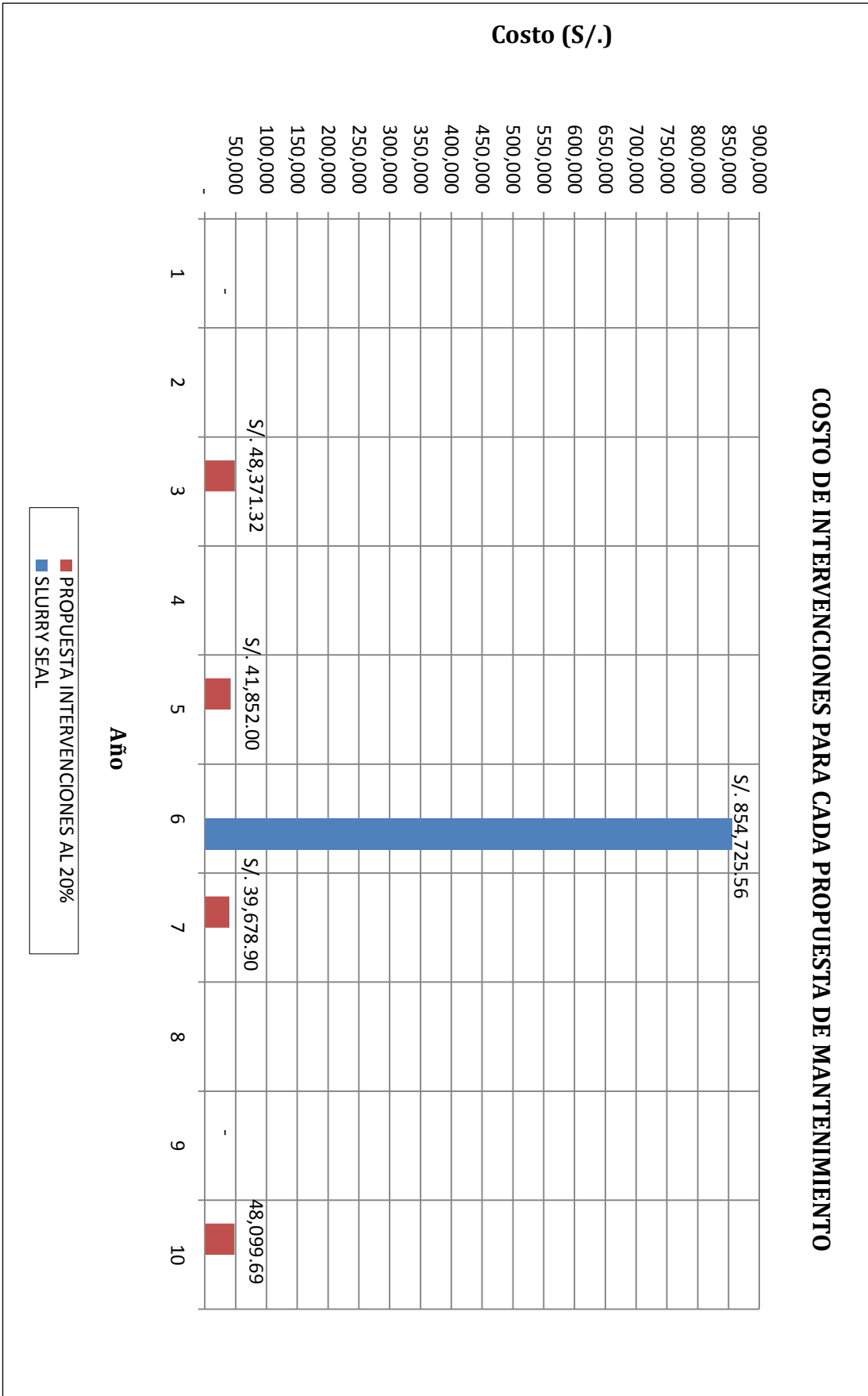
### 11.4. DETERMINACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.

Se tiene que tener en cuenta que al realizar el mantenimiento de fisuras solo hacemos que estas no continúen con su deterioro mas no realizamos ningún tratamiento para la superficie es decir, que puede ser posible que el confort y serviciabilidad de esta vía baje.

Por otro lado la propuesta de mantenimiento con Slurry Seal a parte de frenar los fisuramientos al 6to año también mejoramos la superficie de la vía.

Realizando la comparación de los costos de cada propuesta, tenemos el siguiente grafico que nos muestra que los costos de cada intervención de mantenimiento para la propuesta de fisuras no supera los S/. 50,000.00, a comparación de la única intervención de la propuesta del Slurry seal que está más próximo a los S/.900,000.00.

Gráfico No 11.2, Comparación de costos de las propuestas de mantenimiento.



Determinaremos la propuesta de mantenimiento de acuerdo al costo por lo tanto nuestro plan de mantenimiento será:

- **TRATAMIENTO DE FISURAS Y GRIETAS.**

Con intervenciones en los siguientes años de vida del refuerzo:

- 3er año.
- 5to año.
- 7mo año.
- 10mo año.



## CONCLUSIONES

### 1. CONCLUSIÓN GENERAL.

De acuerdo a la comparación de diseños realizados con las guías AASHTO 1993 y AASHTO 2008, se determinó un plan de mejoramiento y mantenimiento para la Av. Aviación del km 2+100 al km 6+300, los cuales consisten en:

#### 1. Plan de mejoramiento:

- Tratamiento de fisuras y grietas.
- Colocación de una capa de refuerzo de 1.5pulg. de espesor.

#### 2. Plan de mantenimiento:

- Tratamiento de fisuras y grietas a lo largo de la vida útil de la capa de refuerzo con intervenciones al 20% de total del deterioro acumulado.

Eligiendo el plan de mejoramiento de acuerdo a la comparación de diseños y el plan de mantenimiento de acuerdo al costo de intervenciones.

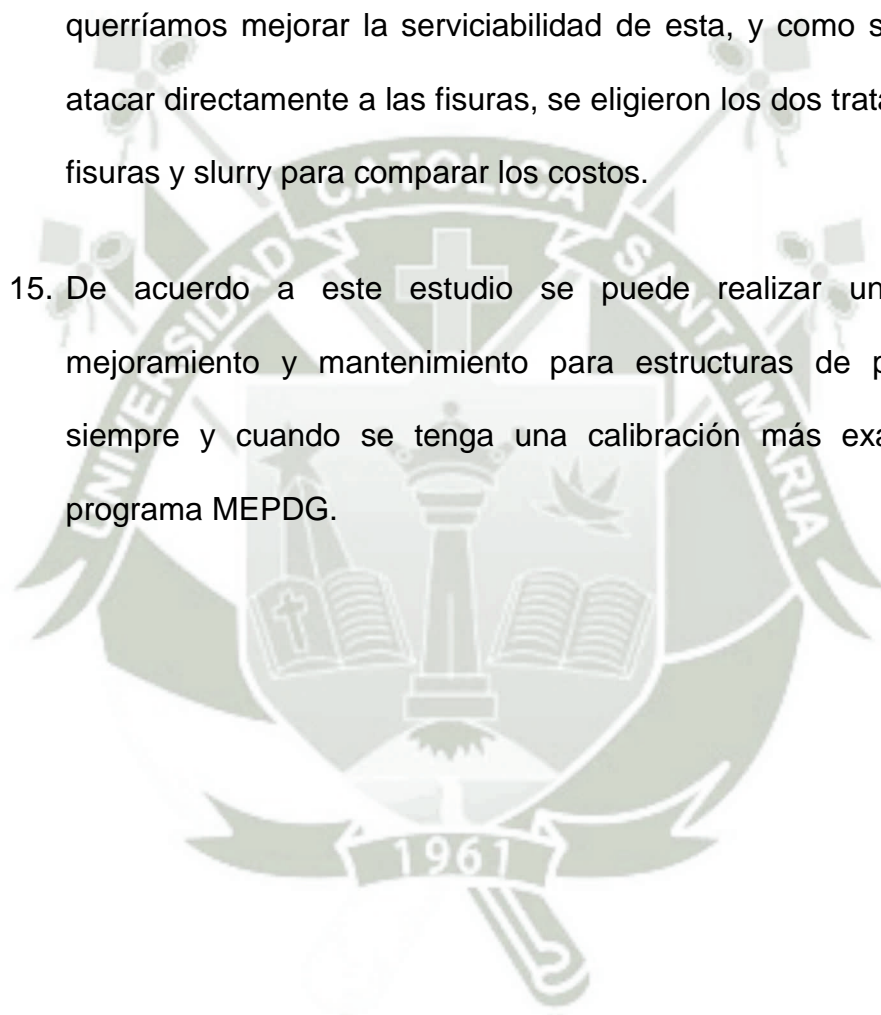
## 2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.

1. El muestreo y la evaluación de la estructura del pavimento nos dio todas las características tanto internas (espesores de capa, características de materiales), como externas (niveles y cantidades de deterioros, índice de rugosidad y deflexión característica).
2. Mediante la utilización de la Viga Benkelman se obtuvo la deflexión característica la cual nos ayudó a determinar mediante comparaciones con las deflexiones admisibles, que nuestra estructura real de pavimento estuvo sub-dimensionada.
3. El tránsito de diseño real es decir del proyecto específico realizado el año 2004, fue directamente obtenido de este y por otro lado el tránsito de diseño actualizado fue obtenido realizando un estudio de tránsito el año 2012, haciendo un retrocálculo con la fórmula de la población futura y analizando la tasa de crecimiento entre los años 2004 al 2012, hallando así el tránsito para el año 2004, que es nuestro año de diseño.
4. Mediante los ensayos realizados por la supervisión en el año de la construcción “ensayo Marshall”, se obtuvo el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica, mientras que con los ensayos realizados en el muestreo de la estructura de pavimento “CBR de la base”, se obtuvo el coeficiente de estructural de la misma y por lo tanto se halló el número estructural efectivo de la estructura de pavimento en estudio.

5. Con los estudios de tránsito actualizado y los estudios del material de subrasante existente se desarrolló el diseño bajo la guía AASHTO 1993, y compararla con la estructura de pavimento real nos muestra que esta se encuentra sub-dimensionada.
6. Con las características del tránsito actualizado, las de los materiales y realizando una base de datos climática de la ciudad de Arequipa, se realizó el diseño bajo la guía AASHTO 2008 utilizando el programa MEPDG, el cual nos da un análisis de deterioro del pavimento a lo largo de la vida útil de este, comparando así el deterioro calculado con el deterioro real (relevamiento de fallas), y llegando a calibrar preliminarmente el programa a condiciones locales.
7. Con el programa MEPDG calibrado preliminarmente se obtuvo la predicción de fallas para la carpeta existente, mostrando que en las fallas de agrietamiento de piel de cocodrilo, longitudinal y transversal, la carpeta diseñada superara los límites de daño especificados, es decir el diseño real esta sub-dimensionado.
8. El programa MEPDG en la aplicación de la confiabilidad es muy conservador, por lo tanto es necesario verificar los resultados con confiabilidades más bajas.

9. Al momento de realizar un diseño con la Guía AASHTO 2008, los datos a ingresar desde un inicio son más detallados, el ingreso del tránsito, características de materiales para cada capa de la estructura del pavimento y base de datos climática para la zona a estudiar.
10. Los coeficientes de drenaje no se aplican en el Método AASHTO 2008, las características del drenaje están en función de la granulometría de los materiales y de las condiciones climáticas del lugar, que se obtienen mediante la base de datos EICM, el software MEPDG realiza internamente todo los cálculos relacionados con el drenaje.
11. Podemos utilizar la guía de diseño AASHTO 1993 como un predimensionamiento, para luego poder ingresar los datos al programa MEPDG y así determinar el deterioro en la vida útil de la estructura de pavimento.
12. Para la realización del mejoramiento de la capeta asfáltica existente es necesario realizar un tratamiento de fisuras, ya que al colocar la carpeta de fuerza no se quiere contar con la existencia de fisuramiento por reflejo, es por ello que se tratan directamente las fisuras con un sello elastomérico.

13. Para el plan de mantenimiento de la carpeta de refuerzo se eligió el tratamiento de fisuras con intervenciones al 20%, debido al alto costo que tiene el tratamiento con slurry seal.
14. No se comparó con un tratamiento de sello de arena debido a que esta solo arregla superficialmente la carpeta, se daría el uso si querríamos mejorar la serviciabilidad de esta, y como se necesita atacar directamente a las fisuras, se eligieron los dos tratamiento de fisuras y slurry para comparar los costos.
15. De acuerdo a este estudio se puede realizar un plan de mejoramiento y mantenimiento para estructuras de pavimentos siempre y cuando se tenga una calibración más exacta en el programa MEPDG.



## RECOMENDACIONES

- i. Se debe exigir que en la presentación de los expedientes técnicos se encuentre el estudio de tránsito realizado a detalle, para el cálculo del TMDA y del porcentaje de camiones, ya que normalmente en las especificaciones técnicas solo se tiene el número final, sin saber de dónde llegó el cálculo.
- ii. En futuras ejecuciones de proyectos se tiene que realizar un buen control de calidad, siguiendo las especificaciones técnicas de cada trabajo, a fin obtener rangos de calidad para todos los materiales controlados.
- iii. Por problemas con los ensayos de gravedad específica para los testigos de asfalto, se recomienda separar las muestras para cada tipo de ensayo, a fin de que no falten estas.
- iv. Para una vía de tránsito alto es necesario revisar los puntos donde se realizaran las calicatas, a fin de no afectar a los usuarios.
- v. Para la utilización de Rugosímetro de Merlín es necesario tener una buena calibración, y así no tener errores en las lecturas de las mediciones.
- vi. Se recomienda más tramos de ensayos para la viga Benkelman, ya que así se puede tener un mejor rango de datos y por ende un mejor resultado.

- vii. Para el relevamiento de fallas se necesita una vía libre o cerrada y poder realizar las mediciones de las fallas con más exactitud, fue un limitante para la realización de este estudio debido a que es imposible cerrar una vía tan transitada, para hacer una investigación.
  
- viii. Falta de guía en el diseño en los coeficientes estructurales o de capa y los factores de drenaje, tienen una gran importancia en la determinación de los espesores de pavimentos, pero se han dado muy pocas guías en este rubro, ocurre lo mismo con la confiabilidad, la selección de estos valores se basa en el buen juicio y la experiencia del proyectista.
  
- ix. Realizar más estudios sobre los diferentes niveles de diseño con los que cuenta esta guía, eso quiere decir que se necesita un equipo para el ensayo del módulo dinámico de concreto asfáltico, sobre todo para la utilización del nivel 1.
  
- x. Para la base de datos climática es limitante y complicado los cambios que se tienen que realizar del hemisferio Sur al hemisferio Norte ya que este software está programado para su utilización con datos climáticos en el hemisferio Norte.
  
- Para futuros estudios en este tema de calibración, se recomienda hacer un estudio a por lo menos 20 tipos de pavimento flexibles los cuales estén en diferentes puntos de la ciudad de Arequipa, y con

estos datos obtener unos coeficientes de calibración más exactos para la ciudad.

- Ante de un diseño de refuerzo es recomendable realizar un buen relevamiento de fallas y estudios a las fallas más altas ya que es probable de que no se necesite un tratamiento de fisuras sino la realización de un frezado para sacar el pavimento en mal estado y colocar la carpeta de refuerzo.



## BIBLIOGRAFIA

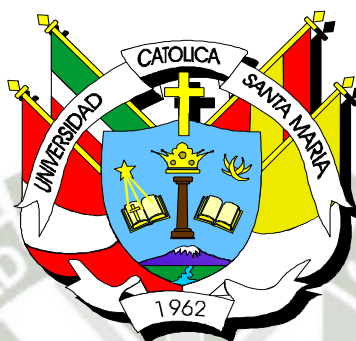
1. GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 93.
2. GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 2008.
3. DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL, FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROGRAM “LTPP”, 2003.
4. MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS; MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES LIMA PERÚ; NORMA EG 2000 MTC.
5. MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS; MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES; DG-2001-DGC-MTC SEGUNDA EDICIÓN.
6. QUIJANO PITMAN, E. (2002), MANUAL PARA ESTUDIO DE TRAFICO, MTC. LIMA.
7. DECRETO SUPREMO N° 058-2003 – MTC.
8. MONTEJO FONSECA, A. (1998). INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, EDITORA: STELLA VALBUENA DE FIERRO.
9. MONTEJO FONSECA, A. (2006). INGENIERÍA DE PAVIMENTOS FUNDAMENTOS, ESTUDIOS BÁSICOS Y DISEÑO, 3<sup>RA</sup> EDICIÓN.
10. MONTEJO FONSECA, A. (2006). INGENIERÍA DE PAVIMENTOS EVALUACIÓN ESTRUCTURAL, OBRAS DE MEJORAMIENTO Y NUEVAS TECNOLOGÍAS, 3<sup>RA</sup> EDICIÓN.
11. INSTITUTO DEL ASFALTO (1993). MANUAL SERIE N°16 (MS-16), SERIE N°17 (MS-17), EEUU.
12. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVIERANA, MINISTERIO DE TRANSPORTES, (2008). MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL SECUNDARIA. 1<sup>RA</sup> EDICION, BOGOTA.
13. CHANG ALBITRES, C. (2007). EVALUACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y GESTIÓN DE PAVIMENTOS, UN ENFOQUE AL FUTURO.
14. RICHARDA SMITH, D. (1987), METODO MARSHALL.

15. ZUÑIGA PINTO, J. (1993), DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL, AREQUIPA.
16. RAMOS SALAZAR, J. COSTOS Y PRESUPUESTOS EN EDIFICACIÓN; CAPECO.
17. YAMUNAQUE MIRANDA, J. (1998) TÉCNICAS MODERNAS PARA EL ASFALTO DE PISTAS.
18. GARCIA L., HECTOR, COMENTARIOS SOBRE LA RELACIÓN ESTABILIDAD-FLUJO DE LAS MEZCLAS, V CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO, LIMA PERÚ 2002.
19. ZUÑIGA CALDERON, R. MOENA AGUILA, M. ESTUDIO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA MEZCLA STONE MASTIC ASPHALT, CHILE.
20. VIVAR ROMERO, G. DISEÑO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS, EDITORIAL COLEGIO DE INGENIEROS.
21. OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, FALLAS COMUNES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES, PERU.
22. INSTITUTO PARA EL DESARROLLO DE LOS PAVIMENTOS DEL PERU (2005), LA NUEVA GUIA PARA DISEÑO EMPIRICO – MECANICO DE PAVIMENTOS, LIMA.
23. CAL Y MAYOR, R.; CARDENAS G., JAMES (1995), INENIERIA DE TRANSITO, 7<sup>MA</sup> EDICION, MEXICO DF.
24. CORDO, OSCAR V. (2007). DISEÑO DE VIAS II, UNIVERSIDAD DE SAN JUAN, ARGENTINA.
25. LAMBE, WILLIAM T. (2001). MECANICA DE SUELOS, 2<sup>DA</sup> EDICION, MEXICO.
26. GAMARRA TUCO, R. (2011) PAVIMENTOS, MATERIALES DE USO VIAL, TRÁNSITO, DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES, INTRODUCCIÓN AL MÉTODO AASHTO 2002 Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS CON REFUERZOS, UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, AREQUIPA.
27. CORDO, OSCAR V. (2012) GUIA DE DISEÑO MECANICO EMPIRICA AASHTO 2008, UNIVERSIDAD DE SAN JUAN, ARGENTINA.

# UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARÍA

## FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

### PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA  
PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO  
LAS GUIAS AASHTO 93 Y AASHTO 2008 EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM  
2+100 HASTA KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO –  
AREQUIPA”**

#### ANEXOS

Tesis presentada por Bachiller:

**MARINA VANESSA GONZALES GONZALES.**

Para Optar El Titulo Profesional de Ingeniero Civil.

**Arequipa – Perú**

**2014**



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**CONSTANCIA**

El que suscribe, **Ing. Fernando Garnica Cuba**, Encargado del Laboratorio de Suelos y Concreto del Programa Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

**HACE CONSTAR**

que la señorita Bachiller en Ingeniería Civil **MARINA VANESSA GONZALES GONZALES**, identificada con Código N° 2003201082, ha realizado los ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos para complementar su trabajo de Tesis para optar el título de Ingeniero Civil titulado: **“Determinación de un Plan de Mantenimiento para Pavimentos mediante la Comparación de Diseño utilizando las Guías AASHTO2008 en la Av. Aviación desde el km 2+100 al km 6+300, carril derecho - Cerro Colorado”**.

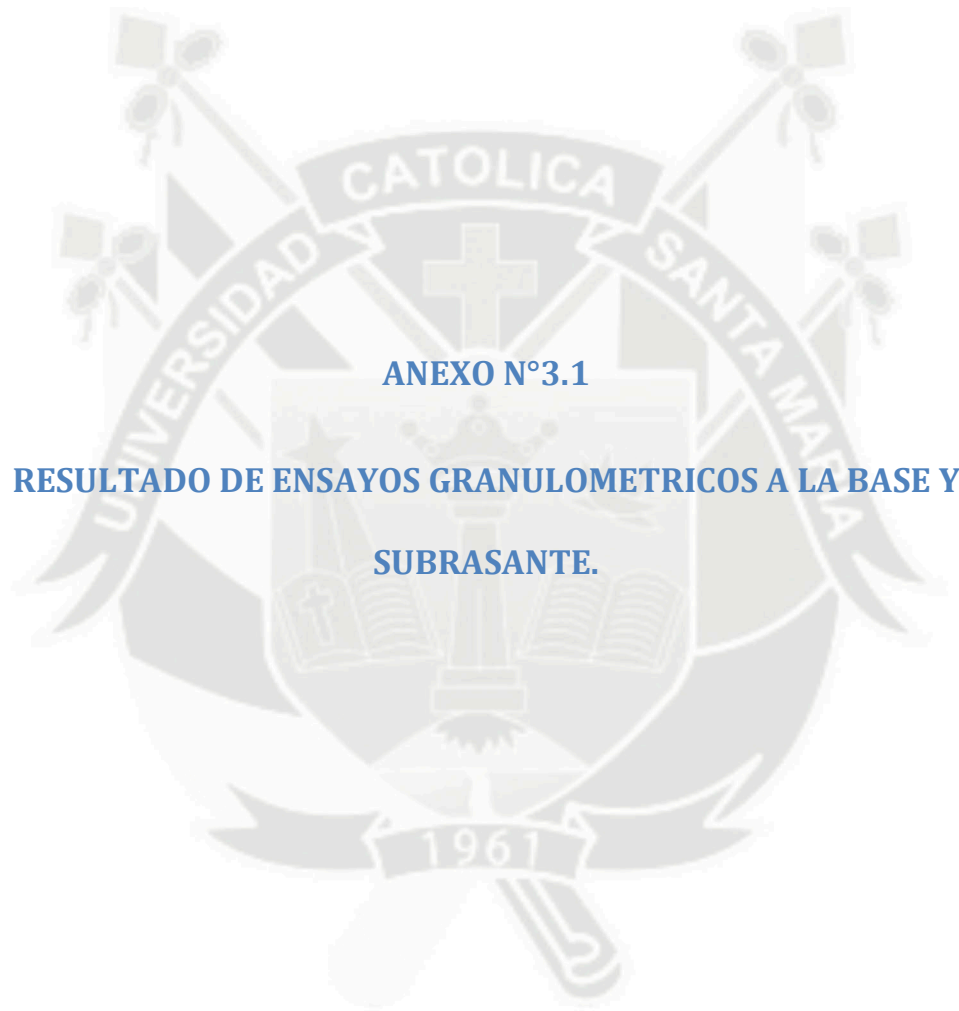
Los ensayos que han sido elaborados entre el 06/05/2014 y el 23/05/2014 fueron los siguientes:

- 06 Análisis Granulométricos por Tamizado
- 06 Ensayos de Límites de Consistencia (Limite Líquido y Plástico)
- 06 Ensayos de Gravedad Específica
- 06 Ensayos de Compactación – Proctor Modificado
- 02 Ensayos de CBR

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Arequipa, 09 de junio del 2014





**ANEXO N°3.1**

**RESULTADO DE ENSAYOS GRANULOMETRICOS A LA BASE Y  
SUBRASANTE.**

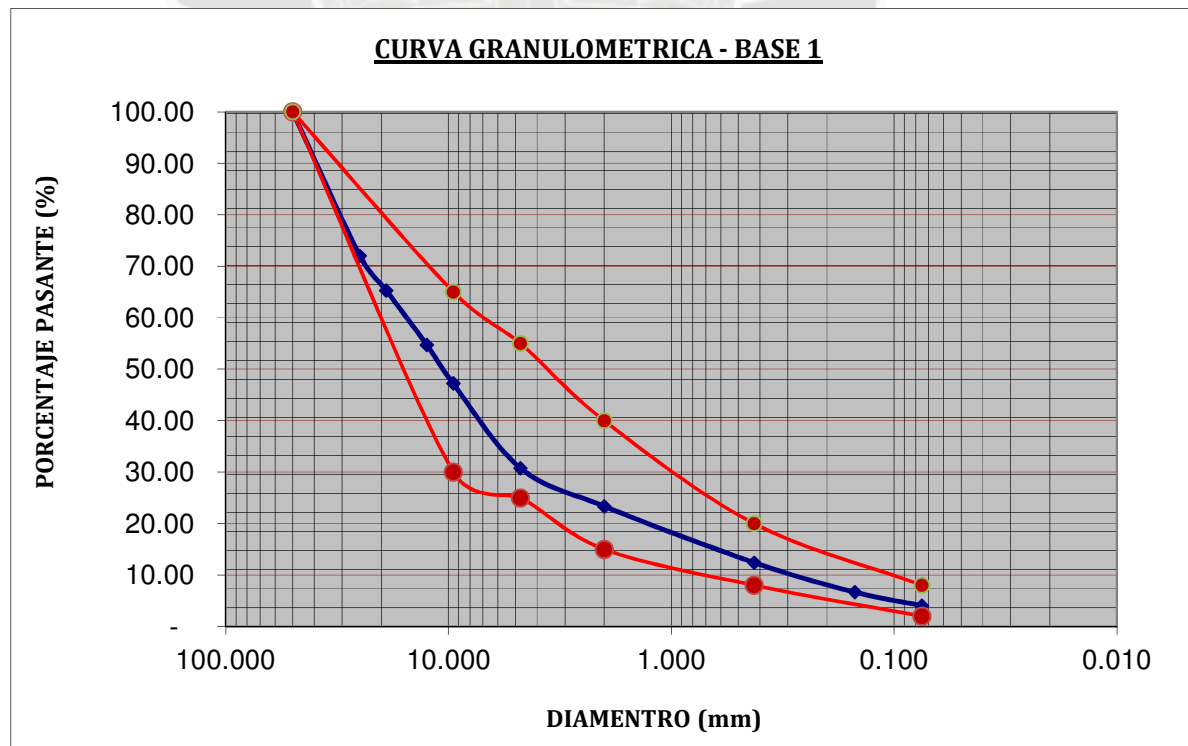


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ANALISIS GRANULOMETRICO BASE MUESTRA 1:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
2"	50.000			100.00
1"	25.000	454.00	27.95	72.05
3/4"	19.000	109.90	6.76	65.29
1/2"	12.500	171.90	10.58	54.71
3/8"	9.520	121.70	7.49	47.22
N°04	4.750	267.40	16.46	30.76
N°10	2.000	120.40	7.41	23.35
N°40	0.425	177.60	10.93	12.42
N°100	0.150	93.40	5.75	6.67
N°200	0.075	42.30	2.60	4.06
fondo		66.00	4.06	0.00
		<b>1,624.60</b>		

(mm)	Gradación A	
50	100	100
9.5	30	65
4.75	25	55
2	15	40
0.425	8	20
0.075	2	8





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**FRACCIONES**

GRAVA: 69.24

MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES  
RETENIDA POR LA MALLA N°04

ARENA: 26.70

ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA  
MALLA N°200

FINOS: 4.06

FONDO

**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

D60 = 10.60

Cu = 37.86

D30 = 4.50

Cc = 6.82

D10 = 0.28

LA BASE NO PRESENTA LIMITE LIQUIDO NI LIMITE PLASTICO.

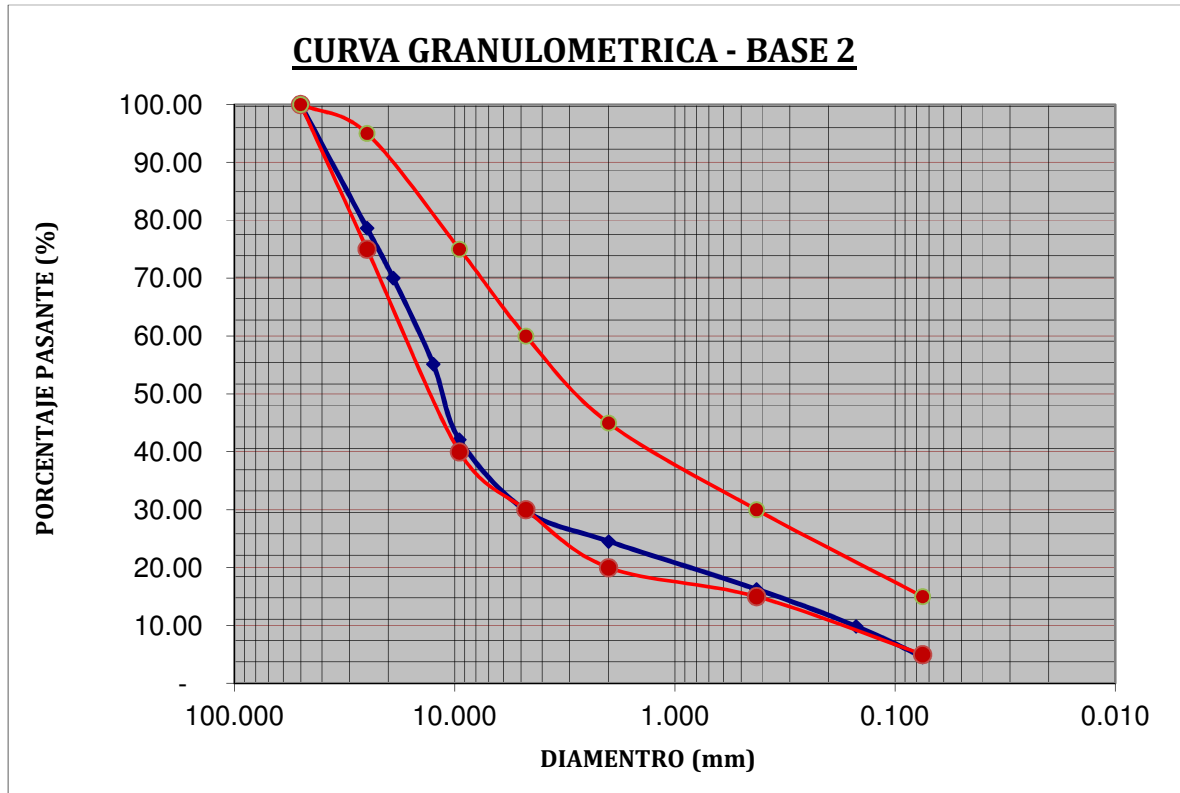
**Cu ES MAYOR A 4, Cc NO SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA BASE 1 ES UNA GRAVA MAL GRADUADA  
(GP), QUE ES UNA MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.

**ANALISIS GRANULOMETRICO BASE MUESTRA 2:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
2"	50.000			100.00
1"	25.000	443.10	21.34	78.66
3/4"	19.000	179.40	8.64	70.01
1/2"	12.500	308.40	14.86	55.16
3/8"	9.520	270.40	13.03	42.13
N°04	4.750	255.00	12.28	29.85
N°10	2.000	110.20	5.31	24.54
N°40	0.425	172.00	8.29	16.26
N°100	0.150	132.60	6.39	9.87
N°200	0.075	110.20	5.31	4.56
fondo		94.70	4.56	-
		<b>2,076.00</b>		

(mm)	Gradación B	
50.00	100	100
25.00	75	95
9.50	40	75
4.75	30	60
2.00	20	45
0.43	15	30
0.075	5	15



**FRACCIONES**

GRAVA:	70.15	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA N°04
ARENA:	25.29	ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA MALLA N°200
FINOS:	4.56	FONDO

**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

<b>D60 =</b>	<b>10.50</b>	<b>Cu =</b>	<b>13.13</b>
<b>D30 =</b>	<b>4.90</b>	<b>Cc =</b>	<b>2.86</b>
<b>D10 =</b>	<b>0.80</b>		

LA BASE NO PRESENTA LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO.

**Cu ES MAYOR A 4, Cc SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA BASE 2 ES UNA GRAVA BIEN GRADUADA (**GW**), QUE ES UNA MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.

LA CUAL SE ENCUENTRA EN LA **GRADACION B** DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS TECNICOS DEL MTC PARA LA GRADACION DE BASES.

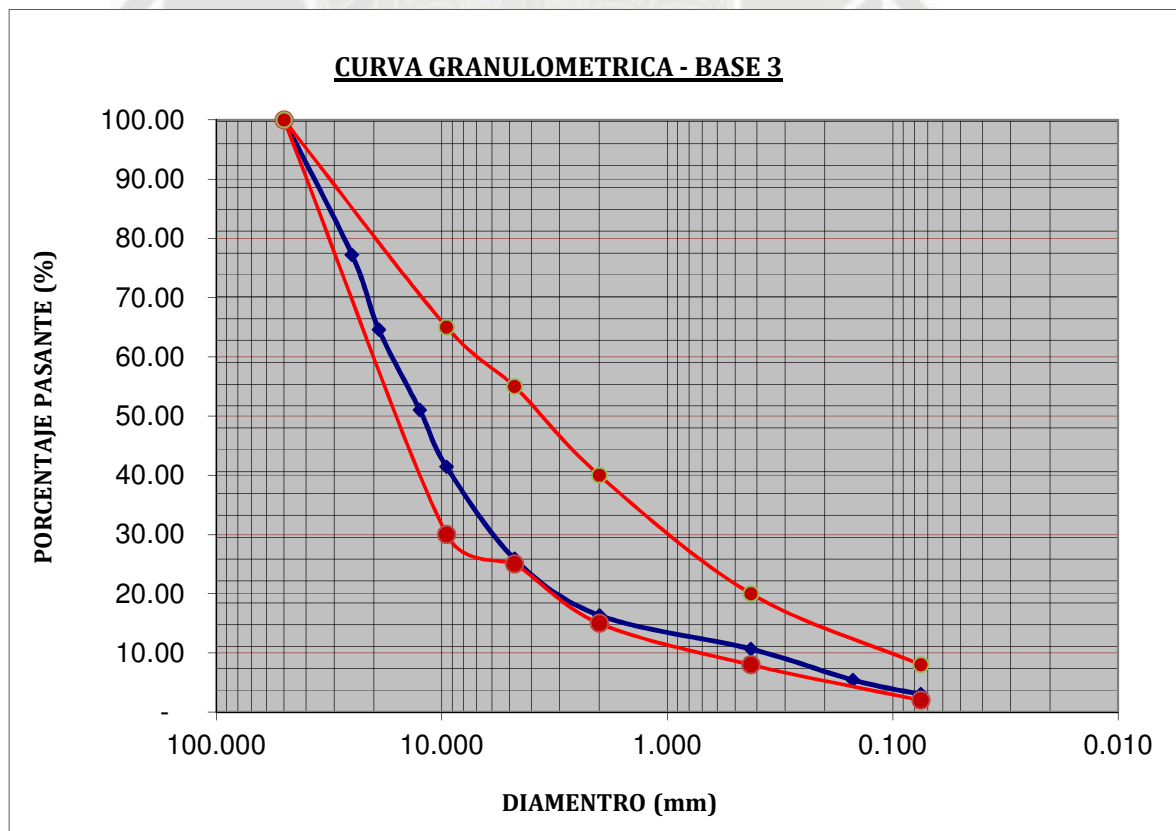


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ANALISIS GRANULOMETRICO BASE MUESTRA 3:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
2"	50.000			100.00
1"	25.000	660.40	22.74	77.26
3/4"	19.000	367.70	12.66	64.60
1/2"	12.500	394.70	13.59	51.01
3/8"	9.520	277.70	9.56	41.45
N°04	4.750	452.30	15.57	25.88
N°10	2.000	276.40	9.52	16.36
N°40	0.425	165.20	5.69	10.67
N°100	0.150	152.10	5.24	5.43
N°200	0.075	70.50	2.43	3.01
fondo		87.30	3.01	0.00
		<b>2,904.30</b>		

(mm)	Gradación A	
50	100	100
9.5	30	65
4.75	25	55
2	15	40
0.425	8	20
0.075	2	8





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**FRACCIONES**

GRAVA:	74.12	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA N°04
ARENA:	22.87	ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA MALLA N°200
FINOS:	3.01	FONDO

**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

D60 =	10.80	Cu =	<b>30.86</b>
D30 =	6.00	Cc =	<b>9.52</b>
D10 =	0.35		

LA BASE NO PRESENTA LIMITES DE CONSISTENCIA LIQUIDO Y PLASTICO.

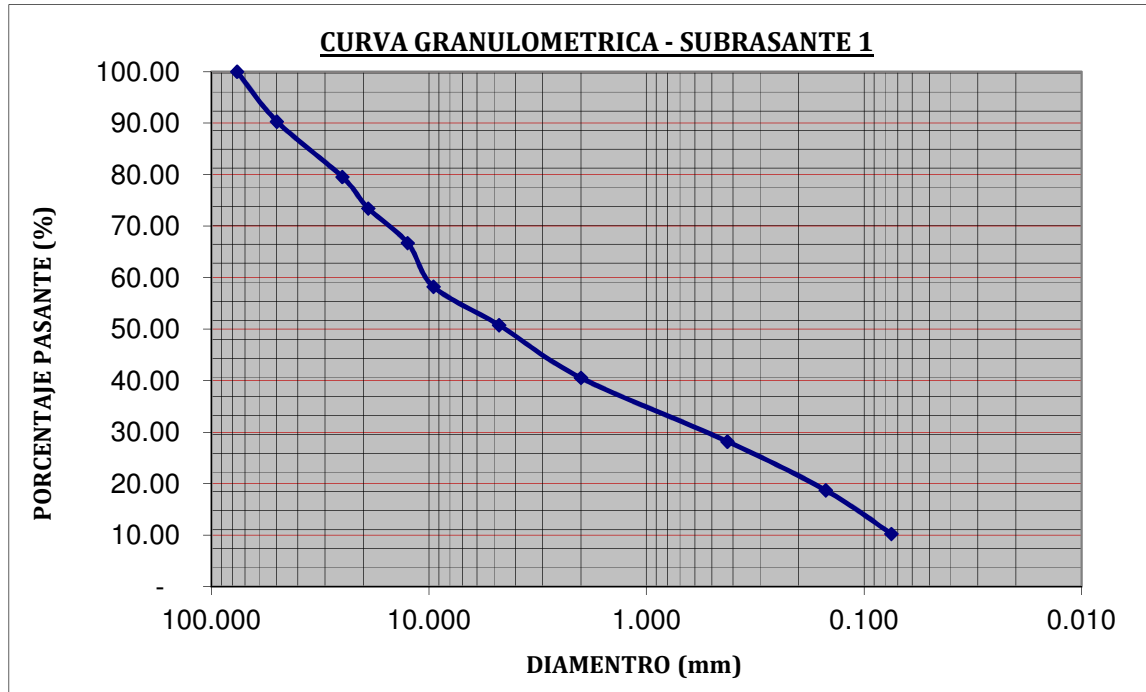
**Cu ES MAYOR A 4, Cc NO SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA BASE 1 ES UNA GRAVA MAL GRADUADA (**GP**), QUE ES UNA MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCO O NADA DE FINOS.

GRADACION A.

**ANALISIS GRANULOMETRICO SUB RASANTE MUESTRA 1:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
3"	76.200			100.00
2"	50.000	124.60	9.66	90.34
1"	25.000	139.00	10.78	79.56
3/4"	19.000	78.60	6.09	73.47
1/2"	12.500	87.20	6.76	66.71
3/8"	9.520	109.30	8.47	58.24
N°04	4.750	96.40	7.47	50.76
N°10	2.000	131.80	10.22	40.55
N°40	0.425	159.10	12.33	28.21
N°100	0.150	122.60	9.50	18.71
N°200	0.075	108.70	8.43	10.28
fondo		132.60	10.28	0.00
		<b>1,289.90</b>	100.00	



**FRACCIONES**

GRAVA:	49.24	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR LA MALLA N°04
ARENA:	40.48	ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA MALLA N°200
FINOS:	10.28	FONDO

**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

D60 =	10.100	Cu =	134.67
D30 =	0.520	Cc =	0.36
D10 =	0.075		

**Cu ES MAYOR A 6, Cc NO SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

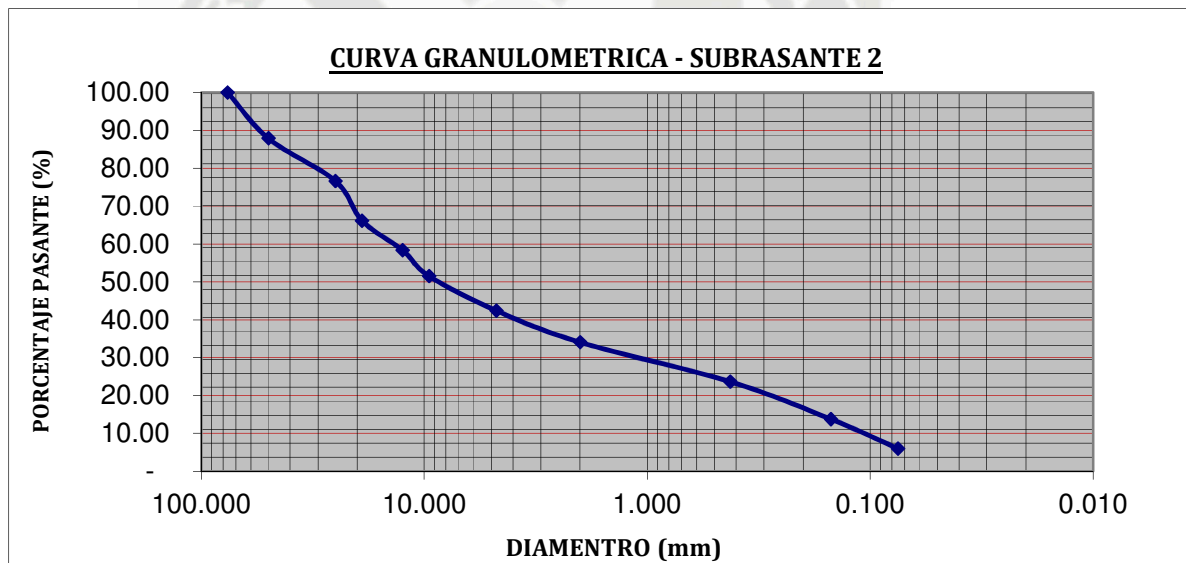
POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA SUBRASANTE 1 ES UNA ARENA LIMPIA (SP), QUE ES UNA ARENA MAL GRADUADA CON POCO O NADA DE FINOS.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ANALISIS GRANULOMETRICO SUB RASANTE MUESTRA 2:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
3"	76.200			100.00
2"	50.000	153.20	12.11	87.89
1"	25.000	142.80	11.29	76.60
3/4"	19.000	132.60	10.48	66.12
1/2"	12.500	98.60	7.79	58.32
3/8"	9.520	86.10	6.81	51.52
N°04	4.750	115.30	9.11	42.40
N°10	2.000	105.80	8.36	34.04
N°40	0.425	131.40	10.39	23.65
N°100	0.150	125.30	9.91	13.75
N°200	0.075	98.60	7.79	5.95
fondo		75.30	5.95	(0.00)
		<b>1,265.00</b>	100.00	



**FRACCIONES**

GRAVA:	57.60	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA N°04
ARENA:	36.45	ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA MALLA N°200
FINOS:	5.95	FONDO

**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

D60 =	10.500	Cu =	87.50
D30 =	1.100	Cc =	0.96
D10 =	0.120		

**Cu ES MAYOR A 4, Cc NO SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

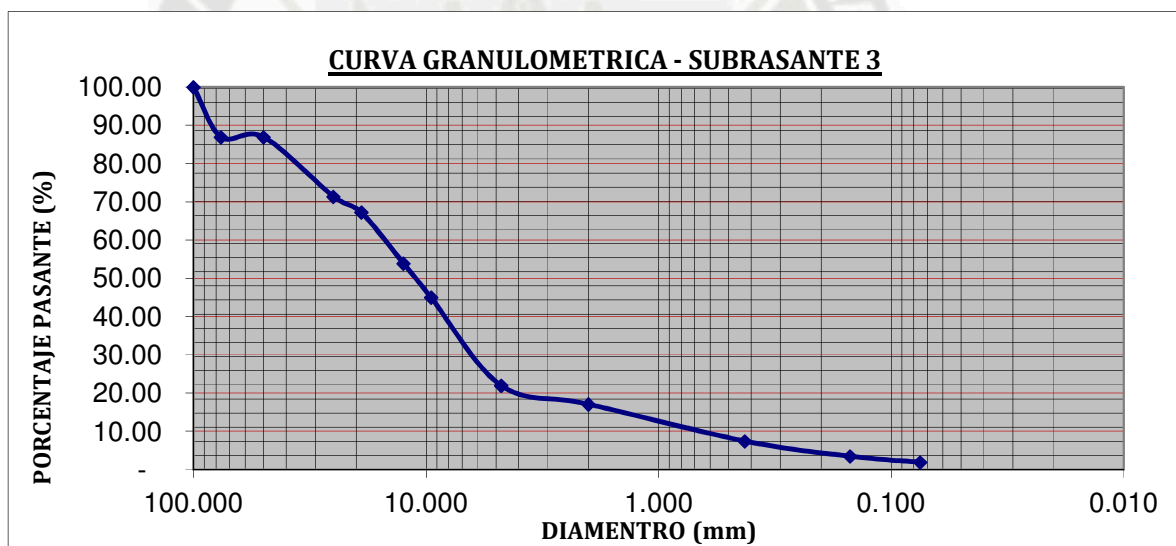
POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA SUBRASANTE 2 ES UNA GRAVA MAL GRADUADA (GW), QUE ES UNA GRAVA MAL GRADUADA CON POCO O NADA DE FINOS.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ANALISIS GRANULOMETRICO SUB RASANTE MUESTRA 3:**

MALLA	DIAMETRO (mm)	W RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUM.
4"	100.000			100.00
3"	76.200	293.00	13.06	86.94
2"	50.000	-	-	86.94
1"	25.000	349.60	15.58	71.36
3/4"	19.000	92.60	4.13	67.23
1/2"	12.500	299.50	13.35	53.88
3/8"	9.520	199.90	8.91	44.97
N°04	4.750	516.80	23.03	21.94
N°10	2.000	109.10	4.86	17.08
N°40	0.425	216.50	9.65	7.43
N°100	0.150	89.20	3.98	3.45
N°200	0.075	34.20	1.52	1.93
fondo		43.30	1.93	-
		<b>2,243.70</b>	<b>100.00</b>	



**FRACCIONES**

GRAVA:	65.00	MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR LA MALLA N°04
ARENA:	20.01	ES EL PASANTE DE LA MALLA N°04 HASTA LA MALLA N°200
FINOS:	1.93	FONDO

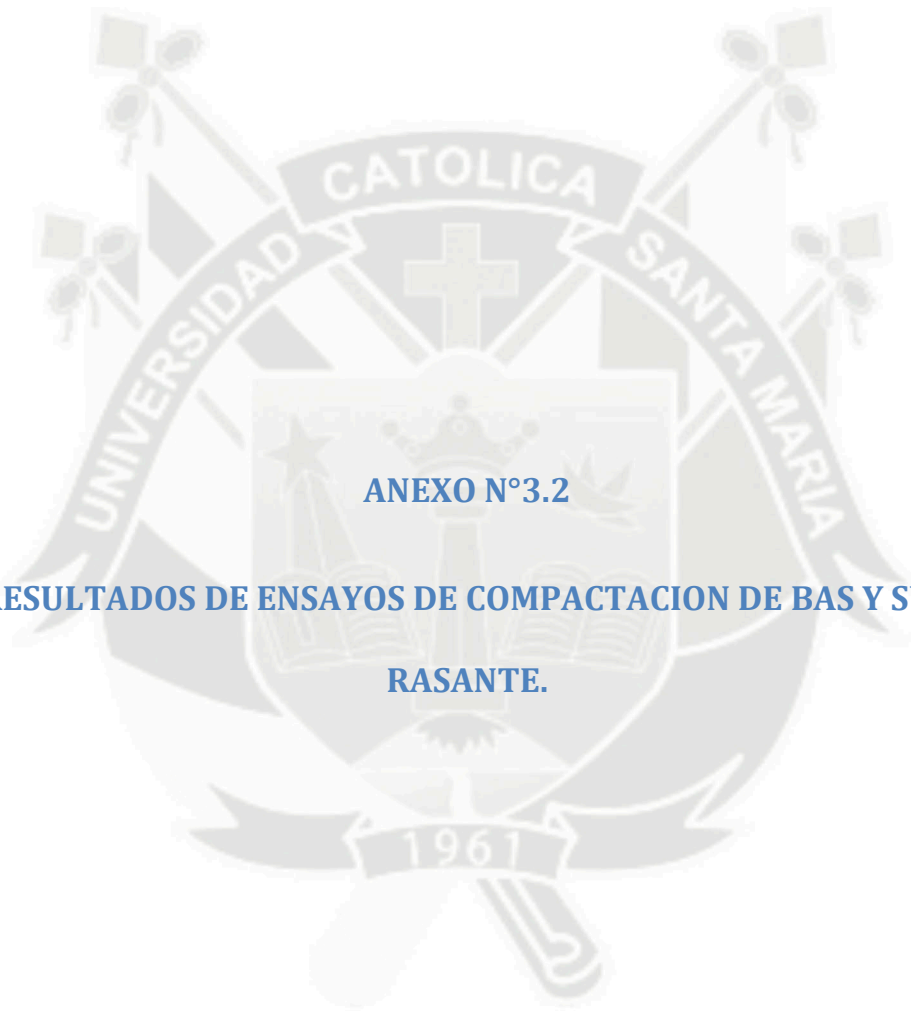
**CORRESPONDE A CLASIFICACION DE UNA GRAVA.**

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:

D60 =	10.500	Cu =	15.00
D30 =	6.100	Cc =	5.06
D10 =	0.700		

**Cu ES MAYOR A 4, Cc NO SE ENCUENTRA EN 1 Y 3**

POR LO TANTO EL MATERIAL DE LA SUBRASANTE 2 ES UNA GRAVA MAL GRADUADA (GW), QUE ES UNA GRAVA MAL GRADUADA CON POCO O NADA DE FINOS.



**ANEXO N°3.2**

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPACTACION DE BAS Y SUB  
RASANTE.**



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ENSAYO DE COMPACTACION BASE MUESTRA 1:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	10,085.00	5,870.00	4,215.00
2	10,211.00	5,870.00	4,341.00
3	10,356.00	5,870.00	4,486.00
4	10,337.00	5,870.00	4,467.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	23.50	275.90	258.30
2	27.00	278.20	257.90
3	28.00	278.80	254.00
4	26.50	296.10	268.70

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
252.40	234.80	7.50
251.20	230.90	8.79
250.80	226.00	10.97
269.60	242.20	11.31

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
1	4,215.00	2303.5	1.830
2	4,341.00	2303.5	1.885
3	4,486.00	2303.5	1.947
4	4,467.00	2303.5	1.939

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

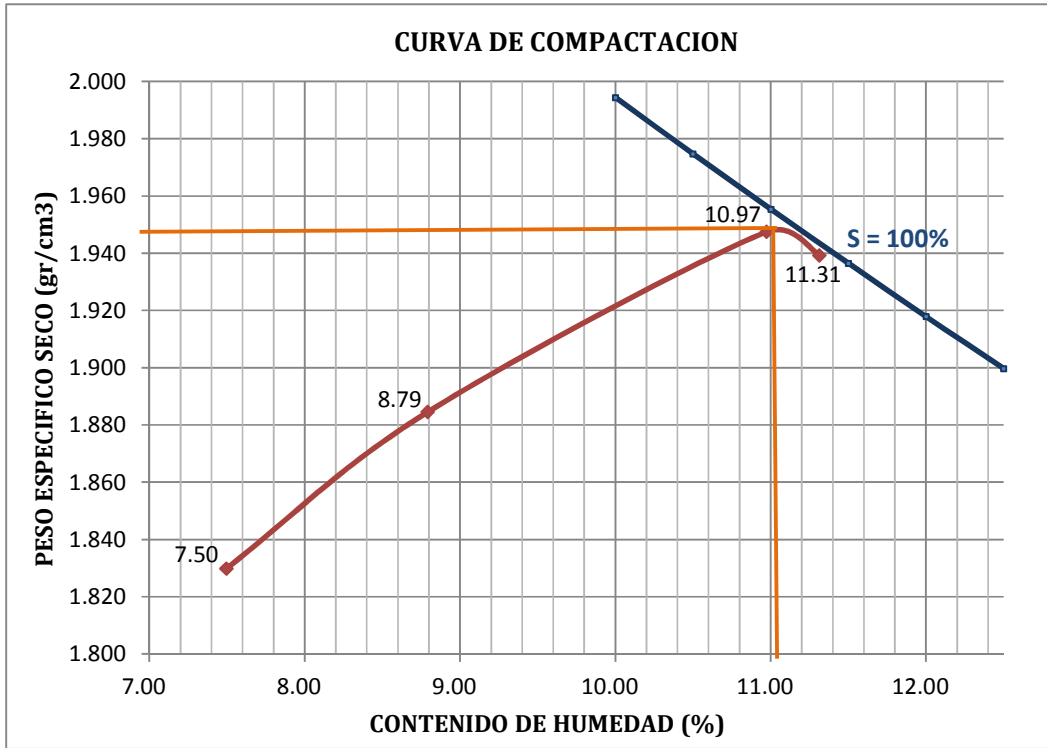
Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
1	557.320	100.020	618.550	2.578
2	712.490	100.640	772.330	2.467
3	632.520	100.060	691.380	2.429
4	631.520	100.000	691.380	2.491
			<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.491</b>

**6. CALCULANDO LA CURVA DE SATURACION:**

$\omega_i$ (%)	$\omega_i$	Gs	$\gamma_{sat}$
10.00	0.100	2.491	1.994
10.50	0.105	2.491	1.975
11.00	0.110	2.491	1.955
11.50	0.115	2.491	1.936
12.00	0.120	2.491	1.918
12.50	0.125	2.491	1.900



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO



C.H.O. 11.10 %  
PESO ESP. SECO. 1.95 g/cm<sup>3</sup>



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**ENSAYO DE COMPACTACION BASE MUESTRA 2:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	9,850.00	5,870.00	3,980.00
2	10,030.00	5,870.00	4,160.00
3	10,281.00	5,870.00	4,411.00
4	10,155.00	5,870.00	4,285.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	27.00	284.00	268.60
2	28.00	264.10	244.70
3	27.50	262.60	238.10
4	30.50	305.60	272.10

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
257.00	241.60	<b>6.37</b>
236.10	216.70	<b>8.95</b>
235.10	210.60	<b>11.63</b>
275.10	241.60	<b>13.87</b>

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
<b>1</b>	3,980.00	2303.5	<b>1.728</b>
<b>2</b>	4,160.00	2303.5	<b>1.806</b>
<b>3</b>	4,411.00	2303.5	<b>1.915</b>
<b>4</b>	4,285.00	2303.5	<b>1.860</b>

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

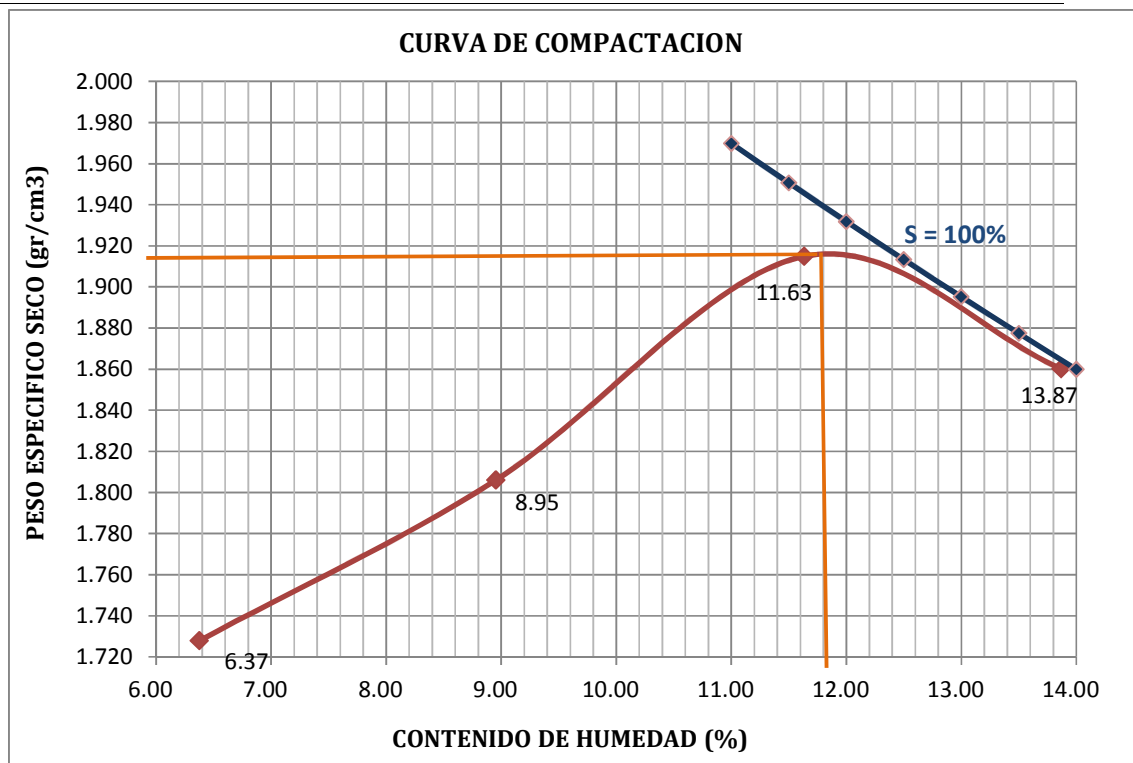
Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
<b>1</b>	505.610	100.500	563.500	2.359
<b>2</b>	630.370	100.000	690.200	2.489
<b>3</b>	489.250	100.210	551.280	2.625
<b>4</b>	548.980	100.300	610.500	2.586
			<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.515</b>

**6. CALCULANDO LA CURVA DE SATURACION:**

$\omega_i$ (%)	$\omega_i$	Gs	$\gamma_{sat}$
11	0.110	2.515	1.970
11.5	0.115	2.515	1.951
12	0.120	2.515	1.932
12.5	0.125	2.515	1.913
13	0.130	2.515	1.895
13.5	0.135	2.515	1.877
14	0.140	2.515	1.860



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO



C.H.O.	11.890	%
PESO ESP. SECO.	1.918	g/cm <sup>3</sup>



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**ENSAYO DE COMPACTACION BASE MUESTRA 3:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	9,989.00	5,870.00	4,119.00
2	10,071.00	5,870.00	4,201.00
3	10,223.00	5,870.00	4,353.00
4	10,115.00	5,870.00	4,245.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	27.00	284.00	268.60
2	27.00	230.10	213.60
3	28.00	242.00	220.30
4	24.00	256.60	229.60

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
257.00	241.60	<b>6.37</b>
203.10	186.60	<b>8.84</b>
214.00	192.30	<b>11.28</b>
232.60	205.60	<b>13.13</b>

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

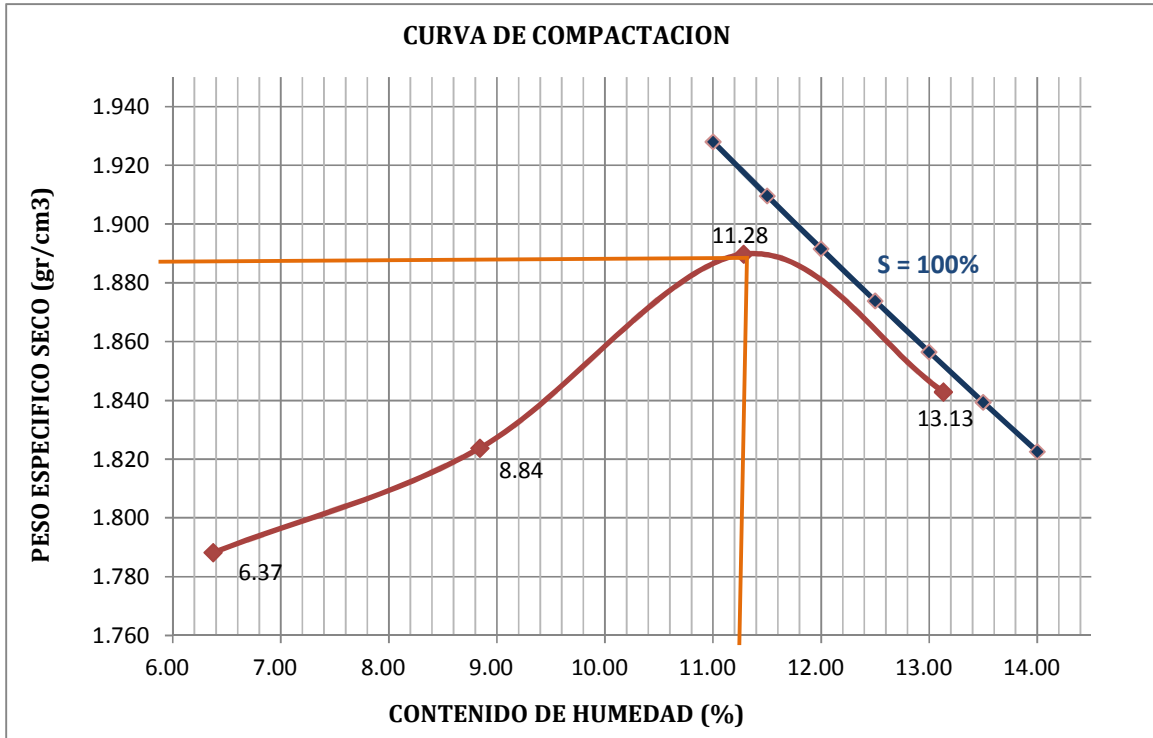
Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
<b>1</b>	4,119.00	2303.5	<b>1.788</b>
<b>2</b>	4,201.00	2303.5	<b>1.824</b>
<b>3</b>	4,353.00	2303.5	<b>1.890</b>
<b>4</b>	4,245.00	2303.5	<b>1.843</b>

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
<b>1</b>	423.600	100.340	485.730	2.626
<b>2</b>	542.120	102.100	599.180	2.267
<b>3</b>	678.200	100.600	742.540	2.774
<b>4</b>	451.420	101.000	504.800	2.121
			<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.447</b>

**6. CALCULANDO LA CURVA DE SATURACION:**

$\omega_i$ (%)	$\omega_i$	Gs	$\gamma_{sat}$
11	0.110	2.447	1.928
11.5	0.115	2.447	1.910
12	0.120	2.447	1.892
12.5	0.125	2.447	1.874
13	0.130	2.447	1.856
13.5	0.135	2.447	1.839
14	0.140	2.447	1.823



<b>C.H.O.</b>	<b>11.300</b>	<b>%</b>
<b>PESO ESP. SECO.</b>	<b>1.890</b>	<b><math>\text{g/cm}^3</math></b>



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**ENSAYO DE COMPACTACION SUB RASANTE MUESTRA 1:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	10,019.00	5,870.00	4,149.00
2	10,164.00	5,870.00	4,294.00
3	10,247.00	5,870.00	4,377.00
4	10,193.00	5,870.00	4,323.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	28.50	353.70	328.60
2	30.00	343.00	316.00
3	27.00	391.00	357.00
4	28.00	371.20	336.90

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
325.20	300.10	<b>8.36</b>
313.00	286.00	<b>9.44</b>
364.00	330.00	<b>10.30</b>
343.20	308.90	<b>11.10</b>

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
<b>1</b>	4,149.00	2303.5	<b>1.801</b>
<b>2</b>	4,294.00	2303.5	<b>1.864</b>
<b>3</b>	4,377.00	2303.5	<b>1.900</b>
<b>4</b>	4,323.00	2303.5	<b>1.877</b>

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

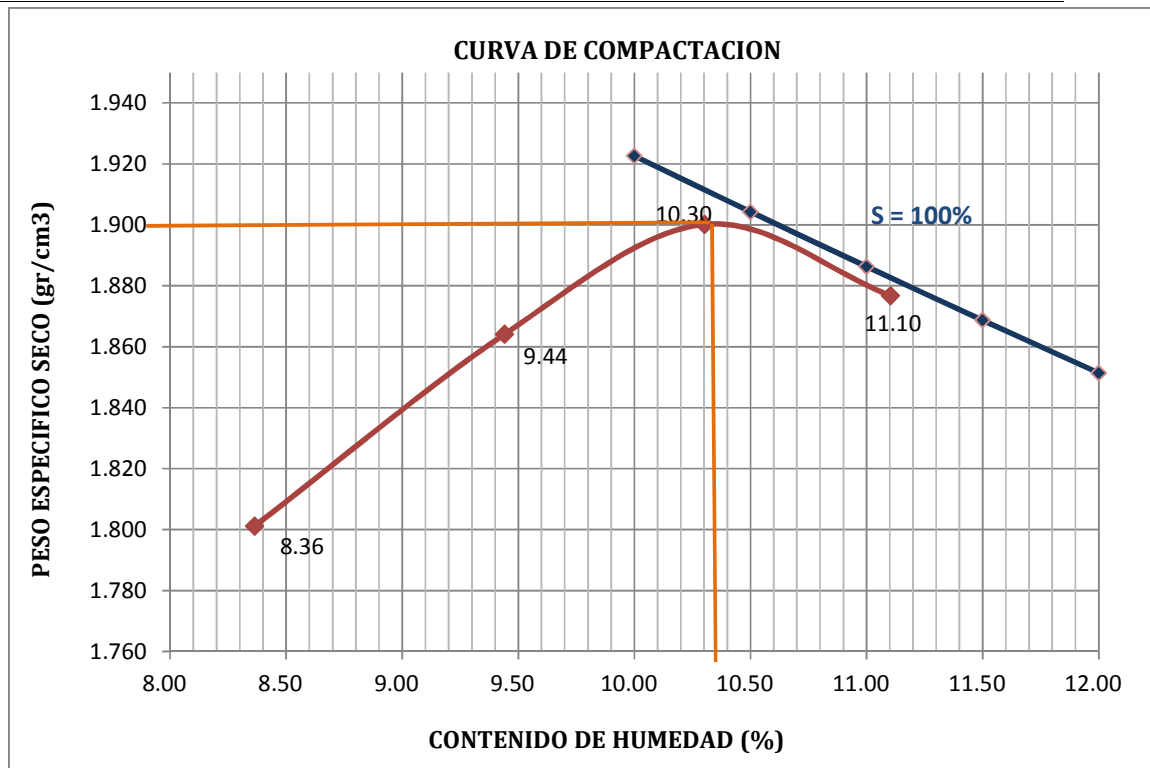
Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
<b>1</b>	637.71	100.00	693.60	2.267
<b>2</b>	465.92	100.35	525.46	2.459
<b>3</b>	569.72	100.20	628.78	2.436
<b>4</b>	624.11	101.00	682.30	2.359
			<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.380</b>

**6. CALCULANDO LA CURVA DE SATURACION:**

$\omega_i$ (%)	$\omega_i$	Gs	$\gamma_{sat}$
10	0.100	2.380	1.923
10.5	0.105	2.380	1.904
11	0.110	2.380	1.886
11.5	0.115	2.380	1.869
12	0.120	2.380	1.851
12.5	0.125	2.380	1.834



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO



C.H.O. 10.320 %  
PESO ESP. SECO. 1.900  $\text{g/cm}^3$



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

**ENSAYO DE COMPACTACION SUB RASANTE MUESTRA 2:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	10,178.00	5,870.00	4,308.00
2	10,239.00	5,870.00	4,369.00
3	10,323.00	5,870.00	4,453.00
4	10,210.00	5,870.00	4,340.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	29.00	252.10	237.60
2	28.00	225.80	209.80
3	27.50	271.60	247.80
4	29.00	360.30	323.70

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
223.10	208.60	<b>6.95</b>
197.80	181.80	<b>8.80</b>
244.10	220.30	<b>10.80</b>
331.30	294.70	<b>12.42</b>

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
<b>1</b>	4,308.00	2303.5	<b>1.870</b>
<b>2</b>	4,369.00	2303.5	<b>1.897</b>
<b>3</b>	4,453.00	2303.5	<b>1.933</b>
<b>4</b>	4,340.00	2303.5	<b>1.884</b>

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

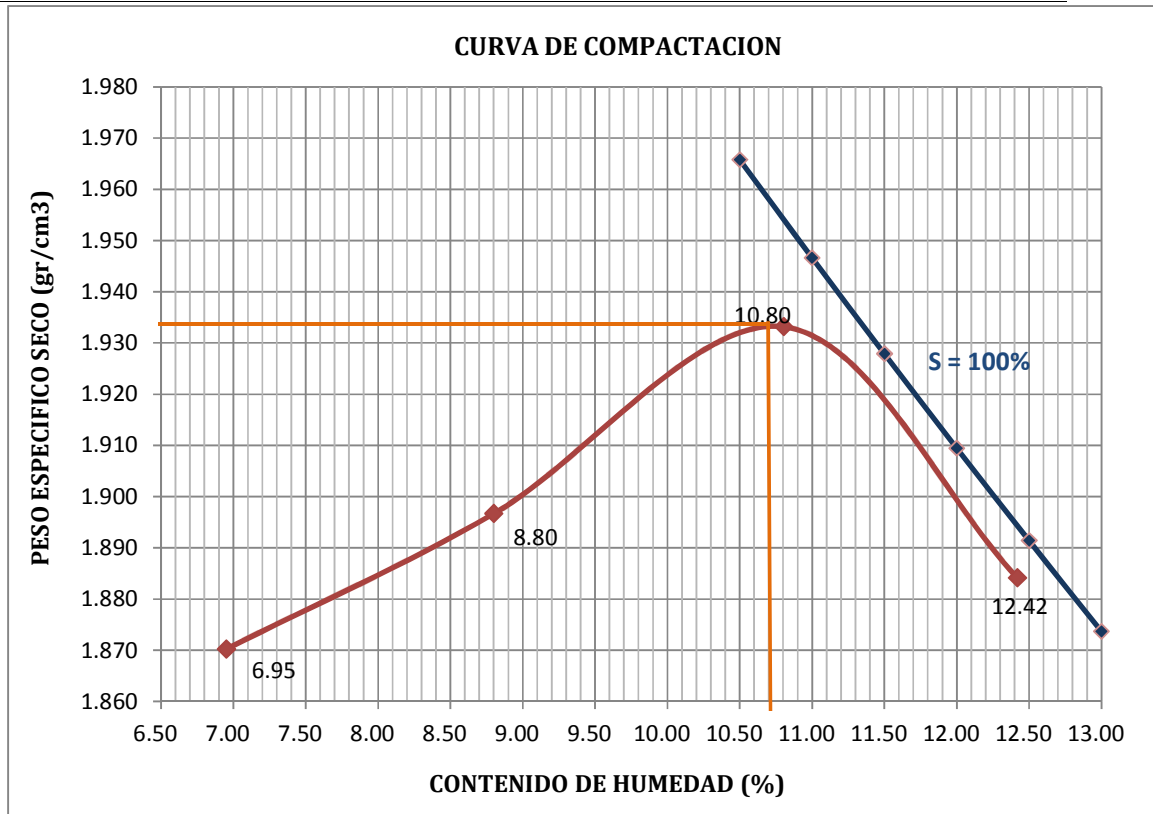
Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
<b>1</b>	547.80	100.00	607.29	2.469
<b>2</b>	425.78	102.00	485.90	2.436
<b>3</b>	592.10	100.80	653.40	2.552
<b>4</b>	635.20	101.20	695.13	2.452
			<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.477</b>

**6. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO SATURADO:**

$\omega_i$ (%)	$\omega_i$	Gs	$\gamma_{sat}$
10.5	0.1050	2.477	1.966
11	0.1100	2.477	1.947
11.5	0.1150	2.477	1.928
12	0.1200	2.477	1.909
12.5	0.1250	2.477	1.891
13	0.1300	2.477	1.874



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO



C.H.O.	10.790	%
PESO ESP. SECO.	1.934	$\text{g/cm}^3$



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ENSAYO DE COMPACTACION SUB RASANTE MUESTRA 3:**

**1. DATOS DEL PROCTOR CON EL MATERIAL COMPACTADO:**

Muestras	Molde +suelo (gr)	Peso del proctor (gr)	Peso del suelo (gr)
1	10,023.00	5,870.00	4,153.00
2	10,117.00	5,870.00	4,247.00
3	10,245.00	5,870.00	4,375.00
4	10,055.00	5,870.00	4,185.00

**2. MUESTRAS DESMOLDADAS Y COLOCADAS EN EL HORNO:**

Muestras	Lata (gr)	Lata + suelo (gr)	Lata + suelo seco (gr)
1	25.00	248.10	234.80
2	24.70	245.10	227.80
3	29.00	239.00	218.30
4	27.00	311.40	277.10

**3. CALCULANDO EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Suelo humedo (gr)	Suelo seco (gr)	Contenido de humedad ( $\omega$ )
223.10	209.80	6.34
220.40	203.10	8.52
210.00	189.30	10.94
284.40	250.10	13.71

**4. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO DE LAS MUESTRAS:**

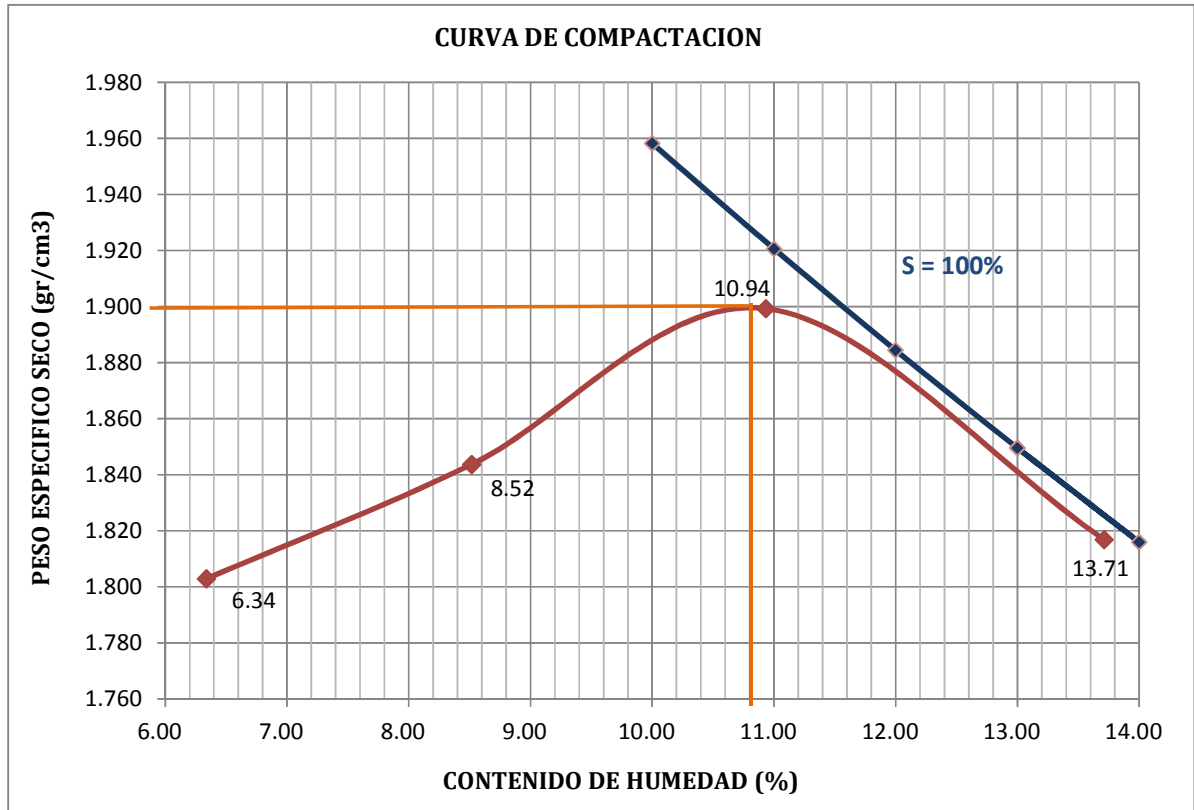
Muestra	W (gr)	V	$\gamma$
1	4,153.00	2303.5	1.803
2	4,247.00	2303.5	1.844
3	4,375.00	2303.5	1.899
4	4,185.00	2303.5	1.817

**5. CALCULO DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS:**

Muestras	Wi (gr)	Ws (gr)	Wf (gr)	G
1	537.800	100.200	598.230	2.519
2	498.230	101.000	557.300	2.409
3	578.710	100.000	637.770	2.443
4	553.320	100.700	611.520	2.369
<b>PROMEDIO:</b>				<b>2.435</b>

**6. CALCULANDO EL PESO ESPECIFICO SATURADO:**

oi (%)	oi	Gs	$\gamma_{sat}$
10	0.1000	2.435	1.958
11	0.1100	2.435	1.921
12	0.1200	2.435	1.884
13	0.1300	2.435	1.850
14	0.1400	2.435	1.816
13	0.1300	2.435	1.850

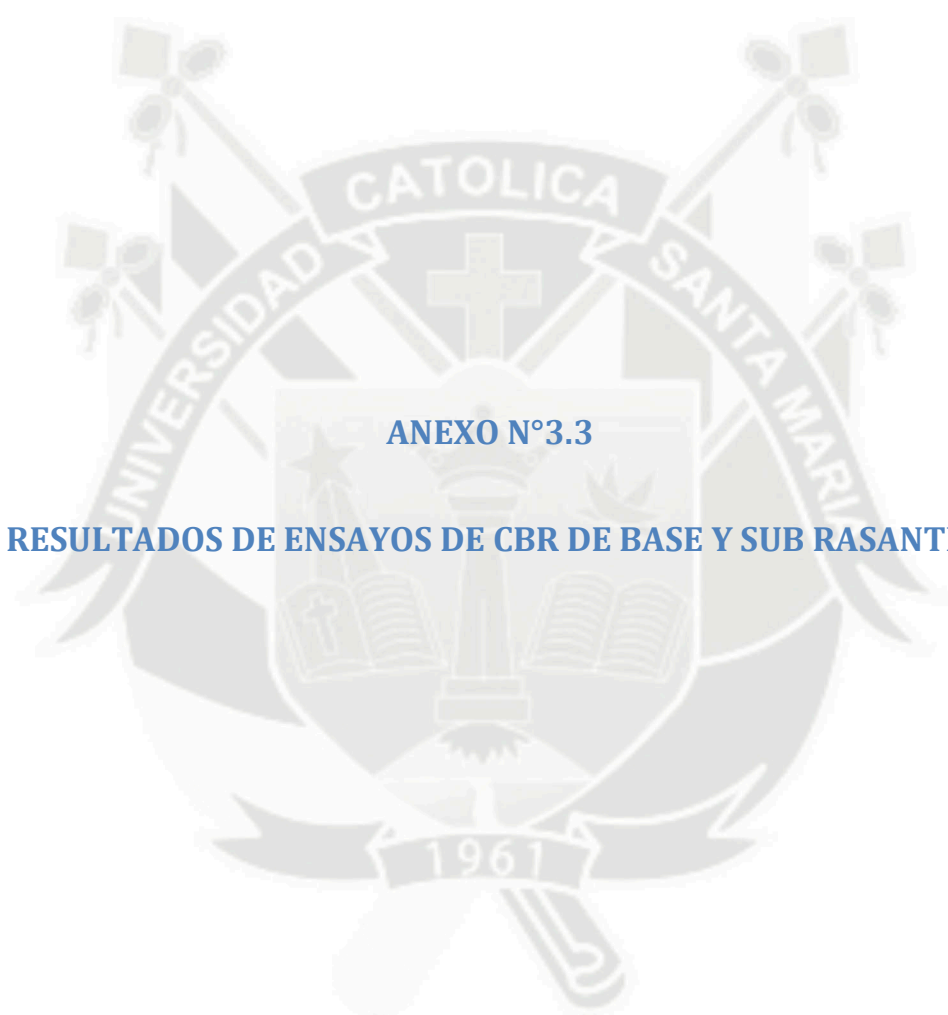


C.H.O.	10.800	%
PESO ESP. SECO.	1.900	$\text{g/cm}^3$



**ANEXO N°3.3**

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE CBR DE BASE Y SUB RASANTE.**





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ENSAYO CBR DEL MATERIAL DE BASE - MUESTRA 1:**

	12		25		56		CARGAS EQUIPO CBR	
Volumen del Molde	2,034.50	2,034.50	2,122.20	2,122.20	2,131.70	2,131.70	LECTURA	CARGA (lb)
Peso del molde + suelo	12,566.00	12,730.00	12,785.00	12,931.00	12,850.00	12,918.00	-	-
Peso del molde	8,512.00	8,512.00	8,406.00	8,406.00	8,334.00	8,334.00		
Peso suelo compactado	4,054.00	4,218.00	4,379.00	4,525.00	4,516.00	4,584.00		
<b>Densidad humeda</b>	<b>1.993</b>	<b>2.073</b>	<b>2.063</b>	<b>2.132</b>	<b>2.118</b>	<b>2.150</b>		
Muestra	1		2		3			
Peso suelo humedo	343.60	244.10	343.80	271.30	314.80	274.90	LECTURA	CARGA (lb)
Peso suelo seco	313.00	218.10	312.90	239.30	285.90	244.80	-	-
<b>Contenido de humedad</b>	<b>9.78</b>	<b>11.92</b>	<b>9.88</b>	<b>13.37</b>	<b>10.11</b>	<b>12.30</b>	107.30	1,125.00
							214.80	2,250.00
<b>Densidad seca</b>	<b>1.815</b>	<b>1.852</b>	<b>1.878</b>	<b>1.881</b>	<b>1.924</b>	<b>1.915</b>	323.60	3,375.00
							432.00	4,500.00
							540.80	5,625.00

PISTON: 5 cm de diam. =

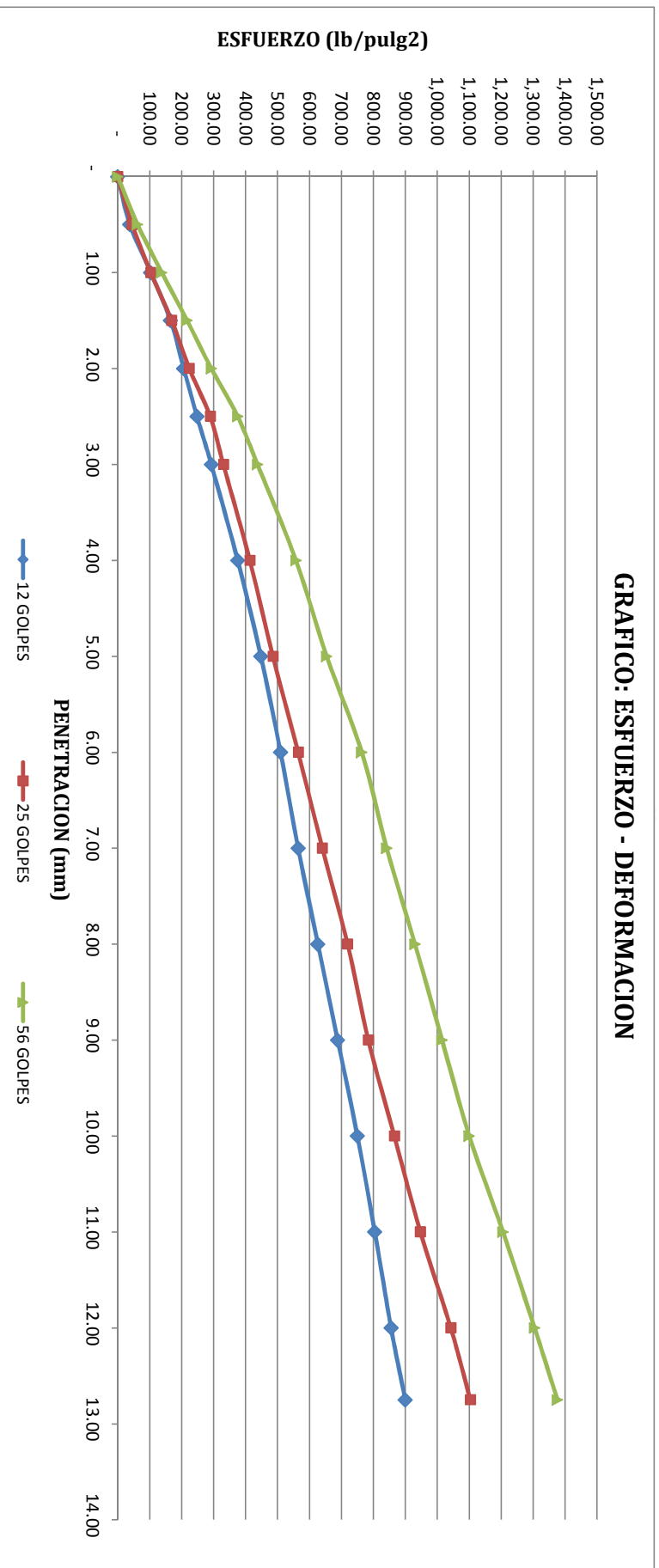
AREA: 19.63 cm<sup>2</sup> = 1.97 pulg<sup>2</sup>

3.04 pulg<sup>2</sup>

PENETRACION (mm)	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.50	11.00	115.33	37.90	13.00	136.30	44.79	18.00	188.72	62.01
1.00	30.00	314.54	103.35	30.00	314.54	103.35	40.00	419.38	137.80
1.50	48.00	503.26	165.36	49.00	513.75	168.81	63.00	660.53	217.04
2.00	60.00	629.08	206.70	65.00	681.50	223.93	85.00	891.19	292.83
<b>2.50</b>	<b>72.00</b>	<b>754.89</b>	<b>248.04</b>	<b>84.00</b>	<b>880.71</b>	<b>289.38</b>	<b>109.00</b>	<b>1,142.79</b>	<b>375.50</b>
3.00	85.00	891.19	292.83	96.00	1,006.52	330.72	127.00	1,331.16	437.39
4.00	109.00	1,142.79	375.50	120.00	1,257.91	413.32	162.00	1,697.44	557.74
5.00	130.00	1,362.56	447.71	141.00	1,477.67	485.53	190.00	1,990.47	654.02
6.00	148.00	1,550.93	509.60	164.00	1,718.37	564.62	222.00	2,324.45	763.76
7.00	164.00	1,718.37	564.62	186.00	1,948.60	640.27	245.00	2,562.27	841.90
8.00	182.00	1,906.74	626.51	209.00	2,189.30	719.36	271.00	2,831.11	930.24
9.00	200.00	2,095.12	688.41	228.00	2,386.49	784.15	296.00	3,089.61	1,015.18
10.00	218.00	2,283.09	750.17	252.00	2,634.65	865.69	321.00	3,348.12	1,100.11
11.00	234.00	2,448.53	804.53	276.00	2,882.81	947.23	352.00	3,669.74	1,205.79
12.00	249.00	2,603.63	855.49	304.00	3,172.33	1,042.36	381.00	3,970.71	1,304.69
12.75	262.00	2,738.05	899.66	322.00	3,358.46	1,103.51	402.00	4,188.65	1,376.30



GRAFICO: ESFUERZO - DEFORMACION



CARGA UNITARIA PATRON:

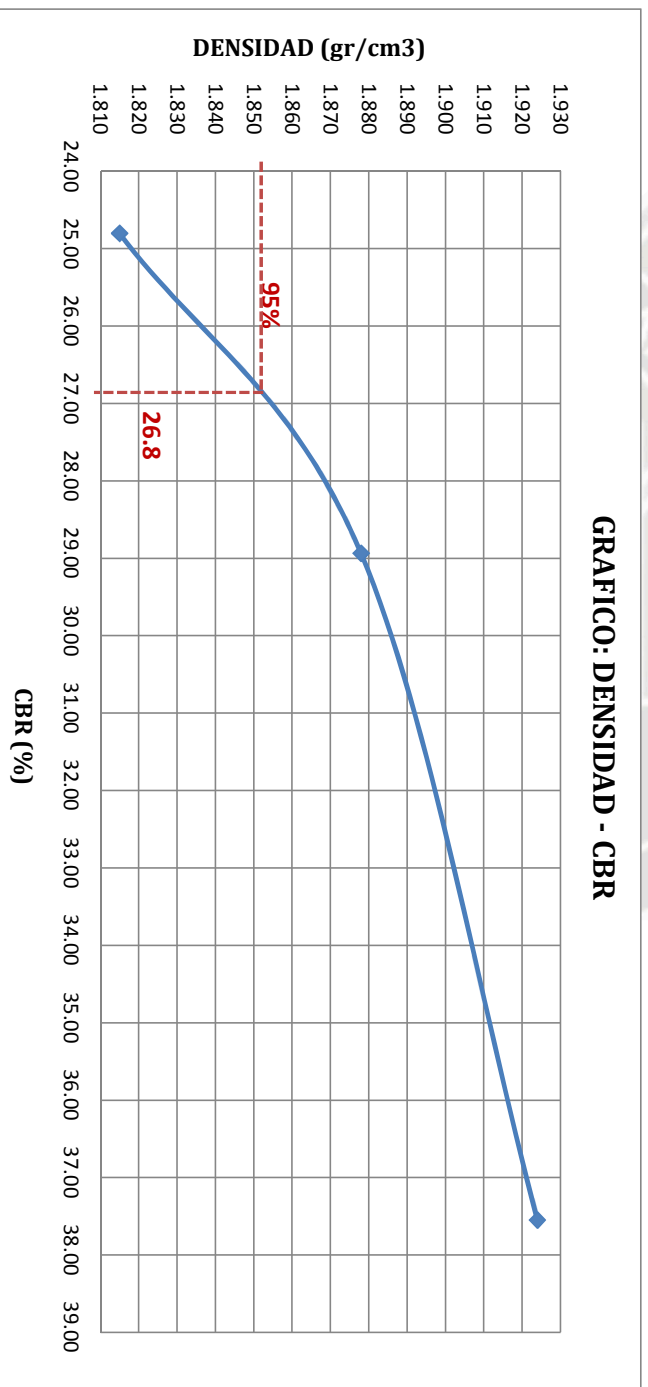
PENETRACION		CARGA UNITARIA PATRON			
mm	pulg	Mpa	Kg/cm2	Psi	
2.54	0.10	6.90	7,000.00	1,000.00	
5.08	0.20	10.30	10,500.00	1,500.00	
7.62	0.30	13.10	13,300.00	1,900.00	
10.16	0.40	15.80	16,200.00	2,300.00	
12.70	0.50	17.90	18,300.00	2,600.00	



LA RELACION DE SOPORTE PARA EL SUELO ES NORMALMENTE EL VALOR QUE NOS DA 2.54mm (0.1") DE PENETRACION, EL CUAL SE DIVIDA POR LA CARGA PATRON Y SE MULTIPLICA POR 100 PARA SACAR EL PORCENTAJE.

N° DE GOLPES	CBR 2.54	DENSIDAD
12	24.80	1.815
25	28.94	1.878
56	37.55	1.924

GRAFICO: DENSIDAD - CBR



CALCULANDO EL NUMERO CBR PARA LA BASE 1, UTILIZAREMOS EL 95% DE LA MAXIMA DENSIDAD SECA.

MDS = 1.950 gr/cm3

MDS 95% = 1.853 gr/cm3 CBR 95% = 26.80 %



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

**ENSAYO CBR DEL MATERIAL DE SUB RASANTE - MUESTRA 2:**

	12		25		56		CARGAS EQUIPO CBR	
	LECTURA	ESFUERZO	LECTURA	ESFUERZO	LECTURA	ESFUERZO	LECTURA	CARGA (lb)
Volumen del Molde	2,101.80	2,101.80	2,078.30	2,078.30	2,114.00	2,114.00		
Peso del molde + suelo	11,489.00	11,692.00	12,526.00	12,607.00	11,670.00	11,778.00		
Peso del molde	7,287.00	7,287.00	8,278.00	8,278.00	7,286.00	7,286.00		
Peso suelo compactado	4,202.00	4,405.00	4,248.00	4,329.00	4,384.00	4,492.00		
<b>Densidad humeda</b>	<b>1.999</b>	<b>2.096</b>	<b>2.044</b>	<b>2.083</b>	<b>2.074</b>	<b>2.125</b>		
Muestra	1		2		3		CARGAS EQUIPO CBR	
Peso suelo humedo	358.10	269.20	361.00	278.50	360.10	278.20	LECTURA	CARGA (lb)
Peso suelo seco	325.20	239.50	327.90	248.60	326.80	248.70	-	-
<b>Contenido de humedad</b>	<b>10.12</b>	<b>12.40</b>	<b>10.09</b>	<b>12.03</b>	<b>10.19</b>	<b>11.86</b>	107.30	1,125.00
							214.80	2,250.00
<b>Densidad seca</b>	<b>1.816</b>	<b>1.865</b>	<b>1.857</b>	<b>1.859</b>	<b>1.882</b>	<b>1.900</b>	323.60	3,375.00
							432.00	4,500.00
							540.80	5,625.00

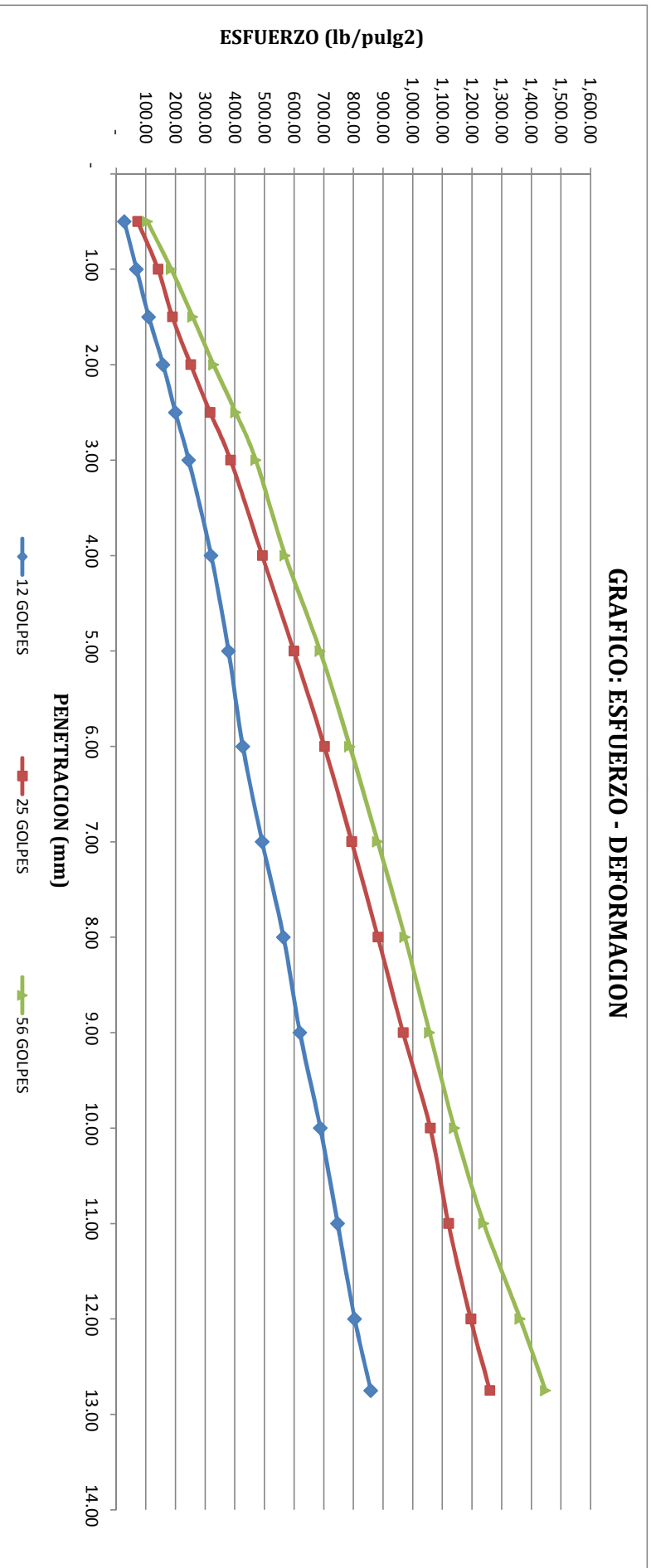
PISTON: 5 cm de diam. = =

AREA: 19.63 cm<sup>2</sup> = 3.04 pulg<sup>2</sup>

PENETRACION (mm)	12 GOLPES			25 GOLPES			56 GOLPES		
	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )	LECTURA DIAL	CARGA (lbf)	ESFUERZO (lbf/pulg <sup>2</sup> )
0.50	8.00	83.88	27.56	21.00	220.18	72.35	30.60	320.83	105.42
1.00	20.00	209.69	68.90	41.00	429.87	141.25	54.00	566.17	186.03
1.50	32.00	335.51	110.24	55.00	576.65	189.48	75.00	786.35	258.38
2.00	46.00	482.29	158.47	73.00	765.38	251.49	95.40	1,000.23	328.65
<b>2.50</b>	<b>58.00</b>	<b>608.11</b>	<b>199.81</b>	<b>92.00</b>	<b>964.59</b>	<b>316.94</b>	<b>117.00</b>	<b>1,226.51</b>	<b>403.00</b>
3.00	71.00	744.41	244.60	112.00	1,174.19	385.81	136.80	1,433.72	471.09
4.00	93.00	975.07	320.39	143.00	1,498.60	492.41	165.60	1,735.12	570.12
5.00	110.00	1,153.26	378.93	174.00	1,823.02	599.00	199.80	2,093.02	687.72
6.00	124.00	1,299.77	427.07	204.00	2,136.98	702.16	229.20	2,398.90	788.22
7.00	143.00	1,498.60	492.41	231.00	2,417.51	794.34	256.80	2,684.28	881.99
8.00	164.00	1,718.37	564.62	257.00	2,686.35	882.67	283.80	2,963.47	973.73
9.00	180.00	1,885.81	619.64	282.00	2,944.85	967.61	308.40	3,217.83	1,057.31
10.00	200.00	2,095.12	688.41	309.00	3,224.03	1,059.34	333.00	3,472.56	1,141.00
11.00	217.00	2,272.75	746.77	327.00	3,410.29	1,120.54	362.00	3,773.52	1,239.89
12.00	234.00	2,448.53	804.53	349.00	3,638.61	1,195.56	398.00	4,147.14	1,362.66
12.75	250.00	2,613.97	858.89	368.00	3,835.79	1,260.35	423.00	4,406.60	1,447.91



GRAFICO: ESFUERZO - DEFORMACION



CARGA UNITARIA PATRON:

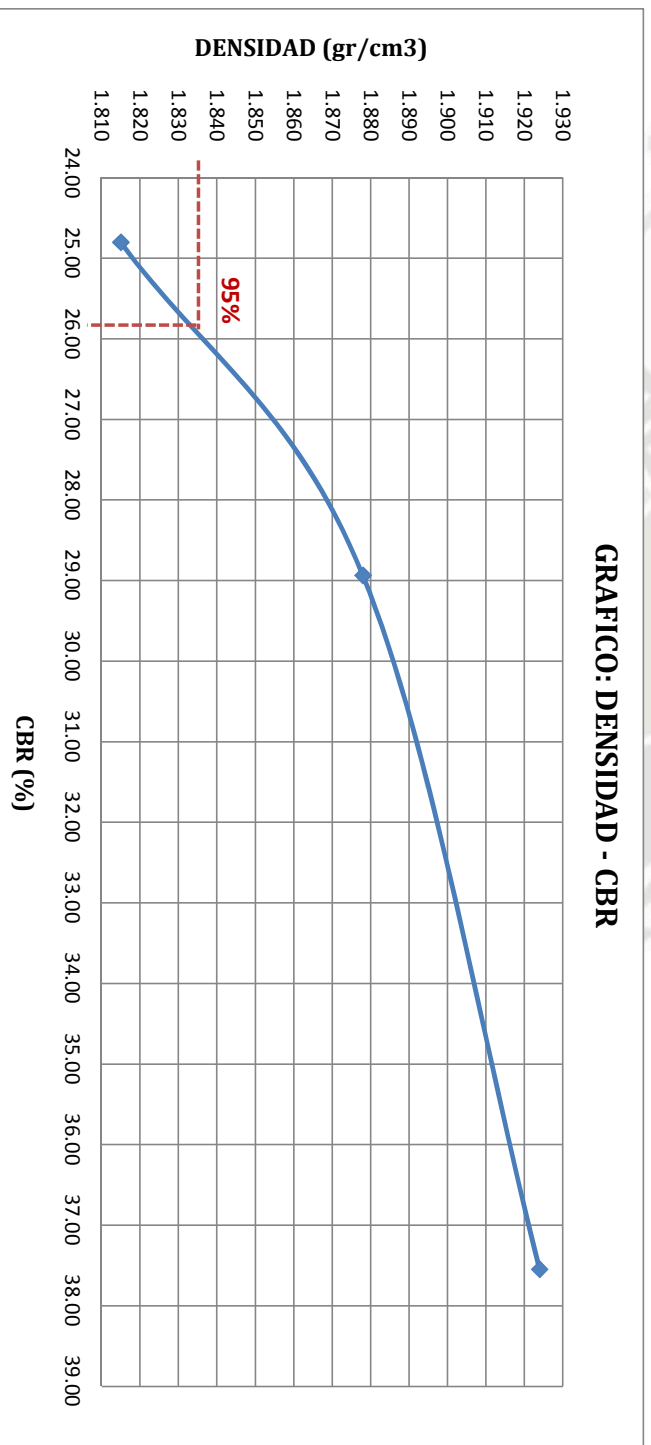
PENETRACION		CARGA UNITARIA PATRON			
mm	pulg	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Psi	
2.54	0.10	6.90	7,000.00	1,000.00	
5.08	0.20	10.30	10,500.00	1,500.00	
7.62	0.30	13.10	13,300.00	1,900.00	
10.16	0.40	15.80	16,200.00	2,300.00	
12.70	0.50	17.90	18,300.00	2,600.00	



LA RELACION DE SOPORTE PARA EL SUELO ES NORMALMENTE EL VALOR QUE NOS DA 2.54mm (0.1") DE PENETRACION, EL CUAL SE DIVIDA POR LA CARGA PATRON Y SE MULTIPLICA POR 100 PARA SACAR EL PORCENTAJE.

N° DE GOLPES	CBR 2.54	DENSIDAD
12	19.98	1.815
25	31.69	1.878
56	40.30	1.924

GRAFICO: DENSIDAD - CBR



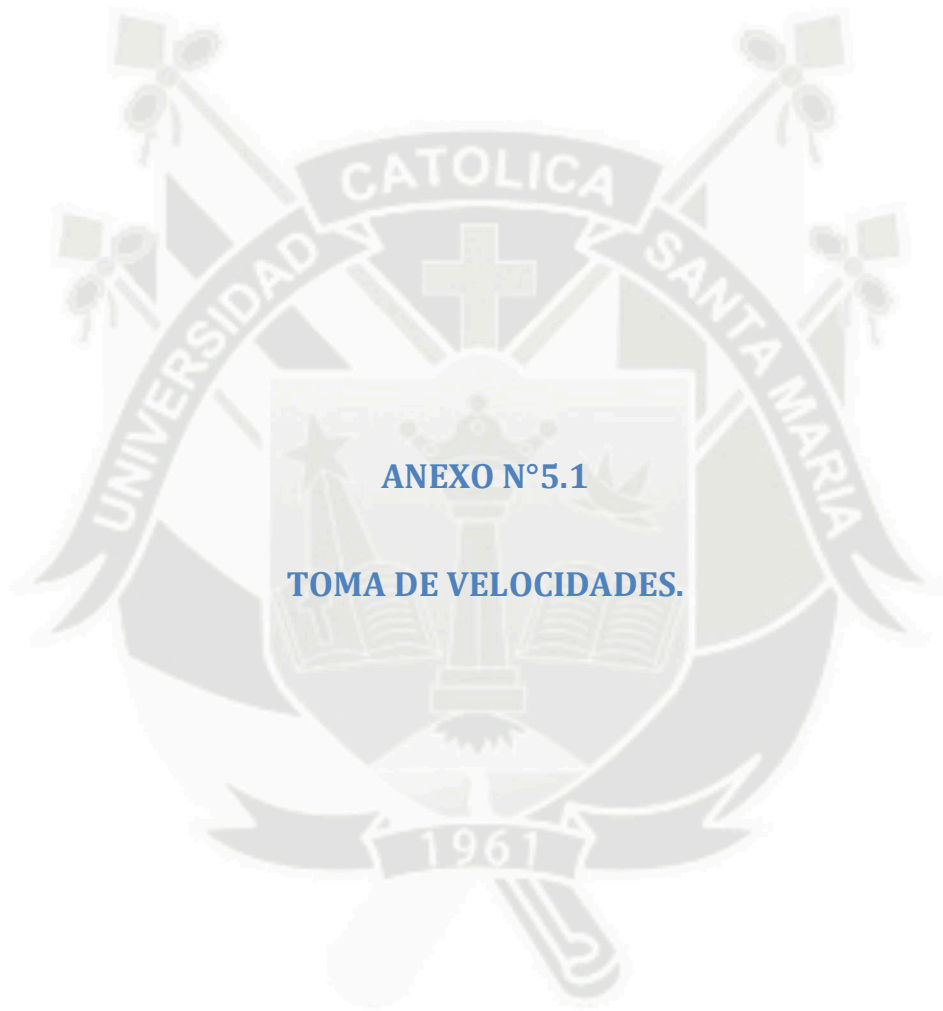
CALCULANDO EL NUMERO CBR PARA LA SUBRASANTE 2, UTILIZAREMOS EL 95% DE LA MAXIMA DENSIDAD SECA.

MDS = 1.934 gr/cm3

MDS 95% = 1.837 gr/cm3

CBR 95% =

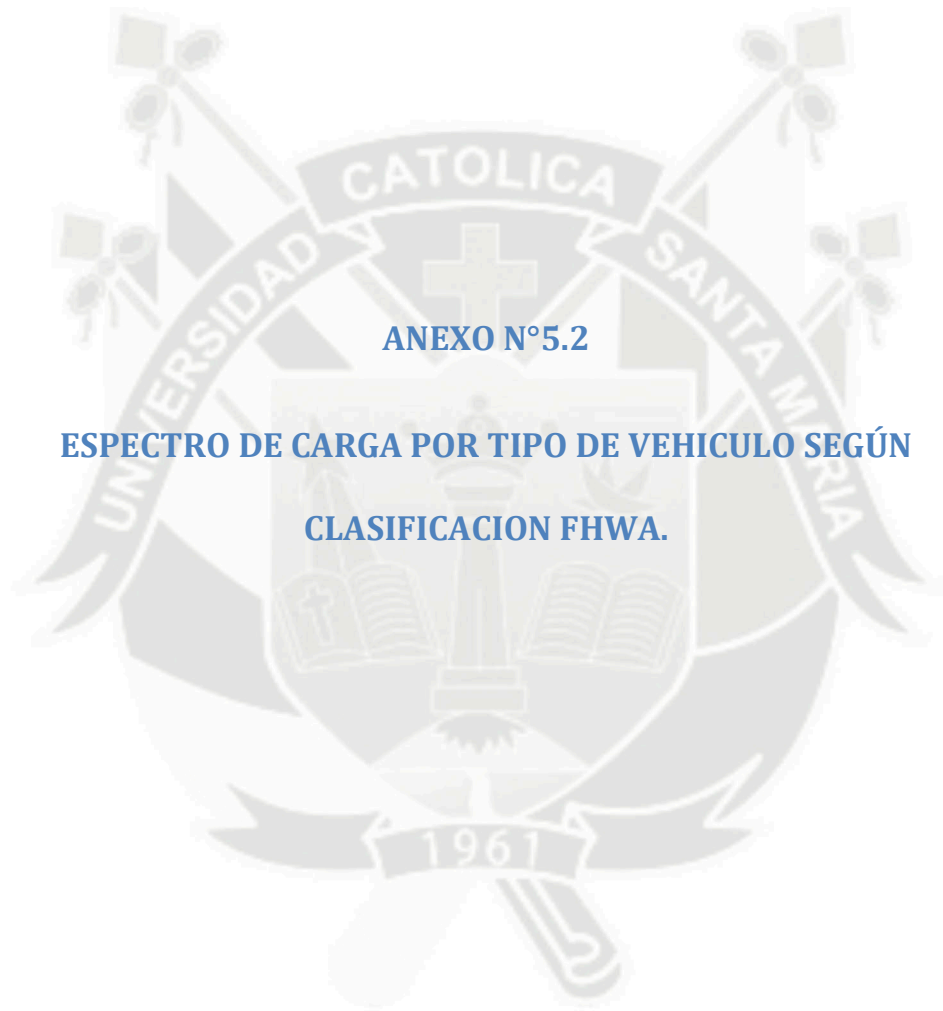
26.00 %



**ANEXO N°5.1**

**TOMA DE VELOCIDADES.**

VELOCIDAD (Km/hr)														
BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER					
2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
18.00	38.40	19.35	11.51	14.54	13.58	12.26	18.00	19.00	27.65	14.54	9.07	48.40		
23.07	41.40	21.89	17.64	14.54	23.53	14.96	27.21	19.00			18.76			
23.07	48.54	22.16	20.23	16.54	26.34	22.59	29.03	24.66			22.88			
25.96		22.42	21.81	18.78	29.59	22.59	31.82	24.71						
26.54		23.41	22.15	24.32	33.74	29.27	48.29	25.23						
27.40		24.11	22.86	27.91	35.90	29.33	82.53	29.83						
28.79		25.32	22.86	28.80	38.40	29.95		30.27						
30.68		25.32	23.66	29.21	40.35	30.51		35.93						
30.99		26.30	24.81	33.88	40.35	34.98		38.83						
32.99		29.58	27.90	39.82	45.00	36.99		41.04						
36.15		31.40	29.03	40.15	56.47	55.21		43.86						
37.58		32.13	31.39	40.70				50.67						
38.60		32.26	32.13	45.15										
38.72		33.33	32.29											
38.90		33.41	32.31											
42.37		35.12	34.92											
45.85		35.80	35.24											
48.69		36.65	35.36											
50.23		37.22	35.48											
51.71		37.43	36.26											
52.13		37.78	36.51											
52.60		37.89	37.17											
55.17		38.30	37.66											
60.98		41.00	37.69											
		41.20	37.98											
		41.48	38.26											
		42.13	41.03											
		42.46	43.13											
		44.44	43.82											
		44.57	45.40											
		45.09	48.60											
		50.43												
		52.54												
Promedio	38.22	42.78	34.66	32.16	28.79	34.84	28.97	39.48	31.92	27.65	14.54	16.90	48.40	<b>32.26</b>
Desv. Est.	11.831	5.208	8.675	8.807	10.66	11.5166	11.62	23.283	10.14			7.092		<b>10.88</b>



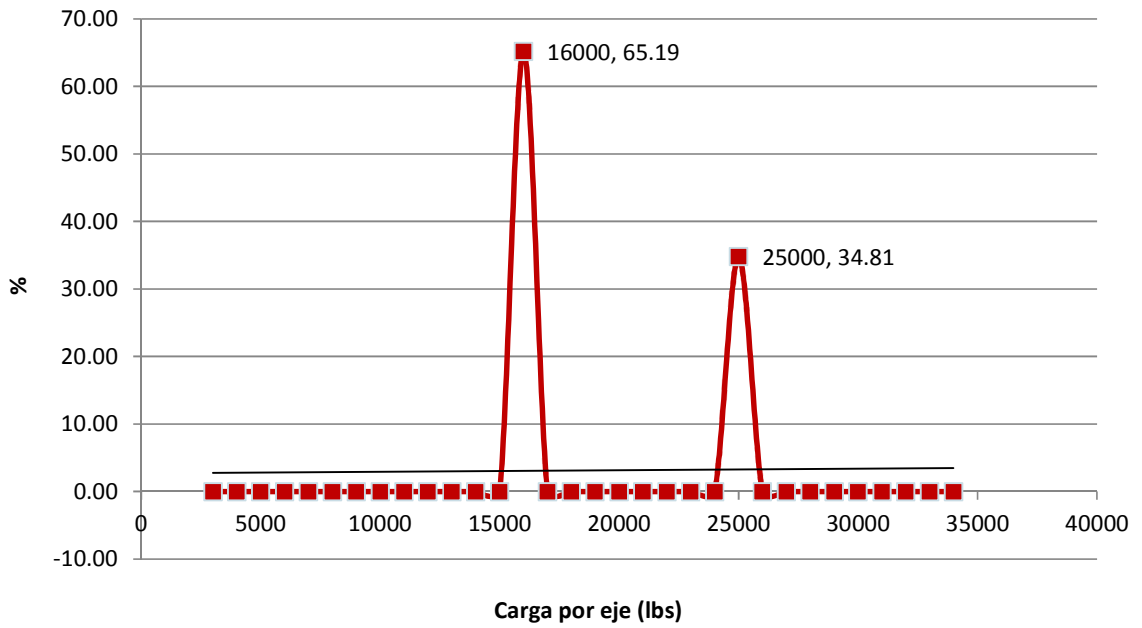
**ANEXO N°5.2**

**ESPECTRO DE CARGA POR TIPO DE VEHICULO SEGÚN  
CLASIFICACION FHWA.**

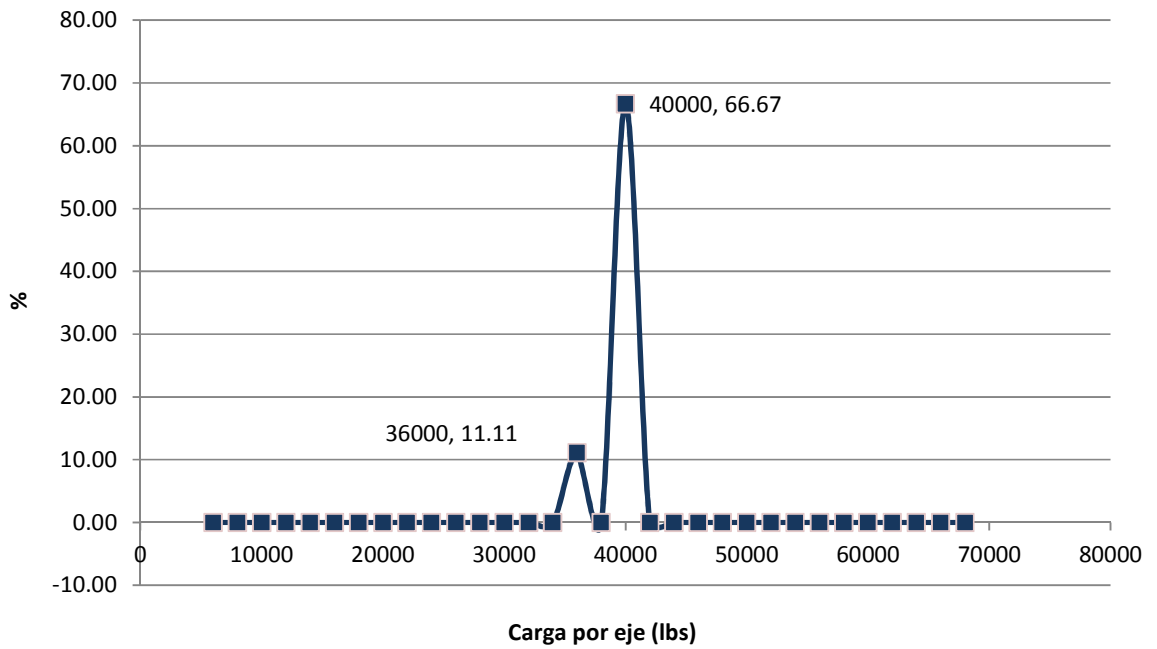




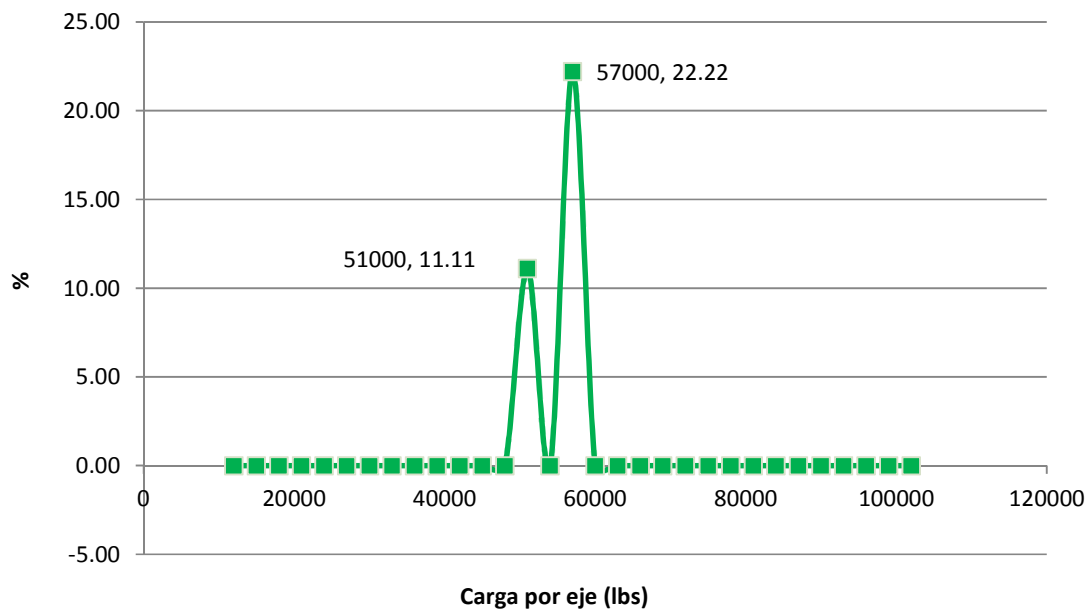
### Espectro ejes simples (FHWA)



### Espectro ejes tándem (FHWA)



### Espectro ejes trídem (FHWA)





**ANEXO N°5.3**

**RESULTADO DEL ANALISIS DE DETERIORO MEPDG SIN CALIBRAR.**



## Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution )

### AADTT distribution by vehicle class

Class 4	11.5%
Class 5	44.8%
Class 6	33.9%
Class 7	2.2%
Class 8	1.1%
Class 9	2.2%
Class 10	1.4%
Class 11	2.2%
Class 12	0.7%
Class 13	0.0%

## Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

## Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

## Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 1: Site Specific

## Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

## Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

## Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

## Axle Configuration

Tire Pressure (psi) :	120
-----------------------	-----

## Average Axle Spacing

Tandem axle(ksi):	51.6
Tridem axle(ksi):	49.2
Quad axle(ksi):	49.2

## Climate

icm file:

B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm

Latitude (degrees.minutes) -16.37  
 Longitude (degrees.minutes) -71.56  
 Elevation (ft) 8003  
 Depth of water table (ft) 10

### Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.  
 HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients  
 Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

### Structure--Layers

#### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete  
 Layer thickness (in): 2

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F °): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 6.38  
 Air voids (%): 5.66  
 Total unit weight (pcf): 144.84

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

##### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F °): 0.67  
 Heat capacity asphalt (BTU/lb-F °): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 0  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 27.69  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 47.26  
 % Passing #200 sieve: 3.58

#### Asphalt Binder

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade Pen 85-100  
 A 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

#### Thermal Cracking Properties

Average Tensile Strength at 14°F: 444  
 Mixture VMA (%): 12.04  
 Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
 Mix coeff. thermal contraction (in./in./°F): 0.0000055

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	2.83E-07	4.14E-07	5.31E-07
2	2.96E-07	4.21E-07	6.21E-07
5	3.31E-07	5.24E-07	7.79E-07
10	3.38E-07	5.86E-07	8.76E-07
20	3.65E-07	6.48E-07	1.05E-06
50	3.79E-07	8E-07	1.36E-06
100	4E-07	9.1E-07	1.7E-06

#### Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a

Thickness(in): 7.87

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35  
Coefficient of lateral pressure,Ko: 0.5  
Modulus (input) (psi): 24132

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
Liquid Limit (LL) 0  
Compacted Layer Yes  
Passing #200 sieve (%): 6.7  
Passing #40 20.6  
Passing #4 sieve (%): 51  
D10(mm) 0.1265  
D20(mm) 0.3951  
D30(mm) 0.9776  
D60(mm) 8.094  
D90(mm) 38.87

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	6.74
#100	11.06
#80	12.52
#60	
#50	17.7
#40	20.61
#30	23.67
#20	
#16	32.44
#10	38.75
#8	40.93
#4	51.05
3/8"	62.69
1/2"	67.98
3/4"	75.46
1"	80.24
1 1/2"	88.57
2"	100
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 135.2 (derived)  
Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.03581 (derived)  
Optimum gravimetric water content (%): 6.4 (derived)  
Calculated degree of saturation (%): 69.8 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	6.4278
b	1.5225
c	0.82105
Hr.	100

**Layer 3 -- A-1-b**

Unbound Material: A-1-b  
Thickness(in): Semi-infinite

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index  
 Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40: 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm): 0.0528  
 D20(mm): 0.2045  
 D30(mm): 0.3747  
 D60(mm): 4.369  
 D90(mm): 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.6015
b	0.85447
c	1.0344
Hr.	100

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

AC Fatigue Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)

k1	0.007566
k2	3.9492
k3	1.281
<b>AC Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	-3.35412
k2	1.5606
k3	0.4791
Standard Deviation Total Rutting (RUT):	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
<b>Thermal Fracture</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1.5
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 1$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

## Climate Summary

### Climate Station File:

B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm

### Climate station(s) used in analysis:

#### Average Monthly Quintile Temperatures - Surface

Month	1st Quintile (°F)	2nd Quintile (°F)	3rd Quintile (°F)	4th Quintile (°F)	5th Quintile (°F)	Mean Temp. (°F)	Std. Dev. (°F)
January	49.6	54.8	61.5	68.2	73.8	61.6	9
February	51.3	57.1	64.8	71.6	79.1	64.8	10.2
March	53.3	59.6	69.3	76.9	88.4	69.5	12.8
April	55.7	62.3	69.6	75.7	88.1	70.3	11.5
May	55.9	61.9	69.1	75.3	86.9	69.8	11.2
June	57.9	63.2	68.1	73.2	83.1	69.1	9.1
July	58.9	63.4	67.2	72	81.1	68.5	9.2
August	54.6	58.8	63.1	68.8	78.7	64.8	8.8
September	55.3	59.2	64.7	71.4	83.1	66.7	10.3
October	54.4	59.4	65	70.6	79.3	65.8	9
November	52.7	58.9	64.8	70.3	77	64.7	8.8
December	50.7	55.7	62.1	68.9	73.7	62.2	8.6

#### Average Monthly Quintile Temperatures - Sublayer 1

Month	1st Quintile (°F)	2nd Quintile (°F)	3rd Quintile (°F)	4th Quintile (°F)	5th Quintile (°F)	Mean Temp. (°F)	Std. Dev. (°F)
January	50.3	55.3	61.5	67.8	73.2	61.6	8.5
February	52.1	57.6	64.7	71.3	78.1	64.8	9.6
March	54.1	60.3	69.4	76.6	87.1	69.5	12
April	56.5	62.8	69.6	75.5	86.8	70.3	10.8
May	56.7	62.4	69.2	75	85.8	69.8	10.5
June	58.5	63.6	68.2	73	82.2	69.1	8.6
July	59.4	63.7	67.3	71.9	80.4	68.5	8.4
August	54.8	59.1	63.3	68.7	77.9	64.8	8.4
September	55.7	59.5	64.9	71.2	82.2	66.7	9.7
October	55	59.8	65.1	70.5	78.4	65.8	8.5
November	53.3	59.3	64.8	69.9	76.3	64.7	8.3
December	51.4	56.1	62.1	68.5	73	62.2	8

#### Average Monthly Quintile Temperatures - Sublayer 2

Month	1st Quintile (°F)	2nd Quintile (°F)	3rd Quintile (°F)	4th Quintile (°F)	5th Quintile (°F)	Mean Temp. (°F)	Std. Dev. (°F)
January	51.5	56.1	61.4	67.1	72	61.6	7.6
February	53.5	58.5	64.5	70.7	76.5	64.8	8.5
March	55.7	61.5	69.4	76	84.7	69.5	10.6
April	58	63.7	69.7	75.2	84.7	70.2	9.5
May	58	63.2	69.1	74.7	83.8	69.8	9.3
June	59.5	64.2	68.3	72.5	80.8	69.1	7.7
July	59.8	64.1	67.3	71.4	79.7	68.5	8.2
August	55.4	59.8	63.7	68.5	76.7	64.8	7.7
September	56.5	60.2	65.1	70.9	80.5	66.7	8.8
October	56	60.5	65.2	70	76.9	65.8	7.5
November	54.5	60	64.8	69.3	75.2	64.7	7.4
December	52.6	57	62.1	67.7	71.7	62.2	7.1

### Average Monthly Quintile Temperatures - Sublayer 3

Month	1st Quintile (°F)	2nd Quintile (°F)	3rd Quintile (°F)	4th Quintile (°F)	5th Quintile (°F)	Mean Temp. (°F)	Std. Dev. (°F)
January	52.8	57	61.4	66.2	70.7	61.6	6.6
February	55	59.4	64.3	69.9	74.8	64.7	7.3
March	57.5	62.7	69.3	75.4	82	69.4	9
April	59.7	64.6	69.6	74.8	82.2	70.2	8.1
May	59.6	64.2	69.2	74.1	81.7	69.8	8
June	60.8	64.9	68.3	72.1	79.2	69.1	6.7
July	60.8	64.6	67.4	71.1	80.1	68.8	9.4
August	55.8	60.5	64.1	68.2	75.3	64.8	6.9
September	57.4	61	65.3	70.5	78.7	66.6	7.8
October	57.3	61.3	65.4	69.6	75.4	65.8	6.5
November	55.8	60.7	64.7	68.6	73.9	64.7	6.5
December	53.9	57.8	62.2	66.8	70.3	62.2	6

### Annual Climate Statistics

Mean annual air temperature (°F):	59.68
Mean annual rainfall (in):	4.26
Freezing index (°F-days):	0
Average Annual Number of Freeze/Thaw	0

### Monthly Rainfall Statistics

Month	Mean Rainfall (in)	Std. Dev. (in)
January	0	0
February	0	0
March	0.01	0
April	0	0
May	0.03	0
June	0.09	0
July	2.46	0
August	1.47	0
September	0.05	0
October	0	0
November	0	0

### Monthly Climate Summary

Month(Year)	Min. Temp. (°F)	Max. Temp. (°F)	Average Temp. (°F)	Max. Range (°F)	Precip. (in.)	Average Wind (mph)	Average Sun (%)	Number Wet Days	Max. Frost (in.)
8/2002	48.7	73.8	58.7	22	2.46	4.5	37.3	10	0
9/2002	45.5	77.2	59.8	28.5	1.47	4.9	57.3	4	0
10/2002	46.4	76.1	59.3	25.9	0.05	4.4	69.9	2	0
11/2002	41	78.1	59.7	28.3	0	5.3	79.4	0	0
12/2002	42.6	77.4	58.4	31	0	6.4	89.5	0	0
1/2003	41	75.2	57	30.8	0	5.6	82.6	0	0
2/2003	43.3	76.6	58.8	30.6	0	6.3	90.1	0	0
3/2003	45	77.5	60.2	31.1	0	6.1	100	0	0
4/2003	44.2	76.1	60.7	30.3	0.01	5.8	74.4	1	0
5/2003	46.4	75.7	60.7	27.4	0	5.7	65.2	0	0
6/2003	45.5	76.6	60.8	25.8	0.03	5.3	35.2	1	0

### Hourly Air Temperature Distribution by Month

Month/Year	Less than -13°F	From -13°F to -4°F	From -4°F to 5°F	From 5°F to 14°F	From 14°F to 23°F	From 23°F to 32°F	From 32°F to 41°F	From 41°F to 50°F	From 50°F to 59°F	From 59°F to 68°F	From 68°F to 77°F	From 77°F to 86°F	From 86°F to 95°F	From 95°F to 104°F	From 104°F to 113°F	Greater than 113°F
8/2002	0	0	1	0	0	0	0	72	422	189	60	0	0	0	0	0
9/2002	0	0	0	0	0	0	0	69	378	174	99	0	0	0	0	0
10/2002	0	0	0	0	0	0	0	115	346	199	84	0	0	0	0	0
11/2002	0	0	0	0	0	0	4	151	265	171	129	0	0	0	0	0
12/2002	0	0	0	0	0	0	1	226	226	160	131	0	0	0	0	0
1/2003	0	0	0	0	0	0	13	268	187	173	103	0	0	0	0	0
2/2003	0	0	0	0	0	0	0	205	199	117	151	0	0	0	0	0
3/2003	0	0	0	0	0	0	0	155	272	135	182	0	0	0	0	0
4/2003	0	0	0	0	0	0	0	136	259	152	173	0	0	0	0	0
5/2003	0	0	0	0	0	0	0	137	263	165	179	0	0	0	0	0
6/2003	0	0	0	0	0	0	0	75	308	221	116	0	0	0	0	0



**Project: Analisis de deterioro sin calibrar**  
**Reliability Summary**

<b>Performance Criteria</b>	<b>Distress Target</b>	<b>Reliability Target</b>	<b>Distress Predicted</b>	<b>Reliability Predicted</b>	<b>Acceptable</b>
Terminal IRI (in/mi)	250	90	97.9	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	52.1	76.09	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	6.3	90.76	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	1	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.13	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.53	99.999	Pass

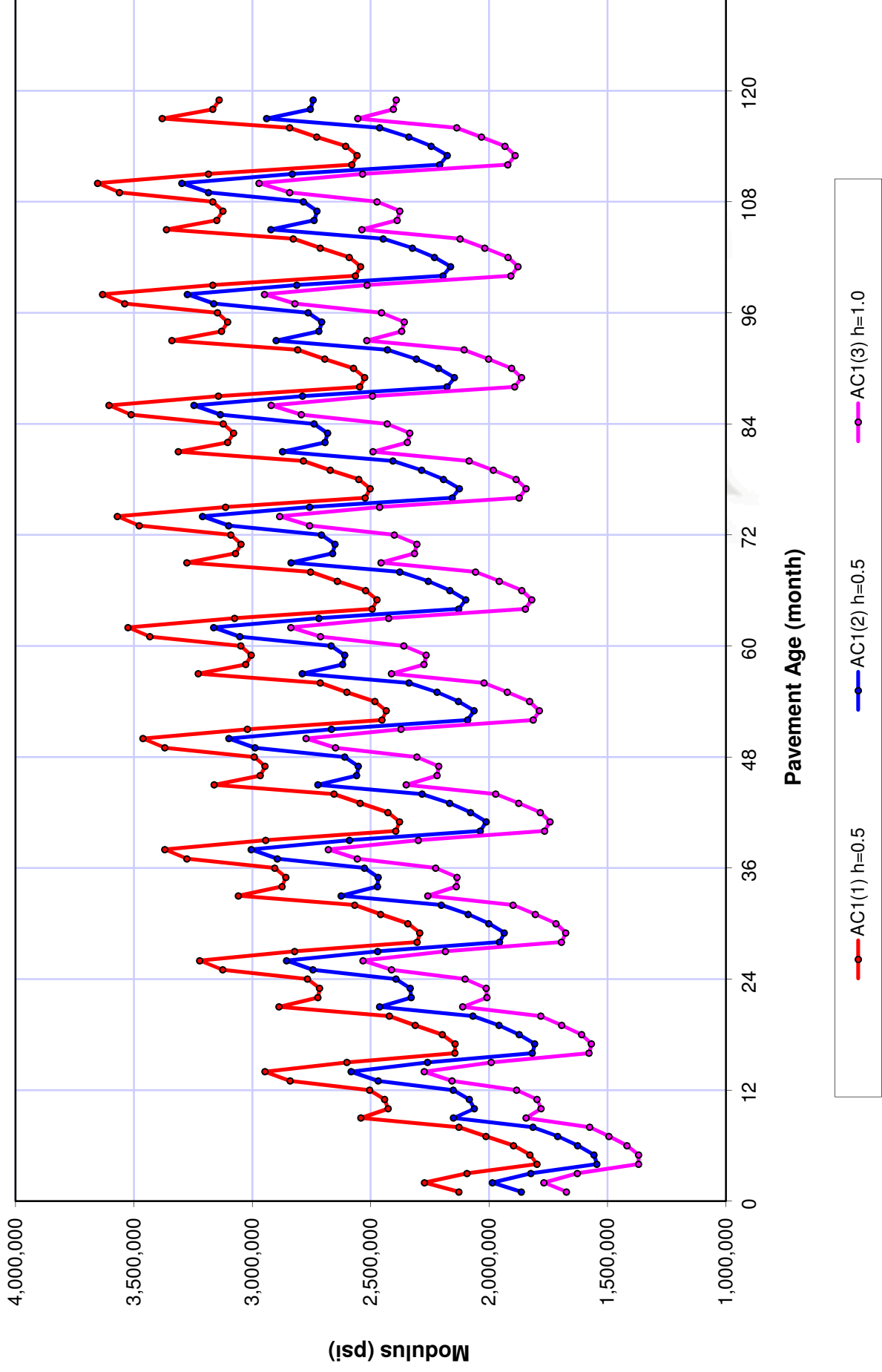


## Predicted distress: Analisis de deterioro sin calibrar

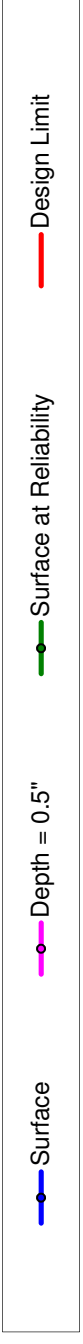
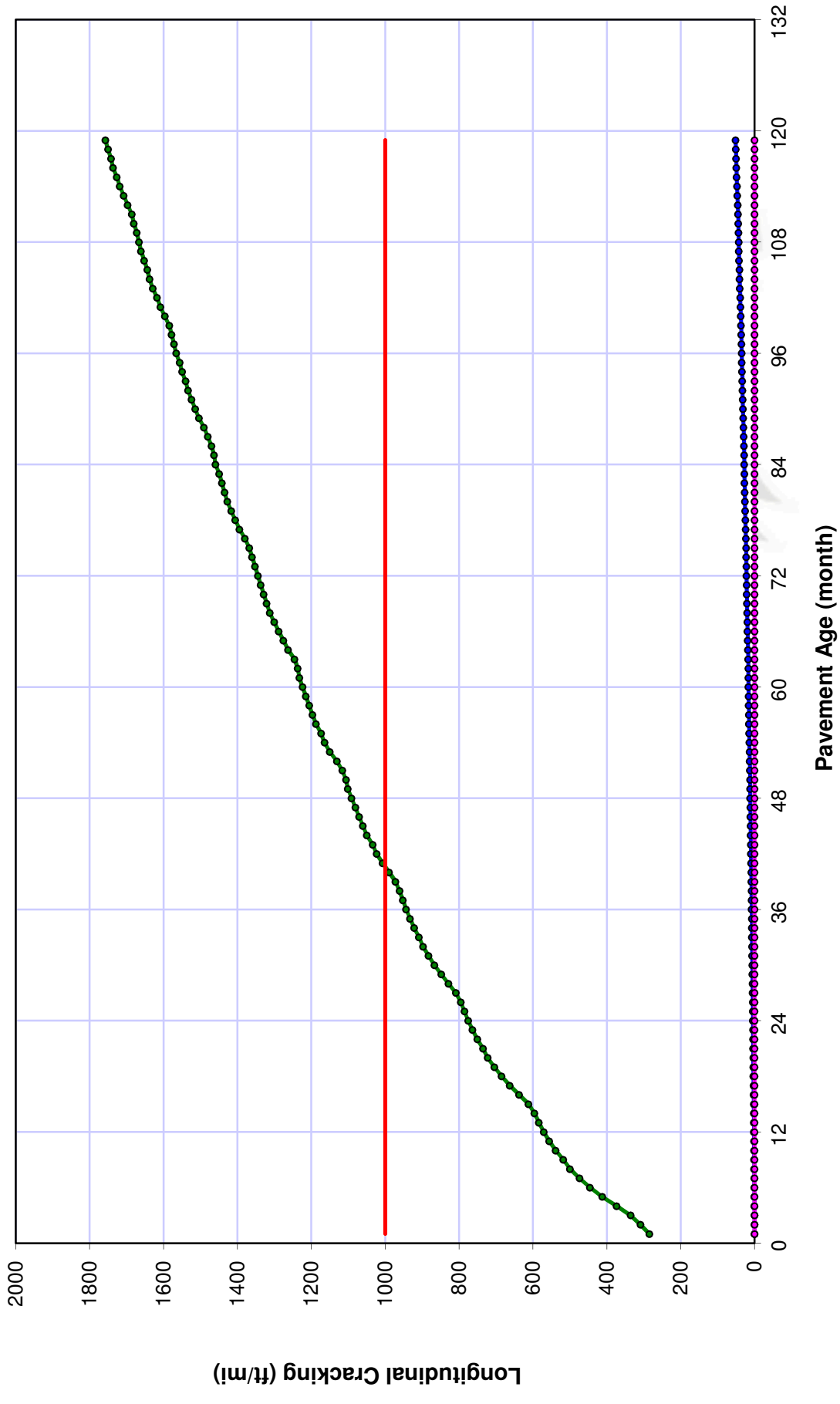
Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr								
1	0.08	0.03	0.0009	0	0.01	0.234	72.4	6745	98.52
2	0.17	0.08	0.0031	0	0.014	0.264	73.7	13490	100.28
3	0.25	0.16	0.0065	0	0.018	0.285	74.6	20235	101.53
4	0.33	0.31	0.0116	0	0.023	0.304	75.5	26980	102.69
5	0.42	0.51	0.0181	0	0.027	0.318	76.1	33725	103.61
6	0.5	0.71	0.0256	0	0.03	0.33	76.6	40470	104.34
7	0.58	0.91	0.0342	0	0.033	0.338	77.1	47215	104.93
8	0.67	1.1	0.0441	0	0.035	0.346	77.5	53960	105.47
9	0.75	1.25	0.0535	0	0.037	0.351	77.7	60705	105.86
10	0.83	1.43	0.0637	0	0.039	0.356	78	67450	106.26
11	0.92	1.59	0.0748	0	0.04	0.36	78.3	74194	106.61
12	1	1.74	0.0862	0	0.041	0.364	78.5	80939	106.93
13	1.08	1.87	0.0975	0	0.042	0.367	78.7	88116	107.21
14	1.17	1.99	0.109	0	0.043	0.37	78.9	95293	107.47
15	1.25	2.17	0.123	0	0.044	0.374	79.1	102469	107.79
16	1.33	2.47	0.139	0	0.046	0.378	79.4	109646	108.2
17	1.42	2.77	0.156	0	0.048	0.383	79.7	116823	108.63
18	1.5	3.07	0.174	0	0.05	0.387	79.9	123999	109.03
19	1.58	3.33	0.193	0	0.051	0.39	80.1	131176	109.43
20	1.67	3.6	0.213	0	0.053	0.394	80.4	138352	109.83
21	1.75	3.78	0.231	0	0.054	0.396	80.6	145529	110.16
22	1.83	4.02	0.25	0	0.055	0.399	80.8	152706	110.51
23	1.92	4.23	0.27	0	0.056	0.401	80.9	159882	110.81
24	2	4.41	0.289	0	0.057	0.403	81.1	167059	111.1
25	2.08	4.59	0.308	0	0.057	0.405	81.2	174695	111.35
26	2.17	4.76	0.326	0	0.058	0.407	81.4	182331	111.58
27	2.25	4.99	0.348	0	0.059	0.409	81.6	189967	111.84
28	2.33	5.35	0.374	0	0.06	0.412	81.8	197603	112.17
29	2.42	5.72	0.401	0	0.061	0.415	82	205239	112.49
30	2.5	6.09	0.429	0	0.063	0.418	82.2	212875	112.81
31	2.58	6.4	0.457	0	0.064	0.42	82.4	220510	113.08
32	2.67	6.73	0.487	0	0.065	0.422	82.6	228146	113.36
33	2.75	6.96	0.512	0	0.066	0.424	82.8	235782	113.59
34	2.83	7.25	0.54	0	0.067	0.426	82.9	243418	113.83
35	2.92	7.51	0.568	0	0.068	0.428	83.1	251054	114.06
36	3	7.74	0.595	0	0.068	0.429	83.3	258690	114.27
37	3.08	7.96	0.621	0	0.069	0.43	83.4	266815	114.46
38	3.17	8.17	0.647	0	0.069	0.432	83.5	274939	114.64
39	3.25	8.44	0.678	0	0.07	0.433	83.7	283064	114.86
40	3.33	8.87	0.713	0	0.071	0.436	83.9	291189	115.13
41	3.42	9.33	0.751	0	0.072	0.438	84.1	299313	115.42
42	3.5	9.77	0.79	0	0.074	0.44	84.3	307438	115.69
43	3.58	10.1	0.828	0	0.075	0.442	84.5	315563	115.94
44	3.67	10.5	0.868	0	0.076	0.444	84.7	323687	116.19
45	3.75	10.8	0.902	0	0.076	0.446	84.8	331812	116.4
46	3.83	11.1	0.939	0	0.077	0.447	85	339936	116.63
47	3.92	11.4	0.976	0	0.078	0.449	85.1	348061	116.85
48	4	11.7	1.01	0	0.078	0.45	85.3	356186	117.04
49	4.08	12	1.05	0	0.079	0.451	85.4	364830	117.23
50	4.17	12.2	1.08	0	0.079	0.452	85.6	373475	117.4
51	4.25	12.5	1.12	0	0.08	0.453	85.7	382119	117.61
52	4.33	13.1	1.16	0	0.081	0.455	85.9	390764	117.87
53	4.42	13.6	1.21	0	0.082	0.457	86.1	399409	118.15
54	4.5	14.1	1.26	0	0.083	0.459	86.3	408053	118.41
55	4.58	14.5	1.31	0	0.084	0.461	86.5	416698	118.65
56	4.67	15	1.36	0	0.085	0.462	86.7	425343	118.9
57	4.75	15.3	1.41	0	0.086	0.464	86.8	433987	119.11
58	4.83	15.7	1.45	0	0.086	0.465	87	442632	119.33
59	4.92	16	1.5	0	0.087	0.466	87.1	451276	119.54
60	5	16.4	1.54	0	0.088	0.467	87.3	459921	119.74
61	5.08	16.7	1.59	0	0.088	0.468	87.4	469119	119.91
62	5.17	16.9	1.63	0	0.088	0.469	87.6	478317	120.12
63	5.25	17.3	1.68	0	0.089	0.47	87.7	487515	120.34
64	5.33	17.9	1.73	0	0.09	0.472	87.9	496712	120.55

Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr								
65	5.42	18.5	1.79	0	0.091	0.474	88.1	505910	120.87
66	5.5	19.1	1.85	0	0.092	0.475	88.3	515108	121.13
67	5.58	19.6	1.91	0	0.093	0.477	88.5	524306	121.37
68	5.67	20.1	1.98	0	0.094	0.478	88.7	533504	121.62
69	5.75	20.5	2.03	0	0.094	0.479	88.8	542702	121.79
70	5.83	21	2.09	0	0.095	0.481	89	551900	122.02
71	5.92	21.4	2.14	0	0.096	0.482	89.2	561097	122.25
72	6	21.7	2.19	0	0.096	0.483	89.3	570295	122.46
73	6.08	22	2.25	0	0.097	0.483	89.4	580082	122.62
74	6.17	22.4	2.3	0	0.097	0.484	89.6	589868	122.83
75	6.25	22.8	2.36	0	0.097	0.485	89.8	599655	123.05
76	6.33	23.5	2.43	0	0.098	0.487	89.9	609441	123.3
77	6.42	24.2	2.5	0	0.099	0.489	90.1	619228	123.57
78	6.5	24.9	2.57	0	0.1	0.49	90.3	629014	123.82
79	6.58	25.4	2.65	0	0.101	0.492	90.5	638801	124.07
80	6.67	26	2.72	0	0.102	0.493	90.7	648587	124.31
81	6.75	26.4	2.79	0	0.103	0.494	90.9	658374	124.53
82	6.83	27	2.85	0	0.103	0.495	91	668161	124.76
83	6.92	27.4	2.92	0	0.104	0.496	91.2	677947	124.98
84	7	27.9	2.99	0	0.104	0.497	91.4	687734	125.2
85	7.08	28.2	3.04	0	0.105	0.498	91.5	698146	125.36
86	7.17	28.6	3.11	0	0.105	0.498	91.6	708559	125.56
87	7.25	29.1	3.18	0	0.106	0.499	91.8	718972	125.79
88	7.33	29.9	3.26	0	0.107	0.501	92	729385	126.04
89	7.42	30.7	3.35	0	0.108	0.502	92.2	739798	126.36
90	7.5	31.4	3.44	0	0.108	0.504	92.4	750211	126.61
91	7.58	32.1	3.52	0	0.109	0.505	92.6	760624	126.85
92	7.67	32.7	3.61	0	0.11	0.506	92.8	771036	127.1
93	7.75	33.2	3.68	0	0.111	0.507	93	781449	127.32
94	7.83	33.8	3.77	0	0.111	0.508	93.1	791862	127.55
95	7.92	34.4	3.84	0	0.112	0.509	93.3	802275	127.77
96	8	34.9	3.92	0	0.112	0.51	93.5	812688	127.99
97	8.08	35.4	3.99	0	0.113	0.511	93.6	823767	128.2
98	8.17	35.8	4.05	0	0.113	0.511	93.8	834846	128.41
99	8.25	36.4	4.14	0	0.113	0.512	93.9	845926	128.63
100	8.33	37.3	4.24	0	0.114	0.514	94.1	857005	128.88
101	8.42	38.1	4.34	0	0.115	0.515	94.3	868084	129.14
102	8.5	39	4.44	0	0.116	0.517	94.6	879164	129.45
103	8.58	39.7	4.54	0	0.117	0.518	94.7	890243	129.69
104	8.67	40.4	4.64	0	0.118	0.519	95	901322	129.98
105	8.75	41	4.73	0	0.118	0.52	95.1	912401	130.21
106	8.83	41.7	4.82	0	0.119	0.521	95.3	923481	130.44
107	8.92	42.4	4.92	0	0.12	0.522	95.5	934560	130.66
108	9	42.9	5	0	0.12	0.523	95.6	945639	130.88
109	9.08	43.5	5.09	0	0.12	0.523	95.8	957428	131.09
110	9.17	44	5.16	0	0.121	0.524	96	969216	131.3
111	9.25	44.7	5.26	0	0.121	0.525	96.1	981004	131.52
112	9.33	45.7	5.37	0	0.122	0.526	96.3	992793	131.78
113	9.42	46.6	5.49	0	0.123	0.528	96.6	1004580	132.09
114	9.5	47.6	5.61	0	0.124	0.529	96.8	1016370	132.4
115	9.58	48.4	5.72	0	0.125	0.53	97	1028160	132.63
116	9.67	49.2	5.85	0	0.126	0.531	97.2	1039950	132.93
117	9.75	49.9	5.94	0	0.126	0.532	97.4	1051730	133.15
118	9.83	50.7	6.05	0	0.127	0.533	97.5	1063520	133.39
119	9.92	51.4	6.16	0	0.127	0.534	97.7	1075310	133.62
120	10	52.1	6.26	0	0.128	0.535	97.9	1087100	133.83

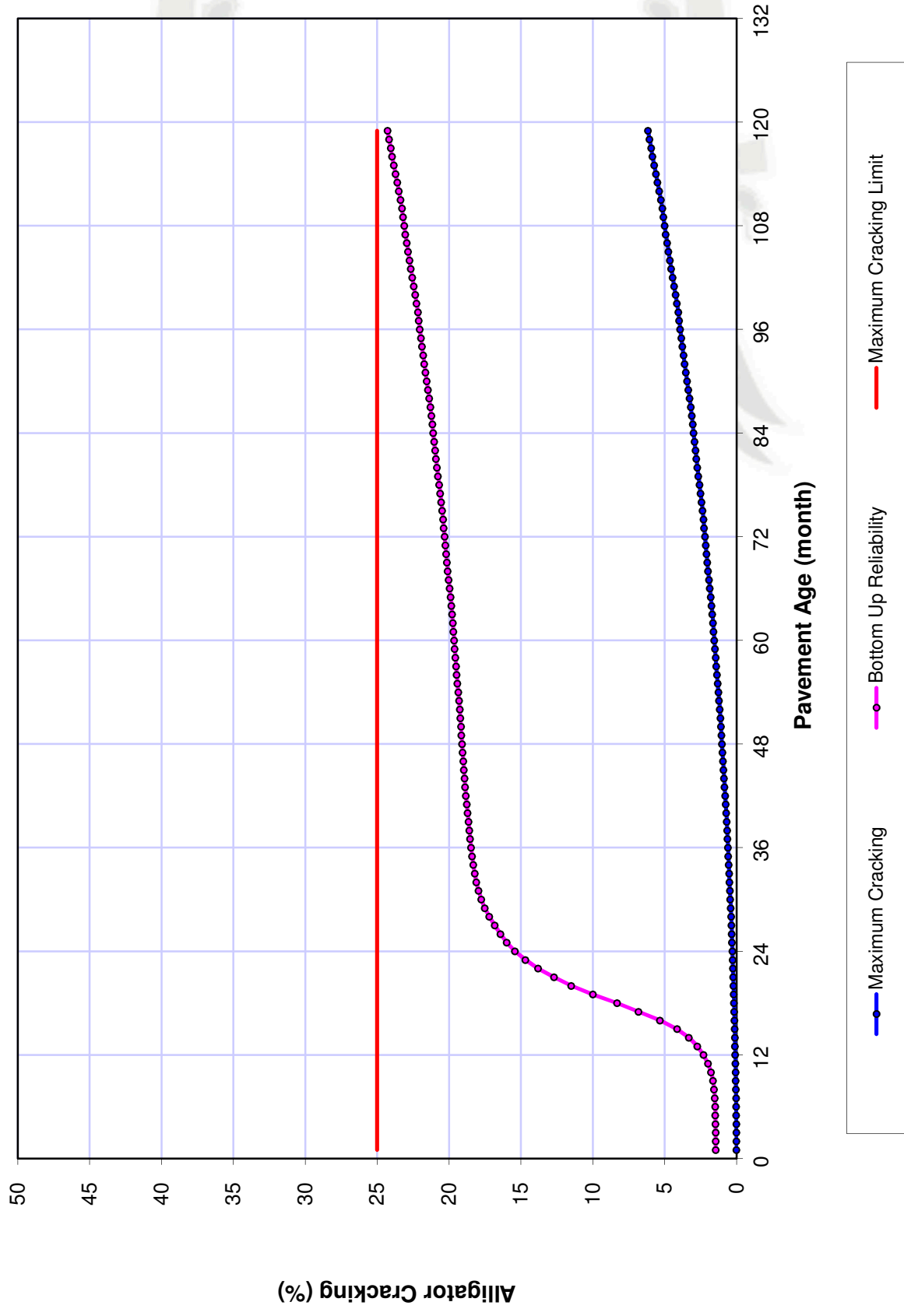
Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



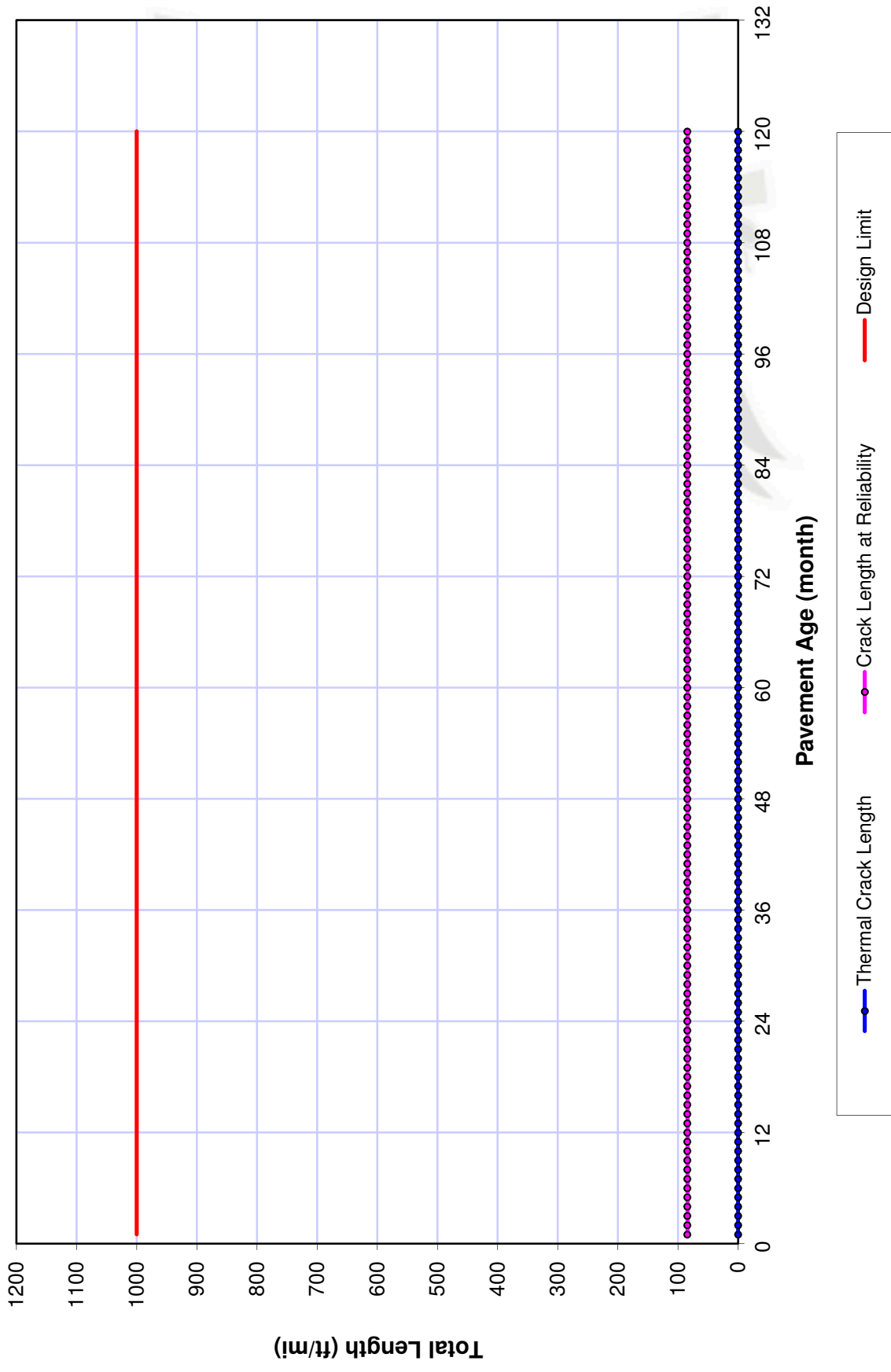
# Surface Down Cracking - Longitudinal



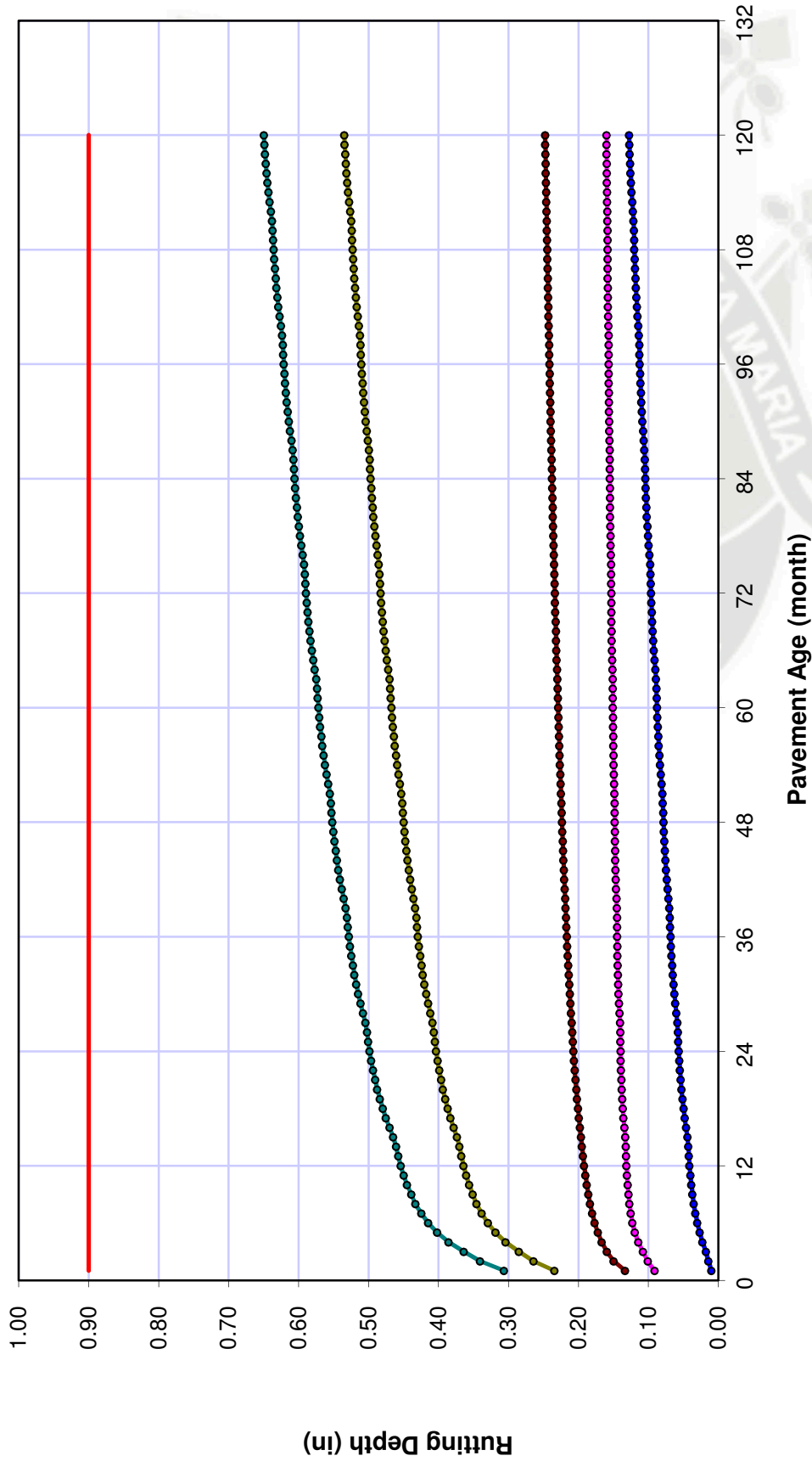
# Bottom Up Cracking - Alligator



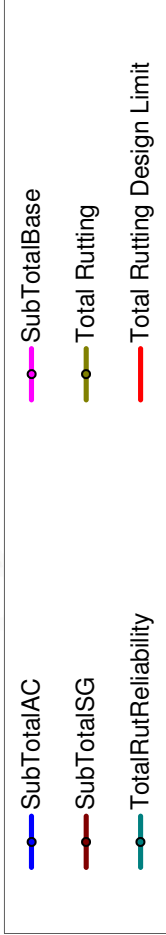
# Thermal Cracking: Total Length Vs Time



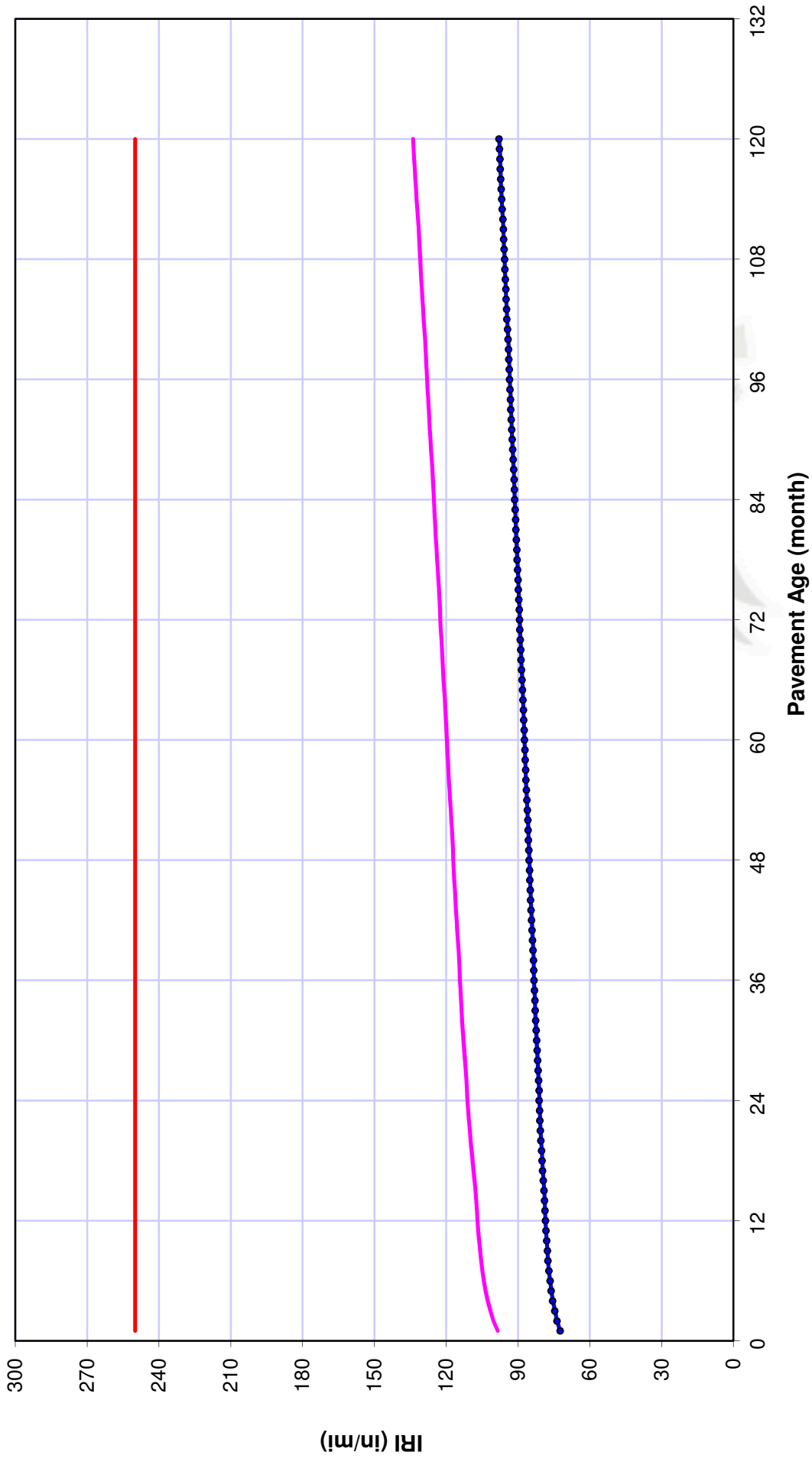
# Permanent Deformation: Rutting

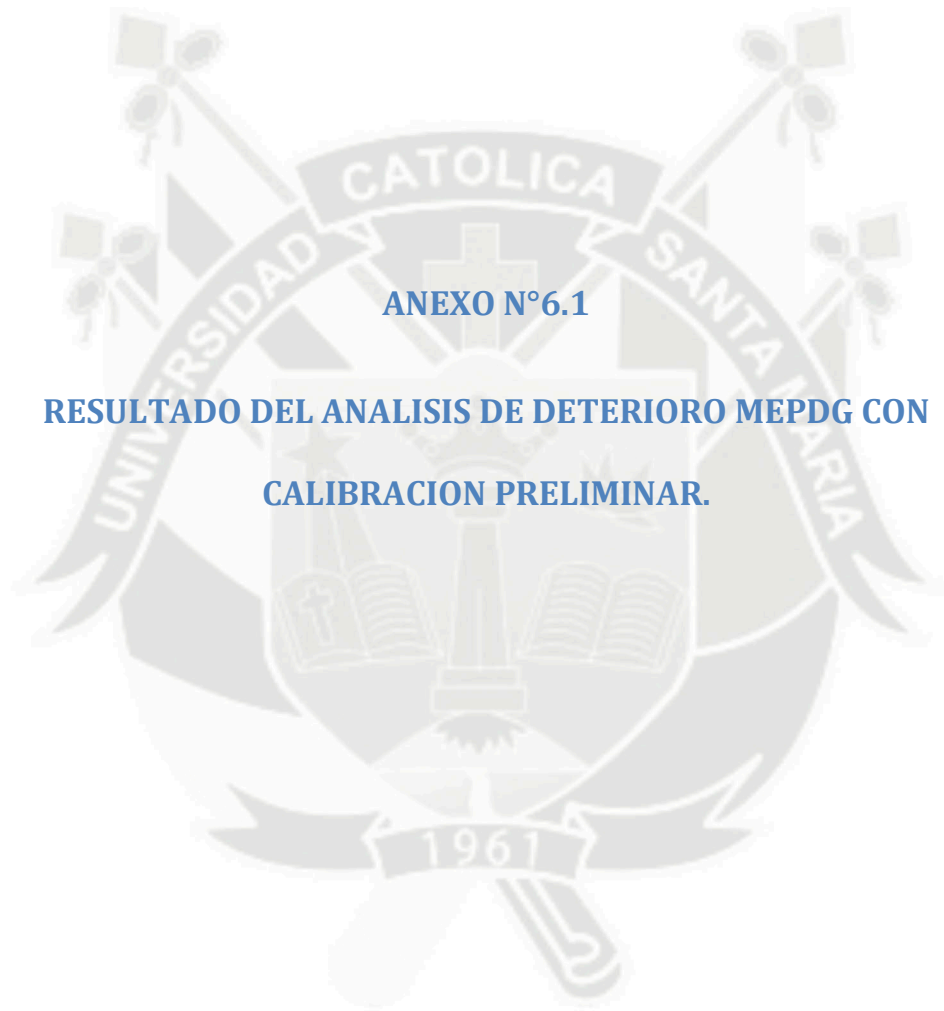


AC Rutting Design Value = 0.5  
Total Rutting Design Limit = 0.9



IRI





**ANEXO N°6.1**

**RESULTADO DEL ANALISIS DE DETERIORO MEPDG CON  
CALIBRACION PRELIMINAR.**



## Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution )

### AADTT distribution by vehicle class

Class 4	11.5%
Class 5	44.8%
Class 6	33.9%
Class 7	2.2%
Class 8	1.1%
Class 9	2.2%
Class 10	1.4%
Class 11	2.2%
Class 12	0.7%
Class 13	0.0%

## Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

## Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

## Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 1: Site Specific

### Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

## Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

## Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

### Axle Configuration

Tire Pressure (psi) : 120

### Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

## Climate

icm file:

B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm

Latitude (degrees.minutes) -16.37  
 Longitude (degrees.minutes) -71.56  
 Elevation (ft) 8003  
 Depth of water table (ft) 10

### Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.  
 HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients  
 Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

### Structure--Layers

#### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete  
 Layer thickness (in): 2

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F °): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 6.38  
 Air voids (%): 5.66  
 Total unit weight (pcf): 144.84

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

#### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F °): 0.67  
 Heat capacity asphalt (BTU/lb-F °): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 0  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 27.69  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 47.26  
 % Passing #200 sieve: 3.58

#### Asphalt Binder

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade Pen 85-100  
 A 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

#### Thermal Cracking Properties

Average Tensile Strength at 14°F: 444  
 Mixture VMA (%): 12.04  
 Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
 Mix coeff. thermal contraction (in./in./°F): 0.0000055

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	2.83E-07	4.14E-07	5.31E-07
2	2.96E-07	4.21E-07	6.21E-07
5	3.31E-07	5.24E-07	7.79E-07
10	3.38E-07	5.86E-07	8.76E-07
20	3.65E-07	6.48E-07	1.05E-06
50	3.79E-07	8E-07	1.36E-06
100	4E-07	9.1E-07	1.7E-06

#### Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a

Thickness(in): 7.87

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35  
Coefficient of lateral pressure,Ko: 0.5  
Modulus (input) (psi): 24132

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
Liquid Limit (LL) 0  
Compacted Layer Yes  
Passing #200 sieve (%): 6.7  
Passing #40 20.6  
Passing #4 sieve (%): 51  
D10(mm) 0.1265  
D20(mm) 0.3951  
D30(mm) 0.9776  
D60(mm) 8.094  
D90(mm) 38.87

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	6.74
#100	11.06
#80	12.52
#60	
#50	17.7
#40	20.61
#30	23.67
#20	
#16	32.44
#10	38.75
#8	40.93
#4	51.05
3/8"	62.69
1/2"	67.98
3/4"	75.46
1"	80.24
1 1/2"	88.57
2"	100
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 135.2 (derived)  
Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.03581 (derived)  
Optimum gravimetric water content (%): 6.4 (derived)  
Calculated degree of saturation (%): 69.8 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	6.4278
b	1.5225
c	0.82105
Hr.	100

**Layer 3 -- A-1-b**

Unbound Material: A-1-b  
Thickness(in): Semi-infinite

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index  
 Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40: 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm): 0.0528  
 D20(mm): 0.2045  
 D30(mm): 0.3747  
 D60(mm): 4.369  
 D90(mm): 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.6015
b	0.85447
c	1.0344
Hr.	100

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

**AC Fatigue** Level 4 (Regionally calibrated values)  
 k1 0.007566

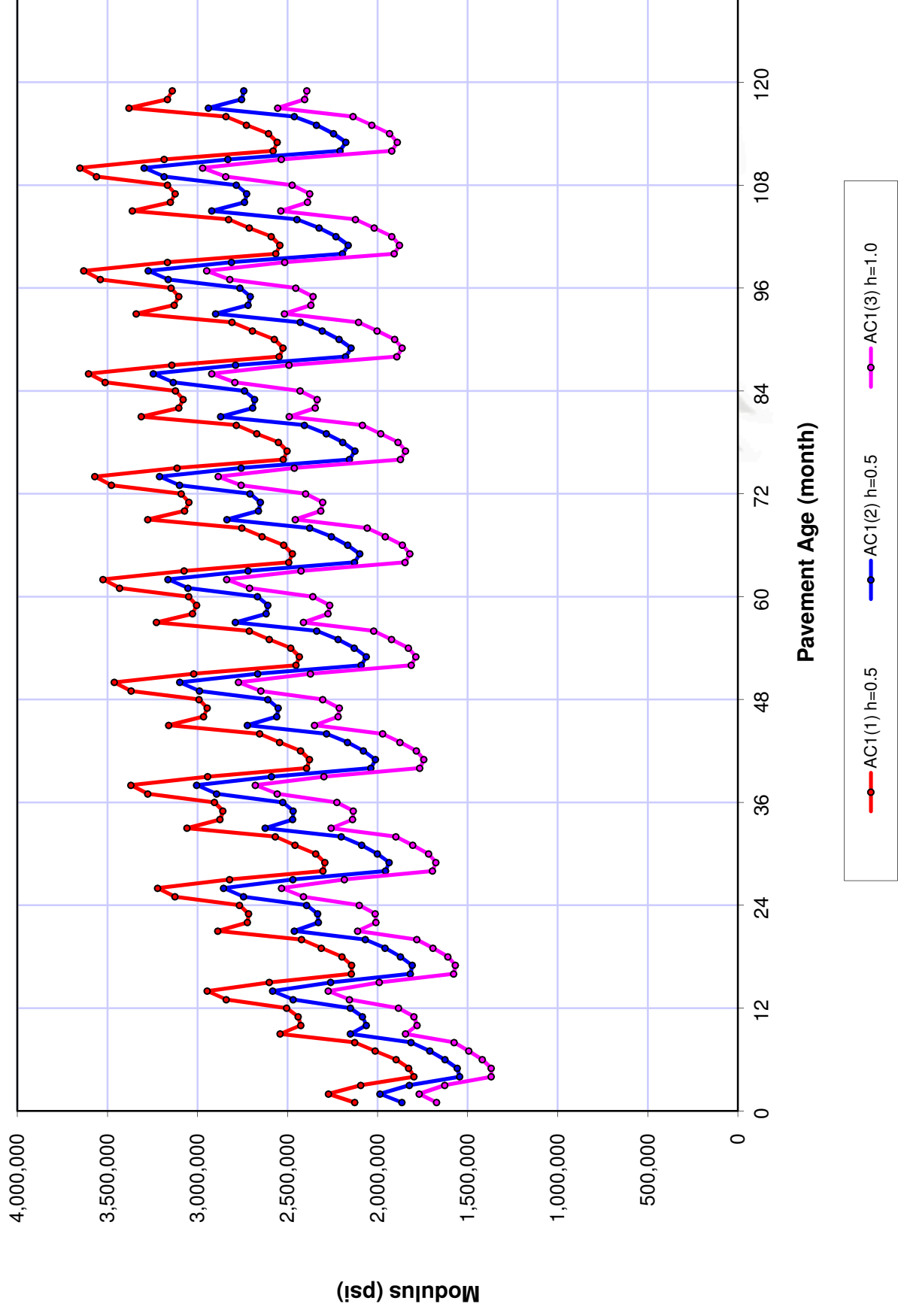
Bf1	1
k2	3.9492
Bf2	0.95
k3	1.281
Bf3	1
<b>AC Rutting</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	-3.35412
Br1	1
k2	1.5606
Br2	1
k3	0.4791
Br3	1
Standard Deviation Total	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
Rutting (RUT):	
<b>Thermal Fracture</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	1.5
Bt1	1
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 1$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

## Predicted distress: Analisis de deterioro calibracion preliminar

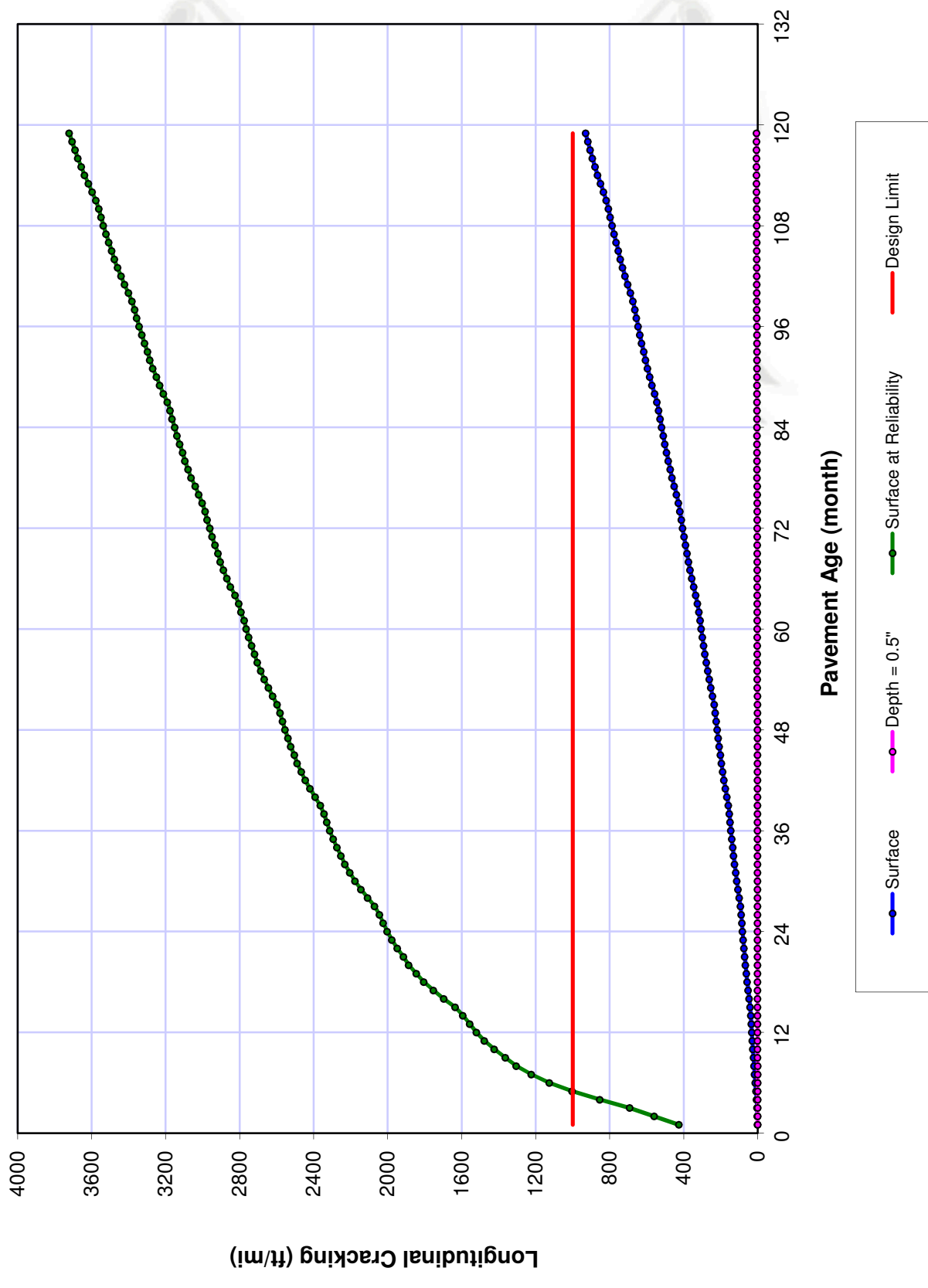
Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr								
1	0.08	0.59	0.0175	0	0.01	0.234	72.7	6745	98.88
2	0.17	1.62	0.0598	0.4	0.014	0.264	74.2	13490	101
3	0.25	3.16	0.126	0.9	0.018	0.285	75.4	20235	102.68
4	0.33	5.82	0.221	1.1	0.023	0.304	76.5	26980	104.6
5	0.42	9.21	0.342	1.2	0.027	0.318	77.5	33725	106.28
6	0.5	12.8	0.482	1.4	0.03	0.33	78.3	40470	107.51
7	0.58	16.3	0.643	1.5	0.033	0.338	79	47215	108.54
8	0.67	19.9	0.826	1.5	0.035	0.346	79.7	53960	109.48
9	0.75	22.6	1	1.6	0.037	0.351	80.2	60705	110.23
10	0.83	25.9	1.2	1.8	0.039	0.356	80.8	67450	110.98
11	0.92	29	1.4	2.2	0.04	0.36	81.3	74194	111.69
12	1	31.8	1.62	2.8	0.041	0.364	81.8	80939	112.33
13	1.08	34.3	1.83	4.1	0.042	0.367	82.3	88116	112.97
14	1.17	36.9	2.05	7.2	0.043	0.37	82.7	95293	113.57
15	1.25	40.3	2.31	9.7	0.044	0.374	83.2	102469	114.25
16	1.33	45.6	2.61	10.5	0.046	0.378	83.8	109646	115.03
17	1.42	51	2.92	11.1	0.048	0.383	84.3	116823	115.8
18	1.5	56.3	3.24	11.6	0.05	0.387	84.9	123999	116.54
19	1.58	61.1	3.57	12	0.051	0.39	85.4	131176	117.25
20	1.67	66	3.93	12.2	0.053	0.394	85.9	138352	117.96
21	1.75	69.7	4.26	14.8	0.054	0.396	86.3	145529	118.53
22	1.83	74.2	4.6	21.4	0.055	0.399	86.9	152706	119.27
23	1.92	78.3	4.95	26.1	0.056	0.401	87.4	159882	119.91
24	2	82.1	5.3	27.4	0.057	0.403	87.8	167059	120.5
25	2.08	85.5	5.63	28.3	0.057	0.405	88.2	174695	121.01
26	2.17	88.9	5.97	29.3	0.058	0.407	88.6	182331	121.52
27	2.25	93.3	6.34	30.2	0.059	0.409	89	189967	122.1
28	2.33	99.9	6.78	30.4	0.06	0.412	89.5	197603	122.79
29	2.42	107	7.23	31.2	0.061	0.415	90	205239	123.48
30	2.5	113	7.7	32.2	0.063	0.418	90.6	212875	124.22
31	2.58	119	8.17	34	0.064	0.42	91.1	220510	124.88
32	2.67	125	8.65	37.3	0.065	0.422	91.6	228146	125.57
33	2.75	130	9.07	42.4	0.066	0.424	92.1	235782	126.18
34	2.83	135	9.53	54.5	0.067	0.426	92.6	243418	126.88
35	2.92	140	9.99	62.6	0.068	0.428	93.1	251054	127.58
36	3	145	10.4	64.9	0.068	0.429	93.5	258690	128.15
37	3.08	149	10.8	66.4	0.069	0.43	93.9	266815	128.64
38	3.17	153	11.3	68.2	0.069	0.432	94.3	274939	129.19
39	3.25	158	11.7	69.6	0.07	0.433	94.7	283064	129.76
40	3.33	166	12.3	70	0.071	0.436	95.3	291189	130.46
41	3.42	174	12.9	77.6	0.072	0.438	95.8	299313	131.19
42	3.5	182	13.4	94.8	0.074	0.44	96.5	307438	132.07
43	3.58	189	14	106	0.075	0.442	97.1	315563	132.86
44	3.67	196	14.6	110	0.076	0.444	97.6	323687	133.52
45	3.75	201	15.1	112	0.076	0.446	98	331812	134.08
46	3.83	208	15.6	114	0.077	0.447	98.5	339936	134.71
47	3.92	213	16.1	116	0.078	0.449	99	348061	135.32
48	4	219	16.6	117	0.078	0.45	99.4	356186	135.86
49	4.08	224	17.1	119	0.079	0.451	99.8	364830	136.4
50	4.17	229	17.6	121	0.079	0.452	100.2	373475	136.94
51	4.25	235	18.1	125	0.08	0.453	100.7	382119	137.57
52	4.33	244	18.7	132	0.081	0.455	101.3	390764	138.32
53	4.42	253	19.4	144	0.082	0.457	101.9	399409	139.12
54	4.5	262	20	169	0.083	0.459	102.6	408053	140.06
55	4.58	270	20.6	185	0.084	0.461	103.2	416698	140.89
56	4.67	278	21.3	190	0.085	0.462	103.8	425343	141.6
57	4.75	285	21.8	193	0.086	0.464	104.2	433987	142.21
58	4.83	292	22.4	197	0.086	0.465	104.7	442632	142.84
59	4.92	299	22.9	200	0.087	0.466	105.2	451276	143.44
60	5	305	23.5	200	0.088	0.467	105.7	459921	144.02
61	5.08	311	24	215	0.088	0.468	106.2	469119	144.69
62	5.17	318	24.5	247	0.088	0.469	106.8	478317	145.53
63	5.25	325	25.1	269	0.089	0.47	107.5	487515	146.38
64	5.33	335	25.7	274	0.09	0.472	108	496712	147.1
65	5.42	346	26.4	278	0.091	0.474	108.6	505910	147.86

Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr								
66	5.5	356	27.1	282	0.092	0.475	109.2	515108	148.61
67	5.58	365	27.7	286	0.093	0.477	109.7	524306	149.3
68	5.67	374	28.4	287	0.094	0.478	110.3	533504	150
69	5.75	382	28.9	290	0.094	0.479	110.8	542702	150.61
70	5.83	390	29.5	295	0.095	0.481	111.3	551900	151.28
71	5.92	398	30.1	301	0.096	0.482	111.8	561097	151.92
72	6	406	30.6	314	0.096	0.483	112.3	570295	152.61
73	6.08	413	31.2	334	0.097	0.483	112.9	580082	153.38
74	6.17	420	31.7	376	0.097	0.484	113.7	589868	154.32
75	6.25	428	32.3	403	0.097	0.485	114.4	599655	155.21
76	6.33	439	32.9	411	0.098	0.487	115	609441	155.99
77	6.42	451	33.6	416	0.099	0.489	115.6	619228	156.8
78	6.5	463	34.2	421	0.1	0.49	116.2	629014	157.55
79	6.58	473	34.9	426	0.101	0.492	116.8	638801	158.29
80	6.67	483	35.5	427	0.102	0.493	117.3	648587	158.99
81	6.75	492	36.1	450	0.103	0.494	118	658374	159.83
82	6.83	502	36.7	500	0.103	0.495	118.9	668161	160.97
83	6.92	510	37.2	532	0.104	0.496	119.6	677947	161.9
84	7	519	37.8	541	0.104	0.497	120.2	687734	162.6
85	7.08	527	38.3	546	0.105	0.498	120.7	698146	163.21
86	7.17	535	38.8	553	0.105	0.498	121.2	708559	163.82
87	7.25	544	39.3	559	0.106	0.499	121.7	718972	164.49
88	7.33	557	39.9	560	0.107	0.501	122.3	729385	165.25
89	7.42	571	40.6	565	0.108	0.502	122.9	739798	166.04
90	7.5	583	41.2	571	0.108	0.504	123.6	750211	166.84
91	7.58	595	41.9	580	0.109	0.505	124.2	760624	167.66
92	7.67	606	42.5	598	0.11	0.506	125	771036	168.58
93	7.75	616	43	627	0.111	0.507	125.7	781449	169.48
94	7.83	627	43.6	686	0.111	0.508	126.7	791862	170.73
95	7.92	637	44.1	722	0.112	0.509	127.5	802275	171.75
96	8	646	44.6	732	0.112	0.51	128.1	812688	172.46
97	8.08	655	45.1	738	0.113	0.511	128.6	823767	173.06
98	8.17	664	45.6	745	0.113	0.511	129	834846	173.68
99	8.25	674	46.1	752	0.113	0.512	129.6	845926	174.4
100	8.33	688	46.7	754	0.114	0.514	130.2	857005	175.15
101	8.42	703	47.3	784	0.115	0.515	131.1	868084	176.29
102	8.5	717	47.9	846	0.116	0.517	132.2	879164	177.64
103	8.58	730	48.5	884	0.117	0.518	133.2	890243	178.79
104	8.67	743	49.1	896	0.118	0.519	133.9	901322	179.67
105	8.75	753	49.6	902	0.118	0.52	134.4	912401	180.34
106	8.83	765	50.1	910	0.119	0.521	135	923481	181.03
107	8.92	776	50.6	917	0.12	0.522	135.5	934560	181.7
108	9	787	51.1	918	0.12	0.523	136	945639	182.31
109	9.08	797	51.5	923	0.12	0.523	136.5	957428	182.95
110	9.17	806	51.9	930	0.121	0.524	137.1	969216	183.61
111	9.25	818	52.4	941	0.121	0.525	138	981004	184.8
112	9.33	833	52.9	959	0.122	0.526	138.7	992793	185.61
113	9.42	849	53.5	995	0.123	0.528	139.5	1004580	186.6
114	9.5	865	54.1	1060	0.124	0.529	140.9	1016370	188.34
115	9.58	879	54.6	1100	0.125	0.53	141.7	1028160	189.33
116	9.67	893	55.1	1110	0.126	0.531	142.3	1039950	190.06
117	9.75	905	55.6	1110	0.126	0.532	142.9	1051730	190.72
118	9.83	918	56.1	1120	0.127	0.533	143.8	1063520	191.89
119	9.92	930	56.5	1130	0.127	0.534	144.4	1075310	192.56
120	10	942	57	1130	0.128	0.535	144.9	1087100	193.16

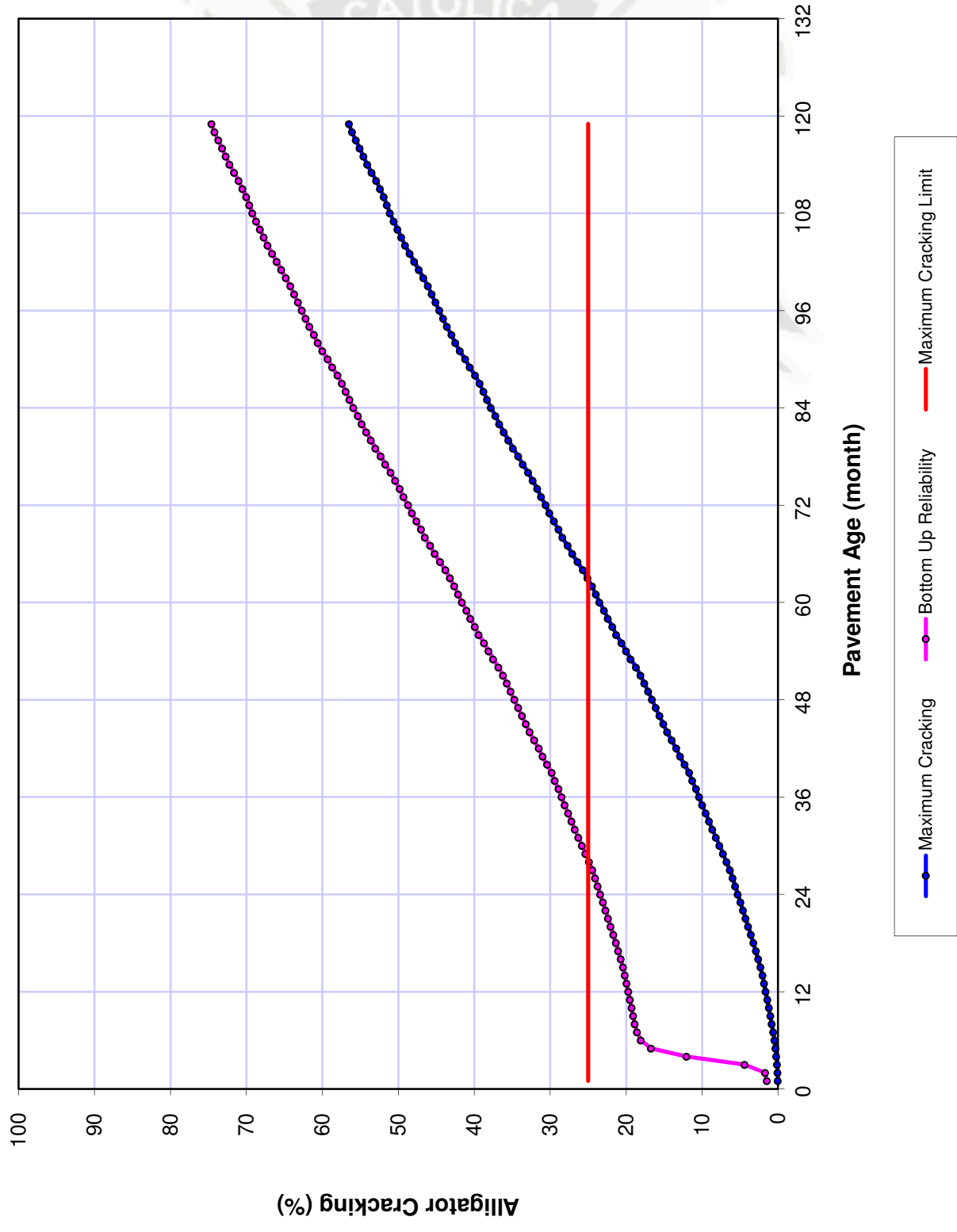
Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



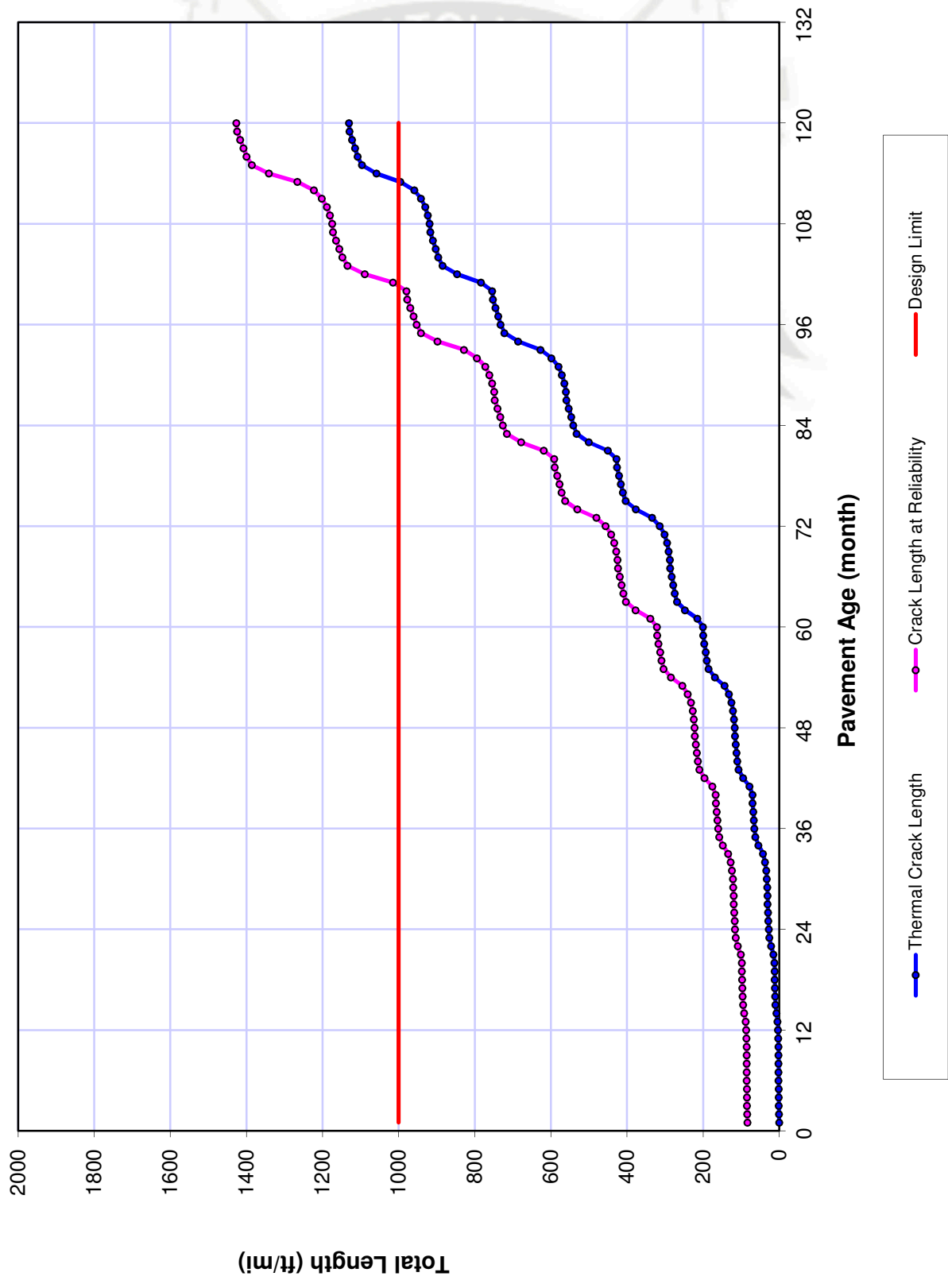
# Surface Down Cracking - Longitudinal



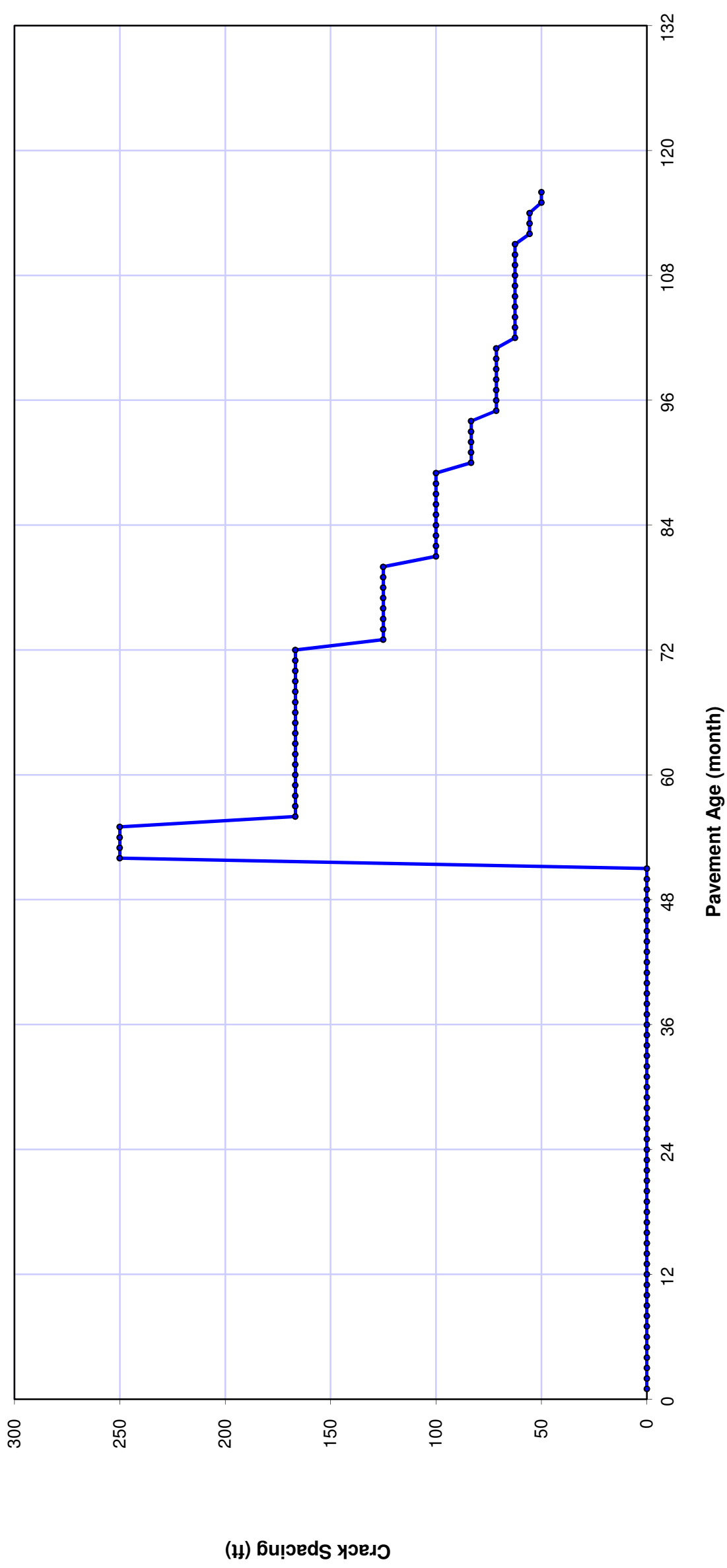
# Bottom Up Cracking - Alligator



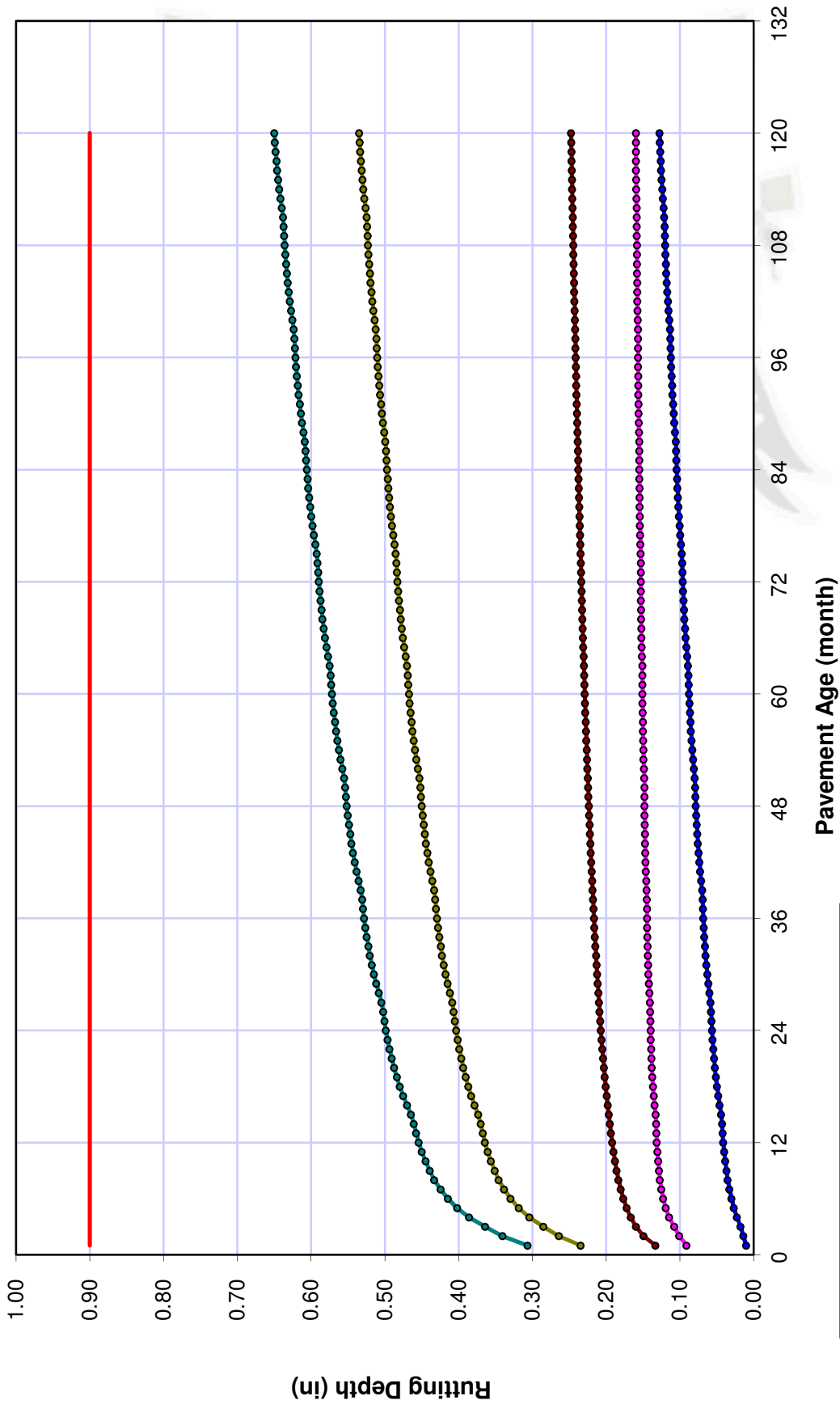
Thermal Cracking: Total Length Vs Time



# Transverse Crack Spacing

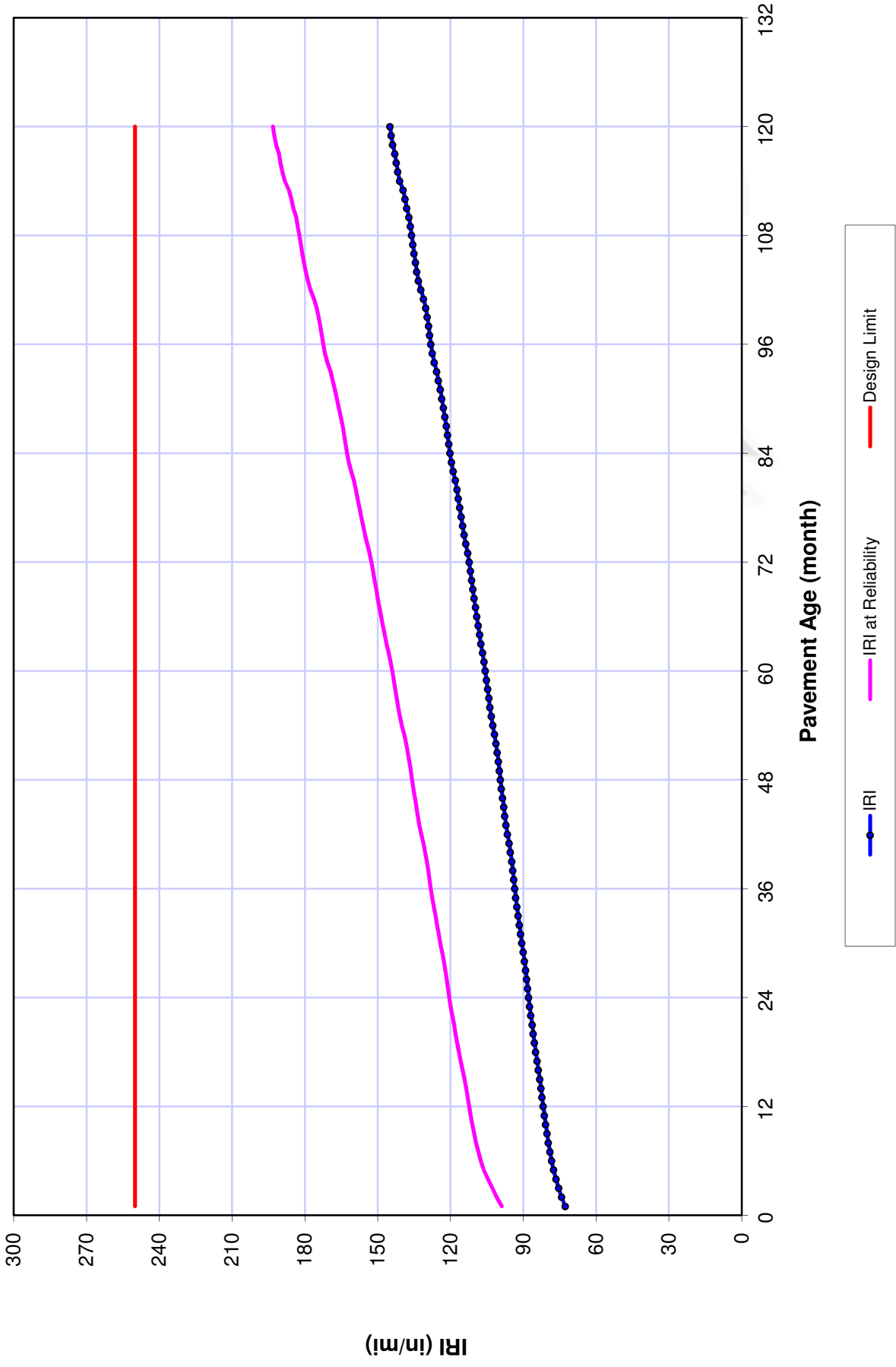


# Permanent Deformation: Rutting



AC Rutting Design Value = 0.5  
Total Rutting Design Limit = 0.9

IRI





**ANEXO N°6.2**

**PROPUESTA DE DISEÑO:**

**CARPETA: 2.5 PULG.**

**BASE: 8 PULG.**

**SUB BASE: 12 PULG.**



## Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution )

### AADTT distribution by vehicle class

Class 4	11.5%
Class 5	44.8%
Class 6	33.9%
Class 7	2.2%
Class 8	1.1%
Class 9	2.2%
Class 10	1.4%
Class 11	2.2%
Class 12	0.7%
Class 13	0.0%

## Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

## Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

## Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 1: Site Specific

### Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

## Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

## Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

### Axle Configuration

Tire Pressure (psi) :	120
-----------------------	-----

### Average Axle Spacing

Tandem axle(ksi):	51.6
Tridem axle(ksi):	49.2
Quad axle(ksi):	49.2

## Climate

icm file: B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm

Latitude (degrees.minutes) -16.37  
Longitude (degrees.minutes) -71.56  
Elevation (ft) 8003  
Depth of water table (ft) 10

## Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.  
HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients  
Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

## Structure--Layers

### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete  
Layer thickness (in): 2.5

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F°): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 5.4  
Air voids (%): 4.5  
Total unit weight (pcf): 148.58

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

#### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 1.26  
Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 34.94  
Cumulative % Retained #4 sieve: 55.95  
% Passing #200 sieve: 5.52

#### Asphalt Binder

Option: Conventional penetration grade  
Viscosity Grade: Pen 85-100  
A: 10.8232 (correlated)  
VTS: -3.621 (correlated)

#### Thermal Cracking Properties

Average Tensile Strength at 14°F: 752.13  
Mixture VMA (%): 9.9  
Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
Mix coeff. thermal contraction (in./in./°F): 0.0000055

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	8.67E-08	1.6E-07	2.35E-07
2	9.39E-08	1.84E-07	2.95E-07
5	1.04E-07	2.22E-07	3.99E-07
10	1.13E-07	2.56E-07	5.02E-07
20	1.23E-07	2.96E-07	6.3E-07
50	1.36E-07	3.57E-07	8.52E-07
100	1.48E-07	4.11E-07	1.07E-06

### Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a

Thickness(in): 8

**Strength Properties**

Input Level: Level 3  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35  
Coefficient of lateral pressure,Ko: 0.5  
Modulus (input) (psi): 48685

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
Liquid Limit (LL) 0  
Compacted Layer Yes  
Passing #200 sieve (%): 8.7  
Passing #40 20  
Passing #4 sieve (%): 44.7  
D10(mm) 0.1035  
D20(mm) 0.425  
D30(mm) 1.306  
D60(mm) 10.82  
D90(mm) 46.19

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	8.7
#100	
#80	12.9
#60	
#50	
#40	20
#30	
#20	
#16	
#10	33.8
#8	
#4	44.7
3/8"	57.2
1/2"	63.1
3/4"	72.7
1"	78.8
1 1/2"	85.8
2"	91.6
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	97.6
4"	97.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 130.3 (derived)  
Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.05536 (derived)  
Optimum gravimetric water content (%): 6.3 (derived)  
Calculated degree of saturation (%): 58.2 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.3581
b	1.2528
c	0.80529
Hr.	100

**Layer 3 -- A-2-4**

Unbound Material: A-2-4  
Thickness(in): 12

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 27084

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL) 0  
 Compacted Layer Yes  
 Passing #200 sieve (%): 22.4  
 Passing #40 67.2  
 Passing #4 sieve (%): 87.2  
 D10(mm) 0.001921  
 D20(mm) 0.0369  
 D30(mm) 0.1115  
 D60(mm) 0.3476  
 D90(mm) 7.383

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	22.4
#100	
#80	42.3
#60	
#50	
#40	67.2
#30	
#20	
#16	
#10	82.5
#8	
#4	87.2
3/8"	91.6
1/2"	93.5
3/4"	95.9
1"	97.2
1 1/2"	98.5
2"	99
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	99.6
4"	99.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 122.5 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.001057 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 9.5 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 68.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	10.495
b	0.3
c	3.6918
Hr.	100

**Layer 4 -- A-1-b**

Unbound Material: A-1-b  
 Thickness(in): Semi-infinite

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40: 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm): 0.0528  
 D20(mm): 0.2045  
 D30(mm): 0.3747  
 D60(mm): 4.369  
 D90(mm): 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.6015
b	0.85447
c	1.0344
Hr.	100

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

**AC Fatigue** Level 4 (Regionally calibrated values)  
 k1 0.007566  
 Bf1 1

k2	3.9492
Bf2	0.95
k3	1.281
Bf3	1
<b>AC Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	-3.35412
k2	1.5606
k3	0.4791
Standard Deviation Total Rutting (RUT):	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
<b>Thermal Fracture</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	1.5
Bt1	1
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 1$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

**Project: Analisis propuesta de diseño AASHTO 93 carpeta 2.5" - base 8" - sub base 12"**  
**Reliability Summary**

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	250	90	98.2	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	2200	30.2	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	14.6	76.91	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	111.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.43	99.999	Pass

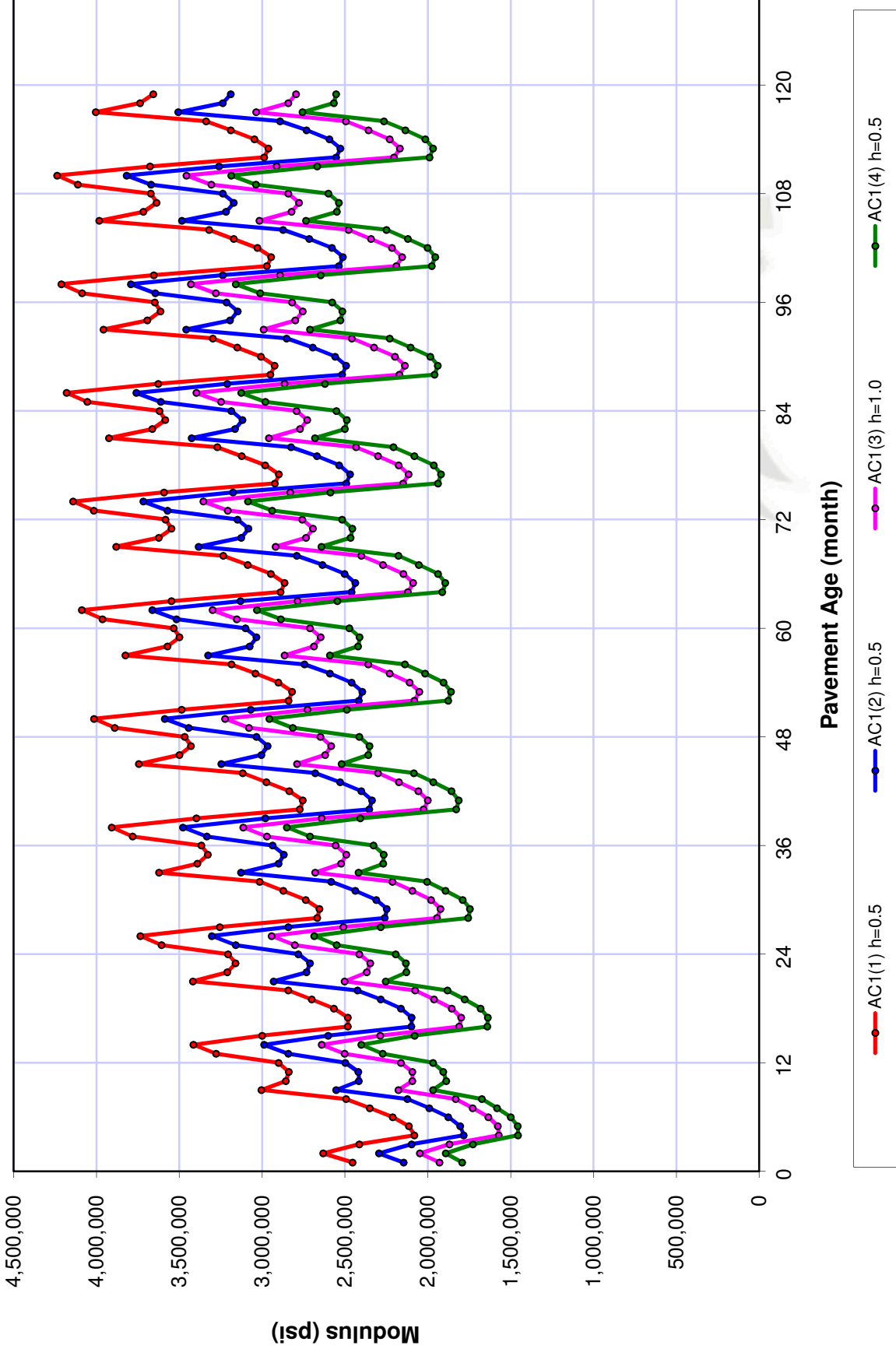


**Predicted distress: Analisis propuesta de diseño AASHTO 93 carpeta 2.5" - base 8" - sub base 12"**

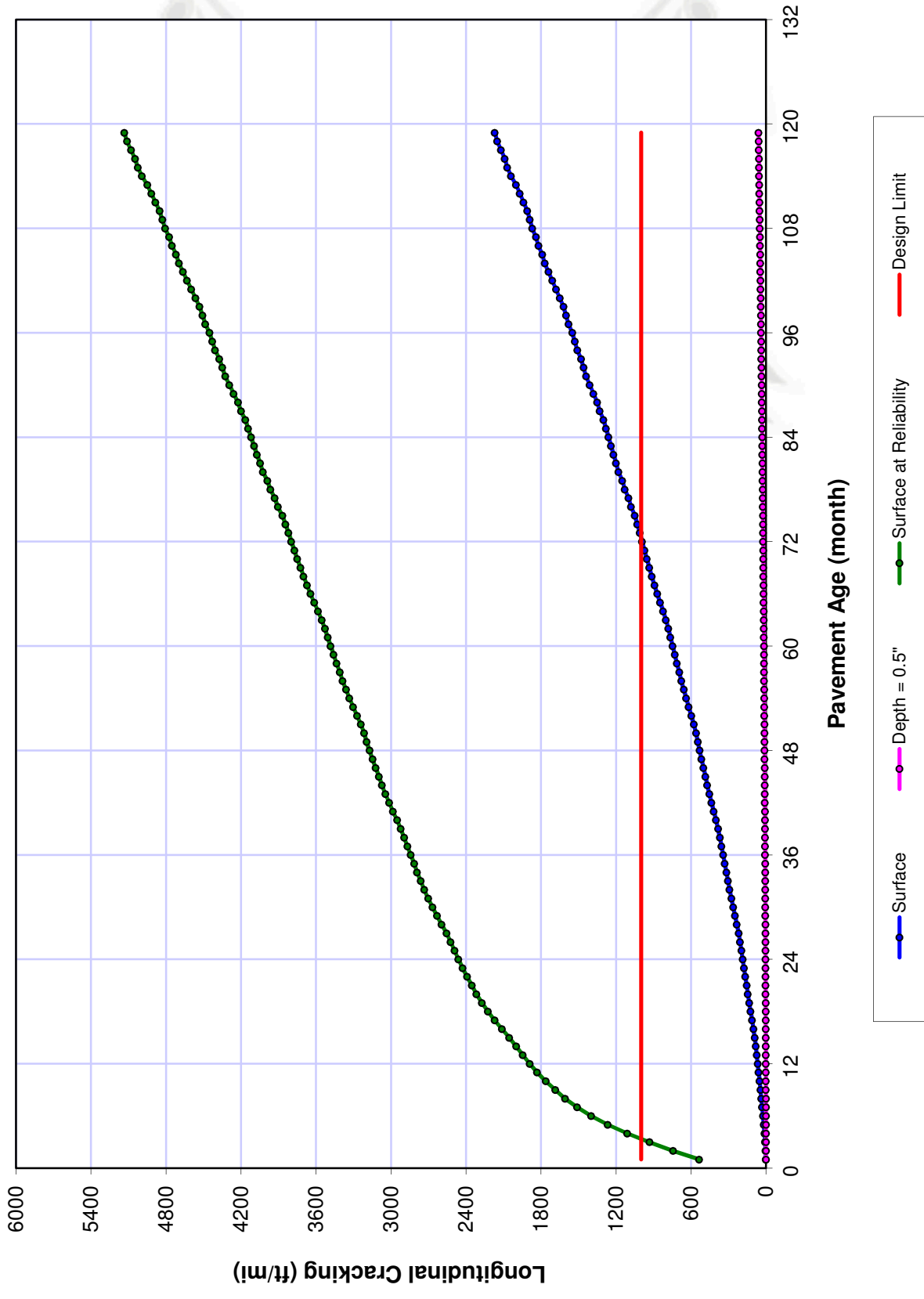
Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr									
1	0.08	December	1.4	0.0083	0	0.008	0.185	70.5	6745	95.78
2	0.17	January	3.91	0.0237	0	0.01	0.209	71.5	13490	97.24
3	0.25	February	7.48	0.0446	0.1	0.013	0.226	72.3	20235	98.31
4	0.33	March	12.4	0.072	0.1	0.017	0.241	73	26980	99.31
5	0.42	April	18.2	0.105	0.1	0.021	0.253	73.6	33725	100.14
6	0.5	May	24.5	0.141	0.1	0.023	0.262	74.1	40470	100.79
7	0.58	June	31.2	0.18	0.1	0.025	0.269	74.5	47215	101.33
8	0.67	July	38.1	0.222	0.1	0.027	0.275	74.8	53960	101.82
9	0.75	August	44.5	0.262	0.1	0.028	0.279	75.1	60705	102.19
10	0.83	September	51.9	0.307	0.2	0.03	0.283	75.3	67450	102.6
11	0.92	October	59.3	0.353	0.2	0.031	0.287	75.6	74194	102.97
12	1	November	66.6	0.4	0.2	0.032	0.29	75.8	80939	103.34
13	1.08	December	74	0.448	0.4	0.033	0.292	76	88116	103.71
14	1.17	January	81.6	0.496	0.7	0.033	0.294	76.2	95293	104.06
15	1.25	February	90.4	0.55	0.9	0.034	0.297	76.4	102469	104.49
16	1.33	March	101	0.61	1	0.036	0.301	76.7	109646	104.98
17	1.42	April	112	0.675	1.1	0.037	0.305	77	116823	105.47
18	1.5	May	124	0.741	1.1	0.039	0.308	77.2	123999	105.9
19	1.58	June	135	0.807	1.1	0.04	0.311	77.5	131176	106.26
20	1.67	July	146	0.875	1.1	0.041	0.313	77.7	138352	106.61
21	1.75	August	155	0.937	1.4	0.042	0.315	77.9	145529	106.89
22	1.83	September	166	1	2.1	0.043	0.318	78.1	152706	107.2
23	1.92	October	177	1.07	2.6	0.043	0.32	78.3	159882	107.49
24	2	November	187	1.14	2.8	0.044	0.321	78.4	167059	107.74
25	2.08	December	197	1.2	2.8	0.044	0.323	78.6	174695	107.97
26	2.17	January	208	1.27	2.9	0.045	0.324	78.8	182331	108.19
27	2.25	February	219	1.34	3	0.046	0.326	78.9	189967	108.45
28	2.33	March	234	1.43	3	0.047	0.328	79.2	197603	108.76
29	2.42	April	248	1.51	3	0.048	0.331	79.4	205239	109.09
30	2.5	May	263	1.6	3.1	0.049	0.333	79.6	212875	109.39
31	2.58	June	277	1.69	3.2	0.05	0.335	79.8	220510	109.67
32	2.67	July	292	1.78	3.5	0.051	0.337	80	228146	109.95
33	2.75	August	304	1.86	4.1	0.051	0.338	80.2	235782	110.19
34	2.83	September	317	1.94	5.2	0.052	0.34	80.4	243418	110.47
35	2.92	October	330	2.03	6.1	0.053	0.341	80.6	251054	110.71
36	3	November	343	2.11	6.4	0.053	0.342	80.8	258690	110.94
37	3.08	December	356	2.19	6.5	0.054	0.343	80.9	266815	111.16
38	3.17	January	369	2.27	6.7	0.054	0.344	81.1	274939	111.36
39	3.25	February	383	2.36	6.7	0.054	0.345	81.2	283064	111.6
40	3.33	March	400	2.47	6.8	0.056	0.347	81.5	291189	111.9
41	3.42	April	418	2.58	7.6	0.057	0.349	81.7	299313	112.21
42	3.5	May	436	2.68	9.2	0.058	0.351	81.9	307438	112.51
43	3.58	June	453	2.79	10.4	0.058	0.353	82.1	315563	112.8
44	3.67	July	470	2.9	10.8	0.059	0.354	82.3	323687	113.09
45	3.75	August	484	3	11	0.06	0.355	82.5	331812	113.31
46	3.83	September	500	3.1	11.2	0.06	0.357	82.7	339936	113.54
47	3.92	October	516	3.19	11.3	0.061	0.358	82.8	348061	113.76
48	4	November	531	3.3	11.3	0.061	0.359	83	356186	114.03
49	4.08	December	546	3.39	11.4	0.061	0.359	83.2	364830	114.23
50	4.17	January	560	3.48	11.6	0.062	0.36	83.3	373475	114.43
51	4.25	February	578	3.59	11.9	0.062	0.361	83.5	382119	114.65
52	4.33	March	598	3.72	12.5	0.063	0.363	83.7	390764	114.97
53	4.42	April	619	3.85	13.7	0.064	0.365	83.9	399409	115.29
54	4.5	May	639	3.97	16	0.065	0.366	84.1	408053	115.56
55	4.58	June	658	4.1	17.6	0.066	0.368	84.4	416698	115.87
56	4.67	July	678	4.23	18.2	0.066	0.369	84.6	425343	116.16
57	4.75	August	694	4.34	18.4	0.067	0.37	84.7	433987	116.38
58	4.83	September	713	4.45	18.7	0.067	0.371	84.9	442632	116.66
59	4.92	October	730	4.57	18.9	0.068	0.372	85.1	451276	116.88
60	5	November	747	4.69	18.9	0.068	0.373	85.3	459921	117.08
61	5.08	December	765	4.8	20.4	0.069	0.373	85.5	469119	117.36
62	5.17	January	781	4.9	23.3	0.069	0.374	85.6	478317	117.58
63	5.25	February	801	5.03	25.4	0.069	0.375	85.8	487515	117.82
64	5.33	March	823	5.17	26.1	0.07	0.377	86	496712	118.13

Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr									
65	5.42	April	847	5.32	26.3	0.071	0.378	86.3	505910	118.44
66	5.5	May	870	5.47	26.7	0.072	0.379	86.5	515108	118.74
67	5.58	June	892	5.61	26.9	0.072	0.381	86.7	524306	119.02
68	5.67	July	914	5.76	27	0.073	0.382	86.9	533504	119.3
69	5.75	August	933	5.89	27.1	0.074	0.383	87.1	542702	119.52
70	5.83	September	953	6.02	27.4	0.074	0.384	87.3	551900	119.8
71	5.92	October	972	6.15	27.9	0.075	0.384	87.4	561097	120.02
72	6	November	992	6.28	28.9	0.075	0.385	87.6	570295	120.29
73	6.08	December	1010	6.4	30.9	0.075	0.386	87.8	580082	120.51
74	6.17	January	1030	6.52	34.6	0.075	0.386	88	589868	120.75
75	6.25	February	1050	6.66	37.3	0.076	0.387	88.2	599655	121.04
76	6.33	March	1080	6.82	38.1	0.077	0.389	88.4	609441	121.36
77	6.42	April	1100	6.99	38.5	0.078	0.39	88.7	619228	121.66
78	6.5	May	1130	7.15	38.9	0.078	0.391	88.9	629014	121.96
79	6.58	June	1150	7.32	39.2	0.079	0.392	89.1	638801	122.24
80	6.67	July	1180	7.49	39.3	0.08	0.393	89.3	648587	122.52
81	6.75	August	1200	7.63	41.6	0.08	0.394	89.5	658374	122.81
82	6.83	September	1220	7.77	46.1	0.08	0.395	89.7	668161	123.08
83	6.92	October	1240	7.92	49.2	0.081	0.396	89.9	677947	123.38
84	7	November	1260	8.07	50.2	0.081	0.397	90.1	687734	123.66
85	7.08	December	1280	8.21	50.6	0.081	0.397	90.3	698146	123.86
86	7.17	January	1300	8.34	51.2	0.082	0.398	90.5	708559	124.07
87	7.25	February	1330	8.5	51.5	0.082	0.398	90.7	718972	124.34
88	7.33	March	1350	8.68	51.6	0.083	0.4	90.9	729385	124.64
89	7.42	April	1380	8.86	51.8	0.084	0.401	91.1	739798	124.99
90	7.5	May	1410	9.05	52.2	0.085	0.402	91.4	750211	125.29
91	7.58	June	1440	9.22	53	0.085	0.403	91.6	760624	125.58
92	7.67	July	1460	9.41	54.4	0.086	0.404	91.8	771036	125.87
93	7.75	August	1480	9.57	57.4	0.086	0.405	92	781449	126.17
94	7.83	September	1510	9.73	62.8	0.087	0.406	92.3	791862	126.5
95	7.92	October	1530	9.9	66.6	0.087	0.407	92.5	802275	126.81
96	8	November	1550	10.1	67.8	0.087	0.407	92.7	812688	127.04
97	8.08	December	1580	10.2	68.3	0.088	0.408	92.9	823767	127.29
98	8.17	January	1600	10.3	69	0.088	0.408	93	834846	127.5
99	8.25	February	1620	10.5	69.4	0.088	0.409	93.2	845926	127.77
100	8.33	March	1650	10.7	69.5	0.089	0.41	93.5	857005	128.12
101	8.42	April	1680	10.9	72.8	0.09	0.411	93.7	868084	128.46
102	8.5	May	1710	11.1	79	0.091	0.413	94.1	879164	128.87
103	8.58	June	1740	11.3	83.4	0.091	0.413	94.3	890243	129.19
104	8.67	July	1770	11.5	84.8	0.092	0.414	94.5	901322	129.49
105	8.75	August	1790	11.7	85.4	0.092	0.415	94.7	912401	129.76
106	8.83	September	1820	11.9	86.2	0.093	0.416	94.9	923481	130.04
107	8.92	October	1840	12	86.6	0.093	0.417	95.2	934560	130.32
108	9	November	1870	12.2	86.7	0.093	0.417	95.3	945639	130.58
109	9.08	December	1890	12.4	87.1	0.094	0.418	95.5	957428	130.84
110	9.17	January	1910	12.5	87.7	0.094	0.418	95.7	969216	131.1
111	9.25	February	1940	12.7	88.6	0.094	0.419	96	981004	131.38
112	9.33	March	1970	12.9	90.3	0.095	0.42	96.2	992793	131.69
113	9.42	April	2000	13.2	94.7	0.096	0.421	96.5	1004580	132.1
114	9.5	May	2040	13.4	102	0.096	0.422	96.8	1016370	132.52
115	9.58	June	2070	13.6	107	0.097	0.423	97.1	1028160	132.85
116	9.67	July	2090	13.8	109	0.098	0.424	97.3	1039950	133.2
117	9.75	August	2120	14	110	0.098	0.425	97.5	1051730	133.47
118	9.83	September	2150	14.2	110	0.099	0.426	97.8	1063520	133.76
119	9.92	October	2170	14.4	111	0.099	0.426	98	1075310	134.03
120	10	November	2200	14.6	111	0.099	0.427	98.2	1087100	134.3

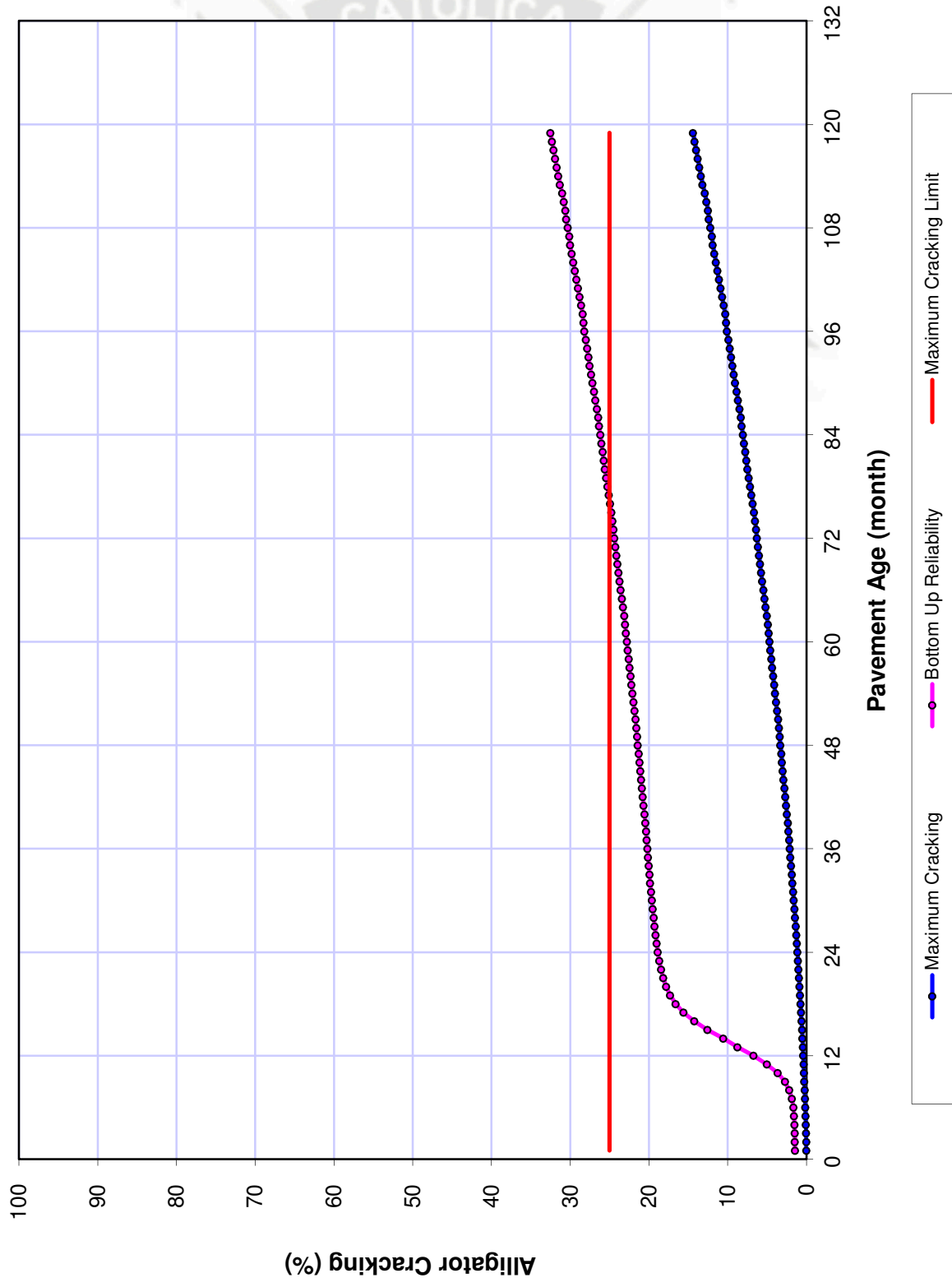
Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



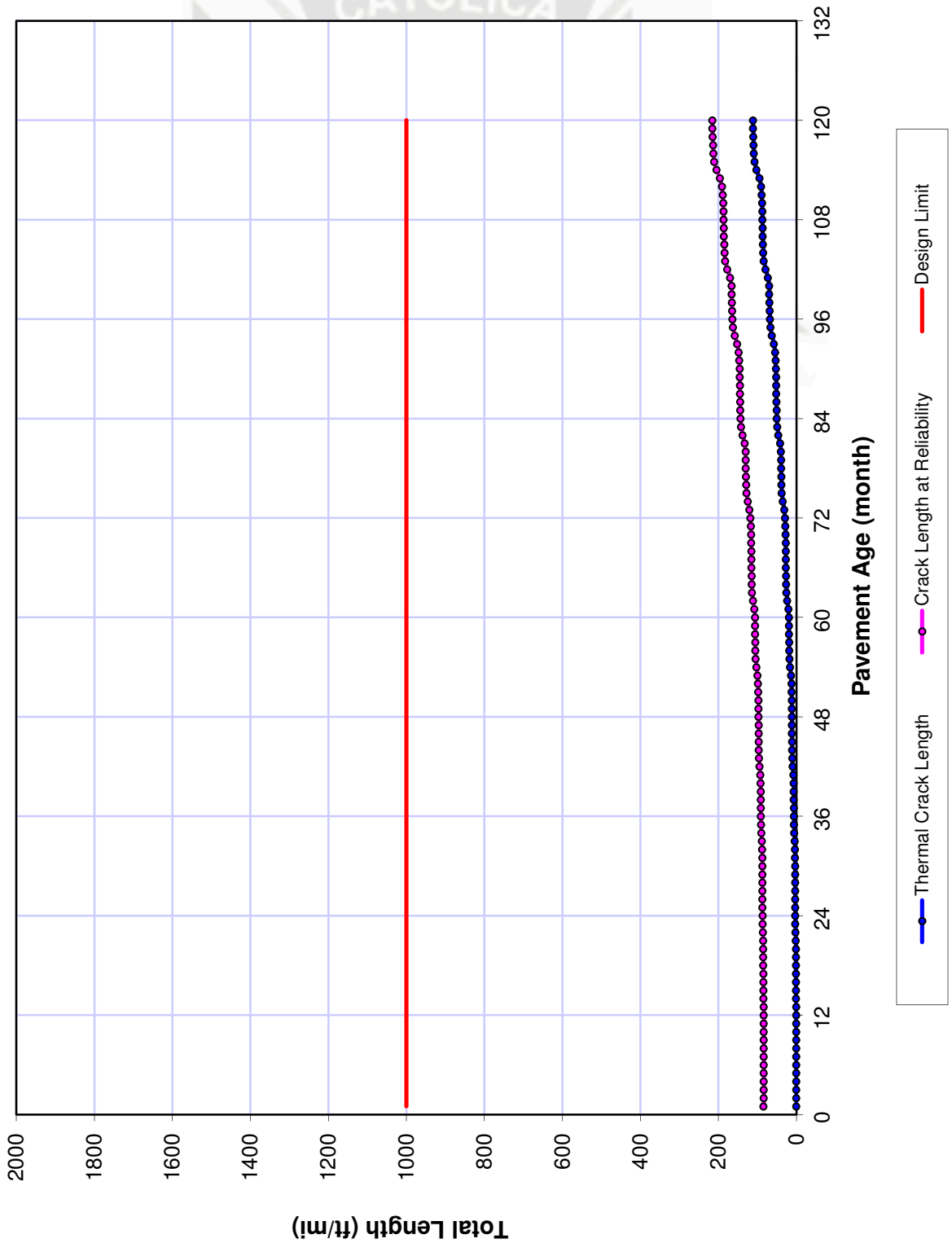
# Surface Down Cracking - Longitudinal



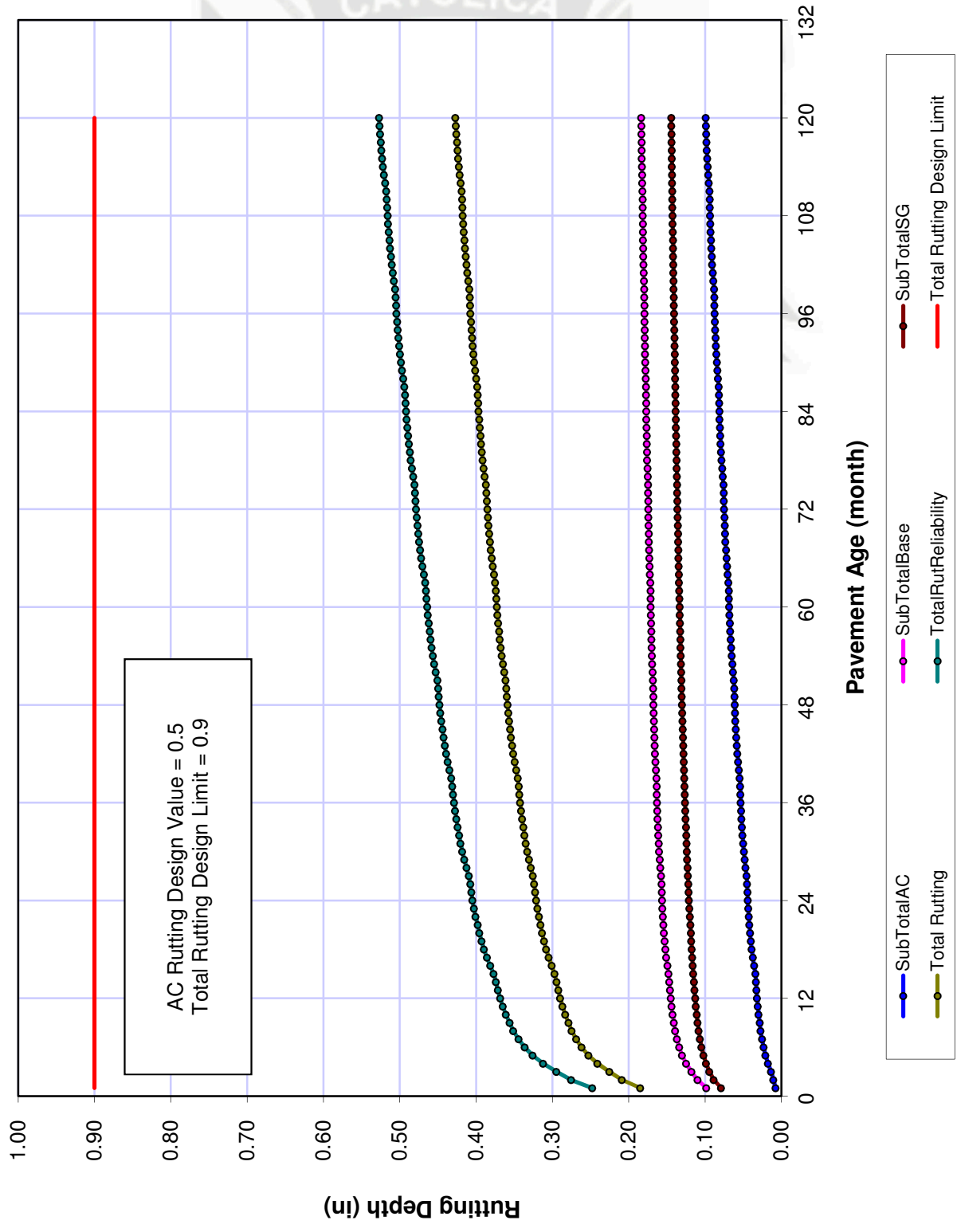
# Bottom Up Cracking - Alligator



Thermal Cracking: Total Length Vs Time



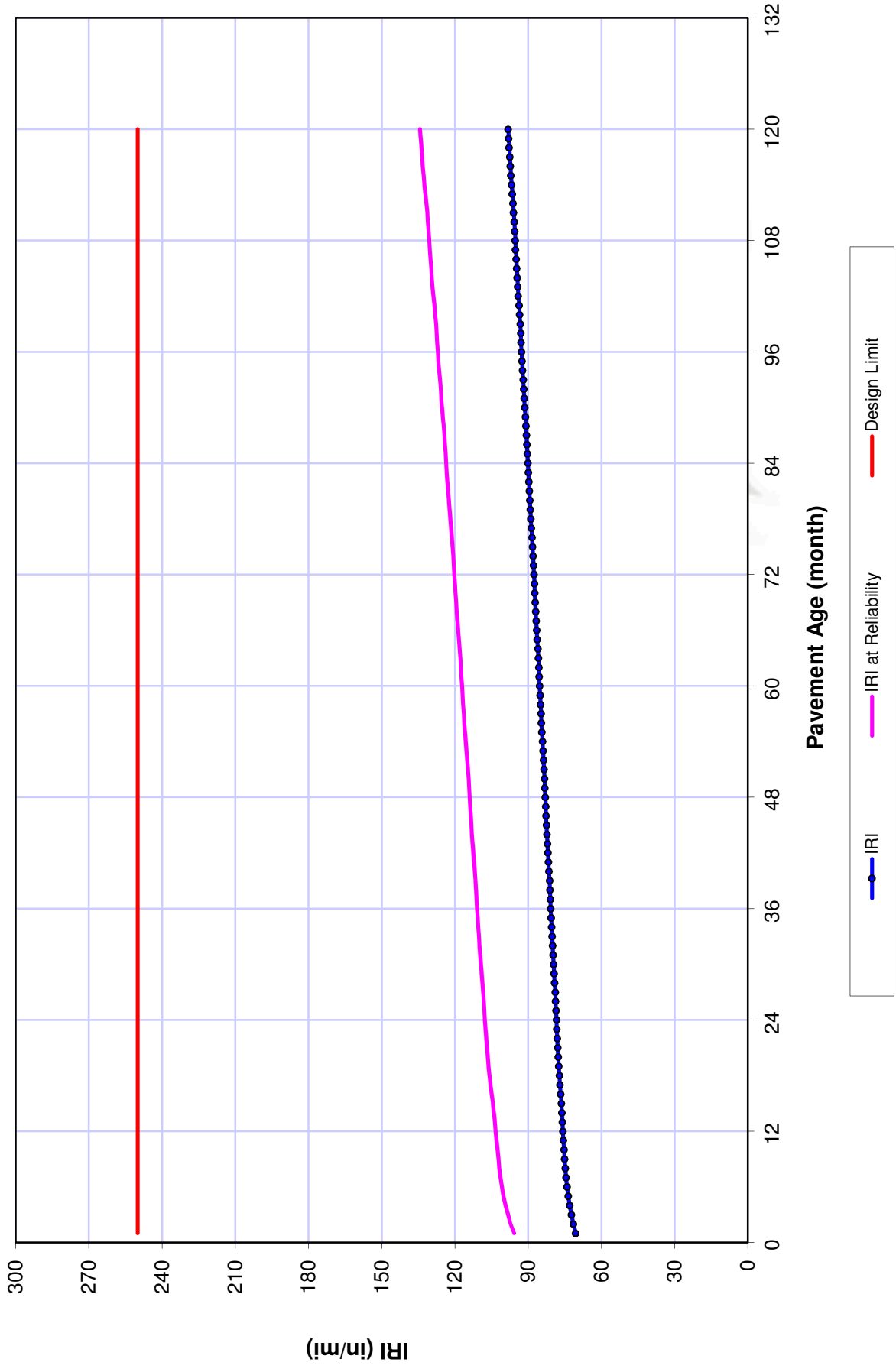
# Permanent Deformation: Rutting



AC Rutting Design Value = 0.5  
Total Rutting Design Limit = 0.9



IRI





**ANEXO N°6.3**

**RESULTADOS DE PROPUESTAS DE DISEÑO:**

– 2.5” - 10” - 12”

– 2.5” - 12” - 12”

– 2.0” - 8.0” - 12”

– 2.0” - 10” - 12”

– 2.0” - 12” - 12”

**Project: Analisis de deterioro carpeta 2.5", base 12", sub base 12"**  
**Reliability Summary**

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	250	90	95.3	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	1650	38.75	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	11.5	83.03	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	110.9	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.41	99.999	Pass



**Project: Analisis de deterioro carpeta 2"- base 8" - sub base 12"**

**Reliability Summary**

<b>Performance Criteria</b>	<b>Distress Target</b>	<b>Reliability Target</b>	<b>Distress Predicted</b>	<b>Reliability Predicted</b>	<b>Acceptable</b>
Terminal IRI (in/mi)	250	90	100.9	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	170	68.29	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	13.1	80.02	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	141.3	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.46	99.999	Pass



## Project: Analisis de deterioro carpeta 2", base 10", sub base 12"

### Reliability Summary

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	250	90	99.1	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	180	67.91	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	11.1	83.74	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	141.6	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.44	99.999	Pass



**Project: Analisis de deterioro carpeta 2", base 12", sub base 12"**  
**Reliability Summary**

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	250	90	97.8	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	205	67.03	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	10	85.58	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	140.8	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.09	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.43	99.999	Pass





**ANEXO N°6.4**

**PROPUESTA FINAL.**



## Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution )

### AADTT distribution by vehicle class

Class 4	11.5%
Class 5	44.8%
Class 6	33.9%
Class 7	2.2%
Class 8	1.1%
Class 9	2.2%
Class 10	1.4%
Class 11	2.2%
Class 12	0.7%
Class 13	0.0%

## Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

## Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

## Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 1: Site Specific

## Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

## Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

## Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

## Axle Configuration

Tire Pressure (psi) :	120
-----------------------	-----

## Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

## Climate

icm file: B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm

Latitude (degrees.minutes) -16.37  
 Longitude (degrees.minutes) -71.56  
 Elevation (ft) 8003  
 Depth of water table (ft) 10

## Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.  
 HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients  
 Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

## Structure--Layers

### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete  
 Layer thickness (in): 2

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F°): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 5.4  
 Air voids (%): 4.5  
 Total unit weight (pcf): 148.58

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

#### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
 Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 1.26  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 34.94  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 55.95  
 % Passing #200 sieve: 5.52

#### Asphalt Binder

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade Pen 85-100  
 A 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

#### Thermal Cracking Properties

Average Tensile Strength at 14°F: 752.13  
 Mixture VMA (%): 9.9  
 Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
 Mix coeff. thermal contraction (in./in./°F): 0.0000055

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	8.67E-08	1.6E-07	2.35E-07
2	9.39E-08	1.84E-07	2.95E-07
5	1.04E-07	2.22E-07	3.99E-07
10	1.13E-07	2.56E-07	5.02E-07
20	1.23E-07	2.96E-07	6.3E-07
50	1.36E-07	3.57E-07	8.52E-07
100	1.48E-07	4.11E-07	1.07E-06

### Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a  
 Thickness(in): 10

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 CBR: 100  
 Modulus (calculated) (psi): 48685

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL) 0  
 Compacted Layer Yes  
 Passing #200 sieve (%): 8.7  
 Passing #40 20  
 Passing #4 sieve (%): 44.7  
 D10(mm) 0.1035  
 D20(mm) 0.425  
 D30(mm) 1.306  
 D60(mm) 10.82  
 D90(mm) 46.19

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	8.7
#100	
#80	12.9
#60	
#50	
#40	20
#30	
#20	
#16	
#10	33.8
#8	
#4	44.7
3/8"	57.2
1/2"	63.1
3/4"	72.7
1"	78.8
1 1/2"	85.8
2"	91.6
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	97.6
4"	97.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 130.3 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.05536 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 6.3 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 58.2 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.3581
b	1.2528
c	0.80529
Hr.	100

**Layer 3 -- A-2-4**

Unbound Material: A-2-4

Thickness(in): 12

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
Poisson's ratio: 0.35  
Coefficient of lateral pressure,Ko: 0.5  
CBR: 40  
Modulus (calculated) (psi): 27084

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2  
Liquid Limit (LL) 14  
Compacted Layer No  
Passing #200 sieve (%): 22.4  
Passing #40 67.2  
Passing #4 sieve (%): 87.2  
D10(mm) 0.001921  
D20(mm) 0.0369  
D30(mm) 0.1115  
D60(mm) 0.3476  
D90(mm) 7.383

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	22.4
#100	
#80	42.3
#60	
#50	
#40	67.2
#30	
#20	
#16	
#10	82.5
#8	
#4	87.2
3/8"	91.6
1/2"	93.5
3/4"	95.9
1"	97.2
1 1/2"	98.5
2"	99
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	99.6
4"	99.6

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 124.0 (derived)  
Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.0005854 (derived)  
Optimum gravimetric water content (%): 9.0 (derived)  
Calculated degree of saturation (%): 67.5 (calculated)  
Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	9.5043
b	0.64386
c	3.0636
Hr.	189.6

**Layer 4 -- A-1-b**

Unbound Material: A-1-b  
Thickness(in): Semi-infinite

**Strength Properties**

Input Level: Level 2  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index  
 Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40: 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm): 0.0528  
 D20(mm): 0.2045  
 D30(mm): 0.3747  
 D60(mm): 4.369  
 D90(mm): 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	0
4"	0

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.6015
b	0.85447
c	1.0344
Hr.	100

**Distress Model Calibration Settings - Flexible**

AC Fatigue Level 4 (Regionally calibrated values)

k1	0.007566
Bf1	1
k2	3.9492
Bf2	0.95
k3	1.281
Bf3	1
<b>AC Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	-3.35412
k2	1.5606
k3	0.4791
Standard Deviation Total Rutting (RUT):	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
<b>Thermal Fracture</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	1.5
Bt1	1
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 1$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

## Project: Analisis de deterioro carpeta 2", base 10", sub base 12"

### Reliability Summary

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	250	90	99.1	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	1000	90	180	67.91	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	90	11.1	83.74	Fail
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	90	141.6	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.5	90	0.1	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.9	90	0.44	99.999	Pass



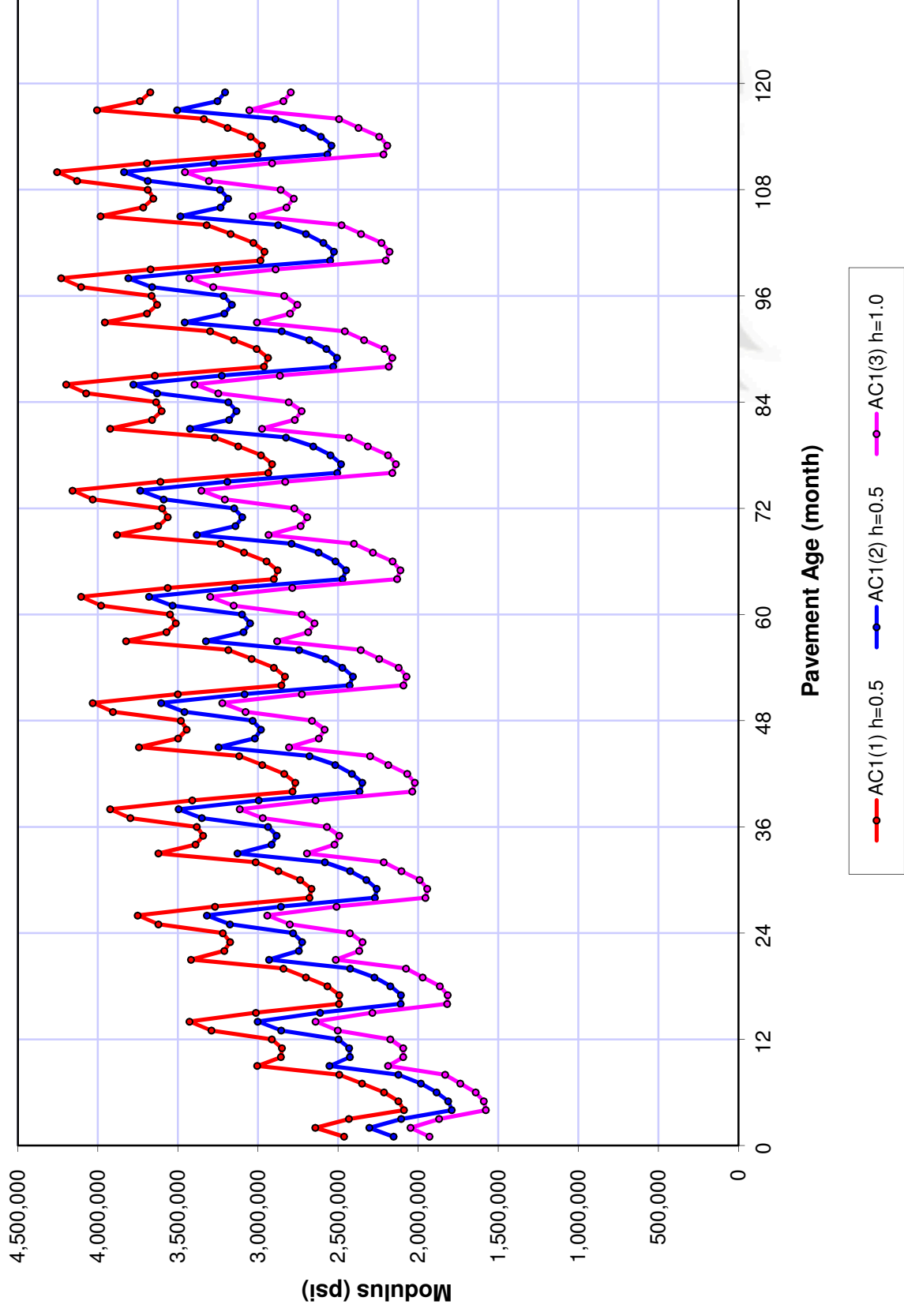
## Predicted distress: Project tesis 1

Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr									
1	0.08	December	0.1	0.0015	0	0.007	0.198	71	6745	96.49
2	0.17	January	0.26	0.0054	0.1	0.01	0.223	72.1	13490	98.04
3	0.25	February	0.54	0.0111	0.1	0.013	0.24	72.9	20235	99.13
4	0.33	March	1.1	0.0187	0.2	0.017	0.256	73.6	26980	100.11
5	0.42	April	1.79	0.0284	0.2	0.02	0.268	74.2	33725	100.92
6	0.5	May	2.52	0.0397	0.2	0.022	0.277	74.6	40470	101.56
7	0.58	June	3.2	0.053	0.2	0.024	0.284	75	47215	102.11
8	0.67	July	3.88	0.0681	0.2	0.026	0.29	75.4	53960	102.59
9	0.75	August	4.39	0.0837	0.2	0.027	0.294	75.6	60705	102.97
10	0.83	September	5.06	0.101	0.3	0.028	0.299	75.9	67450	103.37
11	0.92	October	5.64	0.119	0.3	0.029	0.302	76.2	74194	103.73
12	1	November	6.17	0.139	0.4	0.03	0.305	76.4	80939	104.08
13	1.08	December	6.61	0.16	0.6	0.031	0.308	76.6	88116	104.44
14	1.17	January	7.04	0.181	1	0.031	0.31	76.8	95293	104.8
15	1.25	February	7.68	0.206	1.4	0.032	0.313	77	102469	105.22
16	1.33	March	8.84	0.232	1.5	0.034	0.317	77.3	109646	105.72
17	1.42	April	10	0.261	1.6	0.035	0.321	77.6	116823	106.18
18	1.5	May	11.2	0.291	1.7	0.037	0.324	77.8	123999	106.62
19	1.58	June	12.2	0.322	1.7	0.038	0.327	78	131176	107
20	1.67	July	13.1	0.355	1.7	0.039	0.33	78.2	138352	107.35
21	1.75	August	13.7	0.387	2.1	0.04	0.332	78.4	145529	107.66
22	1.83	September	14.6	0.421	3.1	0.04	0.334	78.7	152706	107.97
23	1.92	October	15.4	0.455	3.8	0.041	0.336	78.8	159882	108.26
24	2	November	16	0.491	4	0.042	0.338	79	167059	108.52
25	2.08	December	16.6	0.527	4.2	0.042	0.339	79.2	174695	108.77
26	2.17	January	17.1	0.564	4.3	0.043	0.341	79.4	182331	109.01
27	2.25	February	17.9	0.604	4.3	0.043	0.342	79.6	189967	109.27
28	2.33	March	19.4	0.648	4.4	0.045	0.345	79.8	197603	109.58
29	2.42	April	20.9	0.694	4.4	0.046	0.347	80	205239	109.89
30	2.5	May	22.3	0.741	4.5	0.047	0.35	80.2	212875	110.19
31	2.58	June	23.4	0.79	4.7	0.048	0.351	80.4	220510	110.46
32	2.67	July	24.6	0.839	5.1	0.048	0.353	80.6	228146	110.74
33	2.75	August	25.3	0.886	5.9	0.049	0.355	80.8	235782	110.98
34	2.83	September	26.4	0.936	7.5	0.05	0.356	81	243418	111.26
35	2.92	October	27.2	0.987	8.7	0.05	0.358	81.2	251054	111.52
36	3	November	28	1.04	9.1	0.051	0.359	81.4	258690	111.76
37	3.08	December	28.7	1.09	9.3	0.051	0.36	81.5	266815	111.98
38	3.17	January	29.3	1.14	9.5	0.051	0.361	81.7	274939	112.2
39	3.25	February	30.2	1.2	9.6	0.052	0.362	81.9	283064	112.44
40	3.33	March	32	1.26	9.6	0.053	0.364	82.1	291189	112.73
41	3.42	April	33.8	1.32	10.7	0.054	0.366	82.3	299313	113.03
42	3.5	May	35.4	1.39	13	0.055	0.368	82.5	307438	113.34
43	3.58	June	36.8	1.45	14.6	0.055	0.37	82.7	315563	113.61
44	3.67	July	38.1	1.52	15.1	0.056	0.371	82.9	323687	113.89
45	3.75	August	39	1.59	15.4	0.057	0.372	83.1	331812	114.11
46	3.83	September	40.2	1.65	15.7	0.057	0.374	83.3	339936	114.4
47	3.92	October	41.2	1.72	15.8	0.058	0.375	83.5	348061	114.62
48	4	November	42.2	1.79	15.8	0.058	0.376	83.6	356186	114.83
49	4.08	December	42.9	1.85	16	0.059	0.377	83.8	364830	115.1
50	4.17	January	43.6	1.92	16.2	0.059	0.377	84	373475	115.3
51	4.25	February	44.7	1.99	16.6	0.059	0.379	84.1	382119	115.52
52	4.33	March	46.8	2.07	17.4	0.06	0.38	84.4	390764	115.84
53	4.42	April	48.8	2.16	19	0.061	0.382	84.6	399409	116.11
54	4.5	May	50.7	2.24	22.1	0.062	0.383	84.8	408053	116.44
55	4.58	June	52.3	2.33	24.3	0.063	0.385	85	416698	116.75
56	4.67	July	53.8	2.41	25	0.063	0.386	85.2	425343	116.98
57	4.75	August	54.9	2.5	25.3	0.064	0.387	85.4	433987	117.26
58	4.83	September	56.3	2.58	25.7	0.064	0.388	85.6	442632	117.49
59	4.92	October	57.4	2.66	25.9	0.065	0.389	85.8	451276	117.76
60	5	November	58.5	2.75	25.9	0.065	0.39	85.9	459921	117.97
61	5.08	December	59.4	2.83	27.9	0.065	0.391	86.1	469119	118.25
62	5.17	January	60.2	2.92	31.7	0.066	0.391	86.3	478317	118.5
63	5.25	February	61.4	3.01	34.5	0.066	0.392	86.5	487515	118.74
64	5.33	March	63.8	3.11	35.3	0.067	0.394	86.7	496712	119.05
65	5.42	April	66.1	3.21	35.7	0.068	0.395	86.9	505910	119.35
66	5.5	May	68.4	3.32	36.2	0.069	0.397	87.2	515108	119.65
67	5.58	June	70.1	3.42	36.4	0.069	0.398	87.4	524306	119.93
68	5.67	July	71.8	3.53	36.5	0.07	0.399	87.5	533504	120.16
69	5.75	August	73.1	3.63	36.8	0.07	0.4	87.8	542702	120.44
70	5.83	September	74.7	3.73	37.1	0.071	0.401	88	551900	120.72
71	5.92	October	76	3.83	37.8	0.071	0.402	88.1	561097	120.94
72	6	November	77.2	3.94	39	0.072	0.403	88.3	570295	121.22
73	6.08	December	78.1	4.04	41.6	0.072	0.403	88.5	580082	121.44
74	6.17	January	79.1	4.14	46.4	0.072	0.404	88.7	589868	121.75

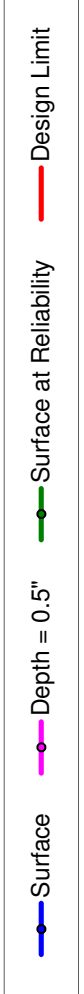
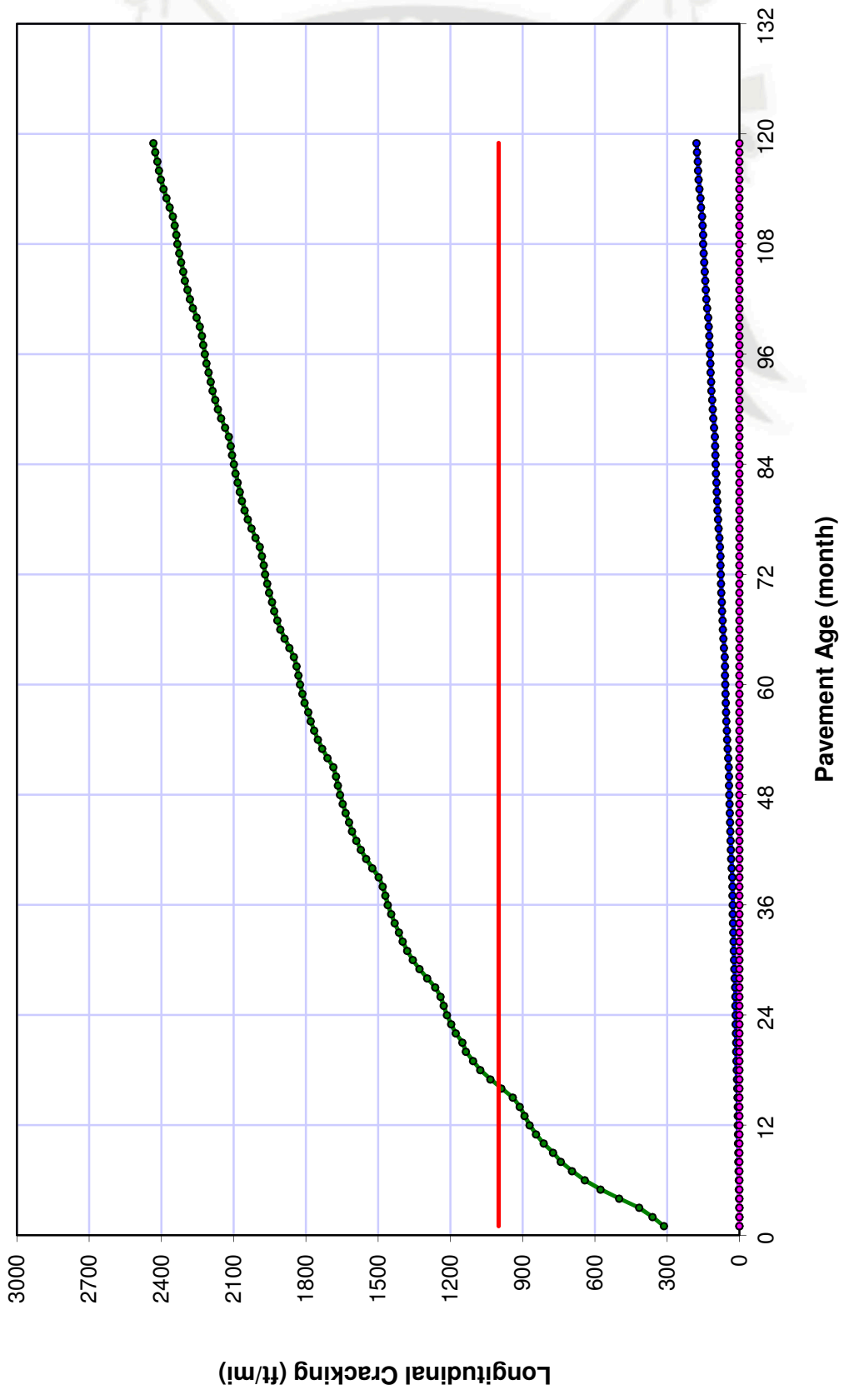
Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr									
75	6.25	February	80.5	4.25	49.8	0.072	0.405	88.9	599655	122.01
76	6.33	March	83.2	4.37	50.9	0.073	0.406	89.2	609441	122.31
77	6.42	April	85.9	4.5	51.3	0.074	0.407	89.4	619228	122.61
78	6.5	May	88.4	4.62	51.9	0.075	0.409	89.6	629014	122.91
79	6.58	June	90.4	4.75	52.3	0.075	0.41	89.8	638801	123.19
80	6.67	July	92.3	4.87	52.4	0.076	0.411	90	648587	123.47
81	6.75	August	93.7	4.99	55.3	0.076	0.412	90.2	658374	123.77
82	6.83	September	95.5	5.12	61	0.077	0.412	90.5	668161	124.11
83	6.92	October	97	5.24	65	0.077	0.413	90.7	677947	124.36
84	7	November	98.4	5.37	66.2	0.078	0.414	90.9	687734	124.65
85	7.08	December	99.5	5.49	66.8	0.078	0.415	91.1	698146	124.91
86	7.17	January	101	5.61	67.5	0.078	0.415	91.2	708559	125.12
87	7.25	February	102	5.74	67.9	0.079	0.416	91.4	718972	125.39
88	7.33	March	105	5.88	68	0.079	0.417	91.7	729385	125.69
89	7.42	April	108	6.03	68.4	0.08	0.419	91.9	739798	125.98
90	7.5	May	111	6.17	68.9	0.081	0.42	92.2	750211	126.33
91	7.58	June	113	6.32	69.7	0.081	0.421	92.4	760624	126.62
92	7.67	July	116	6.47	71.6	0.082	0.422	92.6	771036	126.92
93	7.75	August	117	6.61	75.2	0.082	0.422	92.8	781449	127.23
94	7.83	September	119	6.76	82.1	0.083	0.423	93.1	791862	127.58
95	7.92	October	121	6.9	86.8	0.083	0.424	93.3	802275	127.89
96	8	November	122	7.05	88.3	0.084	0.425	93.5	812688	128.17
97	8.08	December	124	7.18	89	0.084	0.425	93.7	823767	128.38
98	8.17	January	125	7.31	89.8	0.084	0.426	93.9	834846	128.65
99	8.25	February	127	7.46	90.3	0.084	0.427	94.1	845926	128.92
100	8.33	March	130	7.63	90.4	0.085	0.428	94.3	857005	129.22
101	8.42	April	134	7.79	94.4	0.086	0.429	94.6	868084	129.6
102	8.5	May	137	7.96	102	0.087	0.43	94.9	879164	129.97
103	8.58	June	139	8.13	108	0.087	0.431	95.2	890243	130.32
104	8.67	July	142	8.3	109	0.088	0.432	95.4	901322	130.61
105	8.75	August	144	8.46	110	0.088	0.433	95.6	912401	130.88
106	8.83	September	146	8.63	111	0.089	0.434	95.8	923481	131.22
107	8.92	October	148	8.79	112	0.089	0.434	96.1	934560	131.5
108	9	November	150	8.96	112	0.089	0.435	96.3	945639	131.76
109	9.08	December	151	9.12	112	0.09	0.435	96.5	957428	132.03
110	9.17	January	153	9.26	113	0.09	0.436	96.7	969216	132.29
111	9.25	February	155	9.44	114	0.09	0.437	96.9	981004	132.57
112	9.33	March	159	9.63	116	0.091	0.438	97.1	992793	132.89
113	9.42	April	162	9.82	121	0.092	0.439	97.4	1004580	133.29
114	9.5	May	166	10	131	0.092	0.44	97.7	1016370	133.67
115	9.58	June	169	10.2	137	0.093	0.441	98	1028160	134.07
116	9.67	July	171	10.4	139	0.093	0.442	98.2	1039950	134.37
117	9.75	August	173	10.6	140	0.094	0.443	98.4	1051730	134.65
118	9.83	September	176	10.8	141	0.094	0.443	98.7	1063520	134.99
119	9.92	October	178	10.9	141	0.095	0.444	98.9	1075310	135.27
120	10	November	180	11.1	142	0.095	0.445	99.1	1087100	135.53



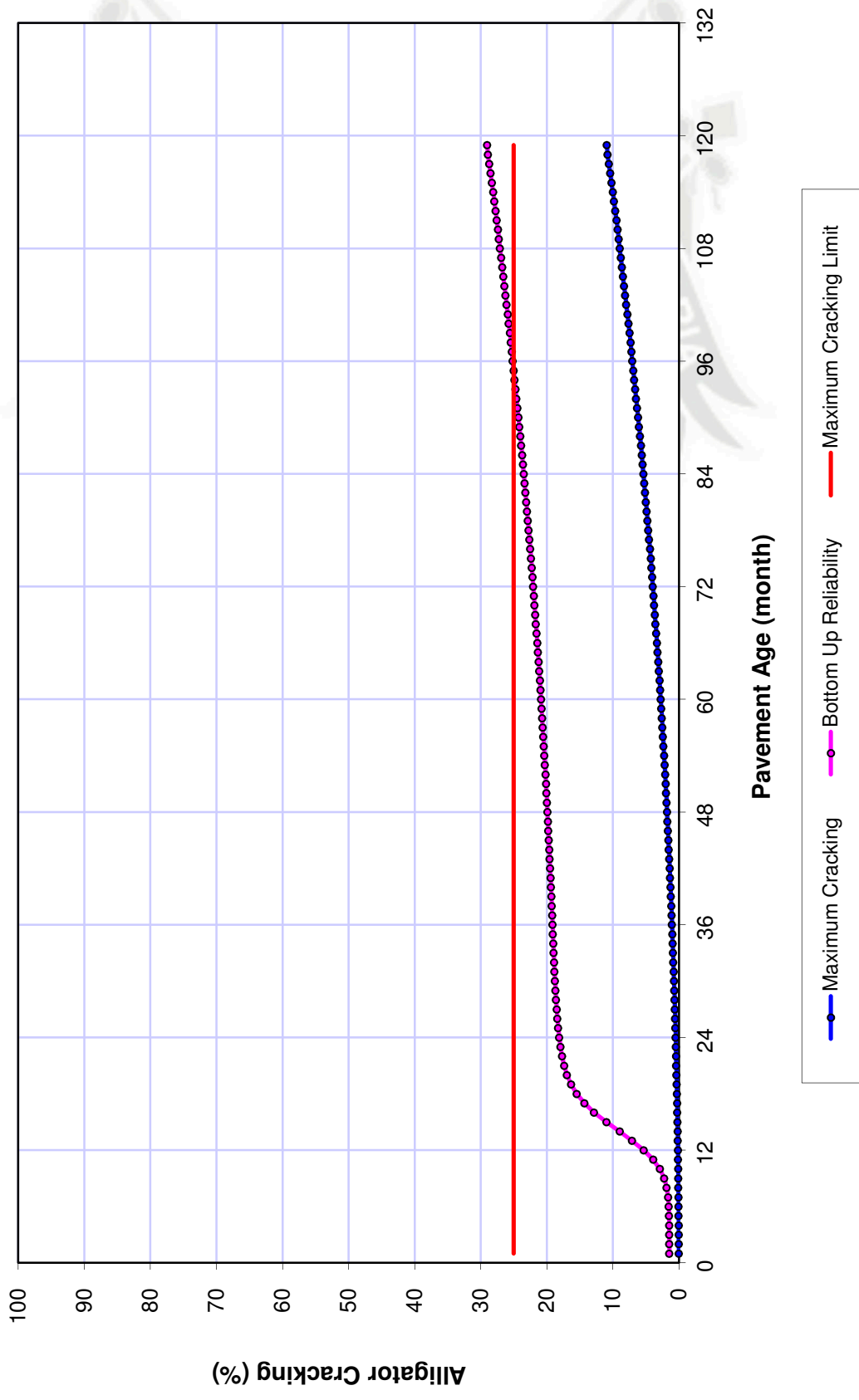
Asphalt Sub-Layers Modulus Vs Time



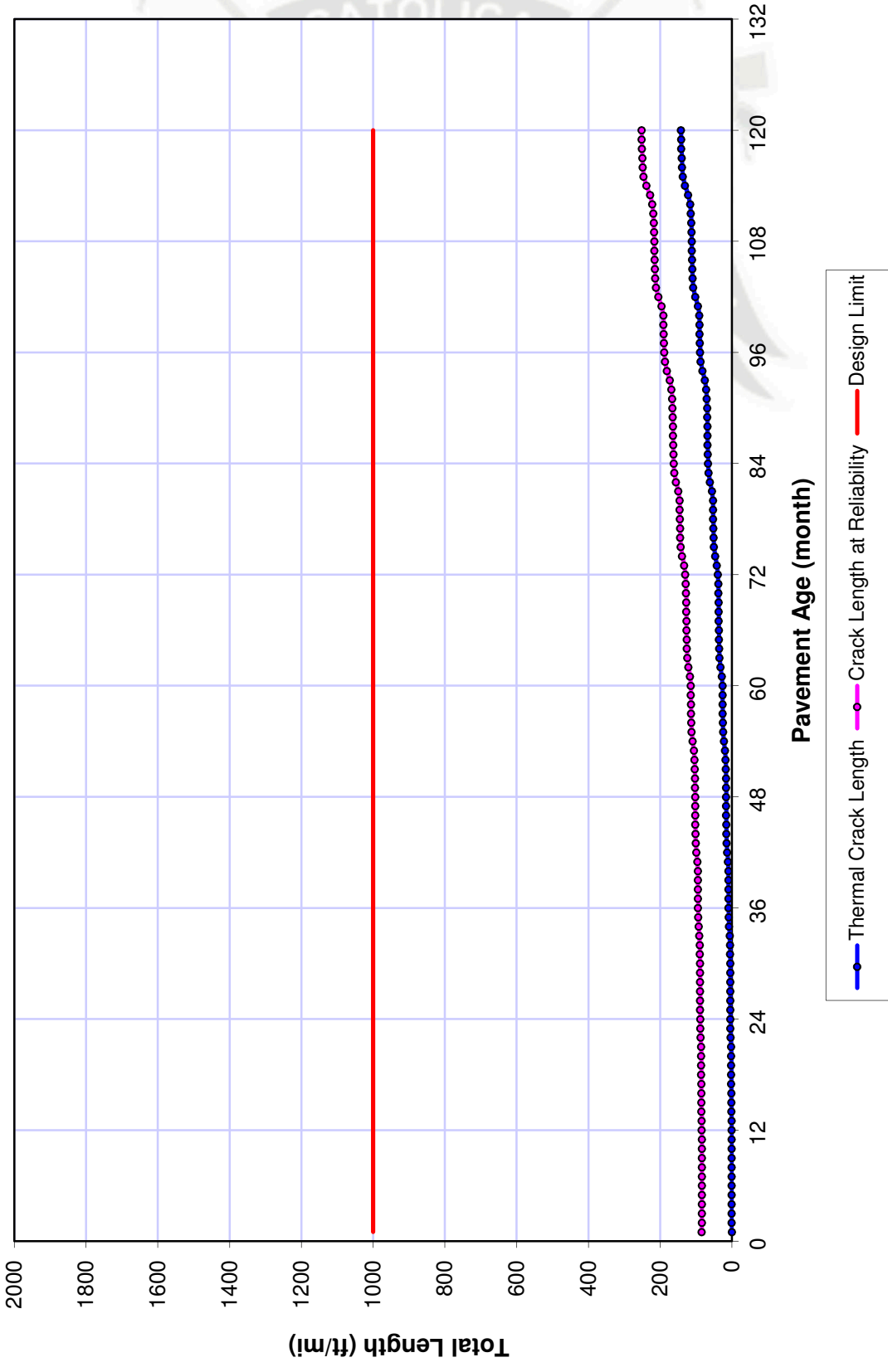
# Surface Down Cracking - Longitudinal



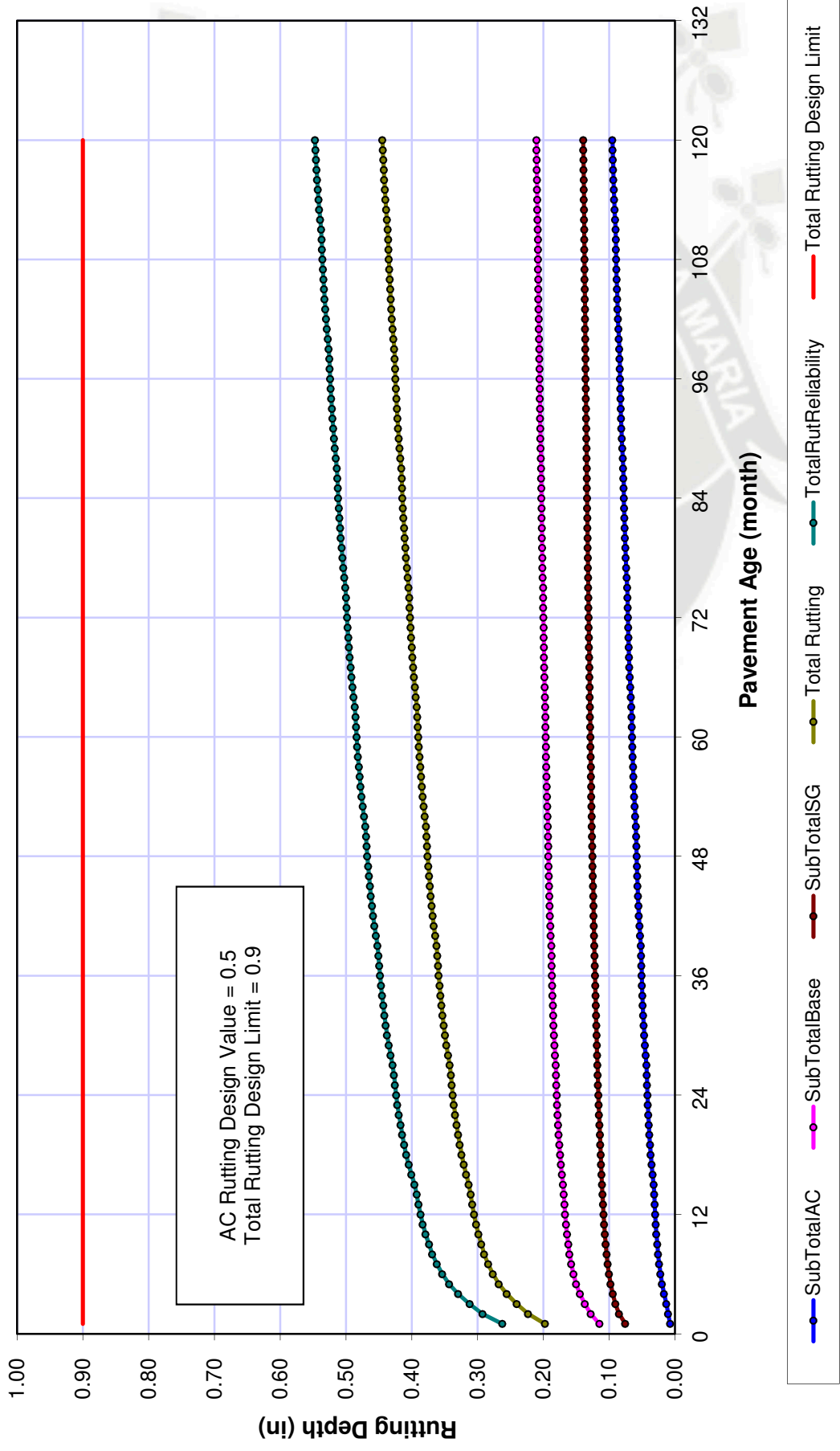
# Bottom Up Cracking - Alligator



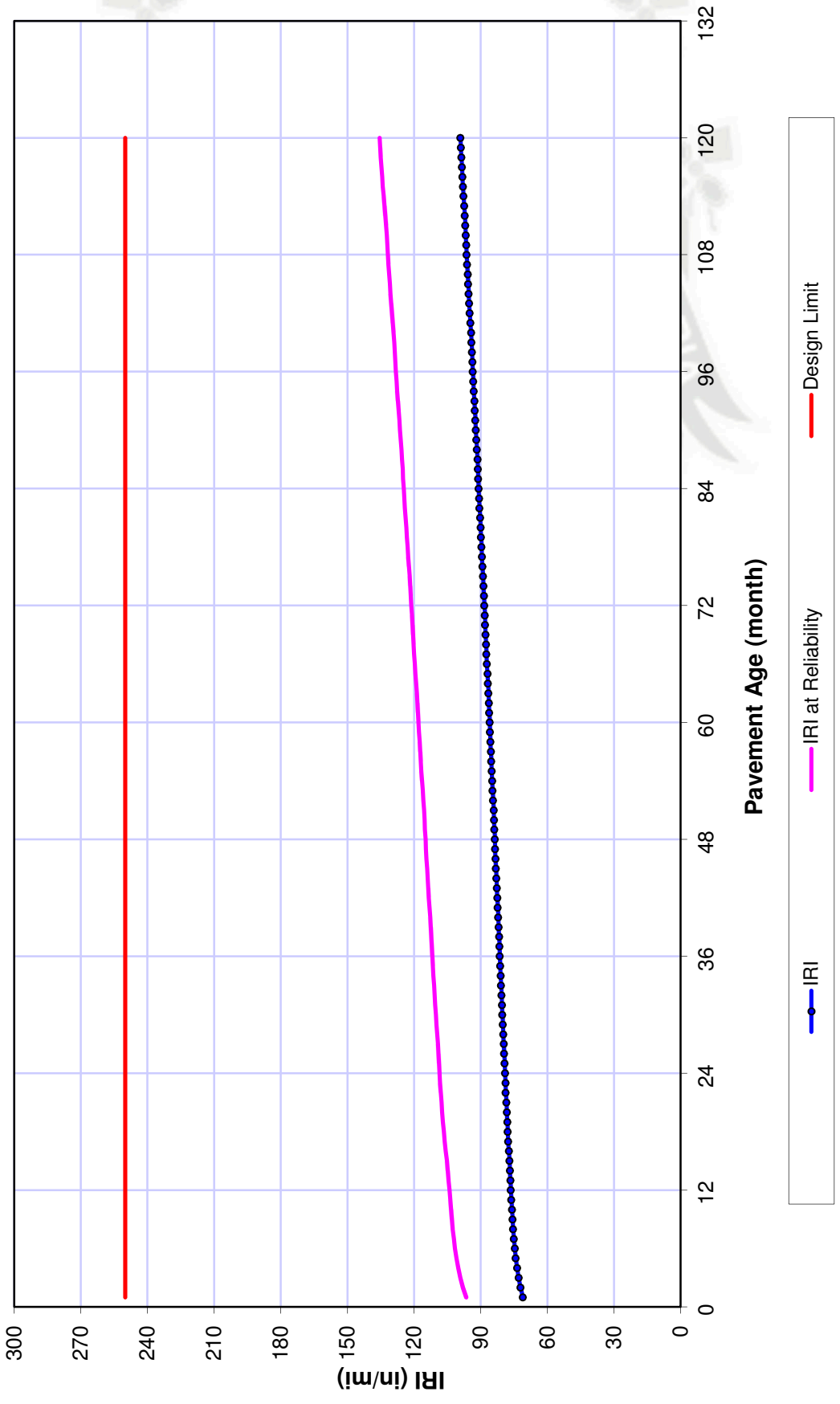
Thermal Cracking: Total Length Vs Time

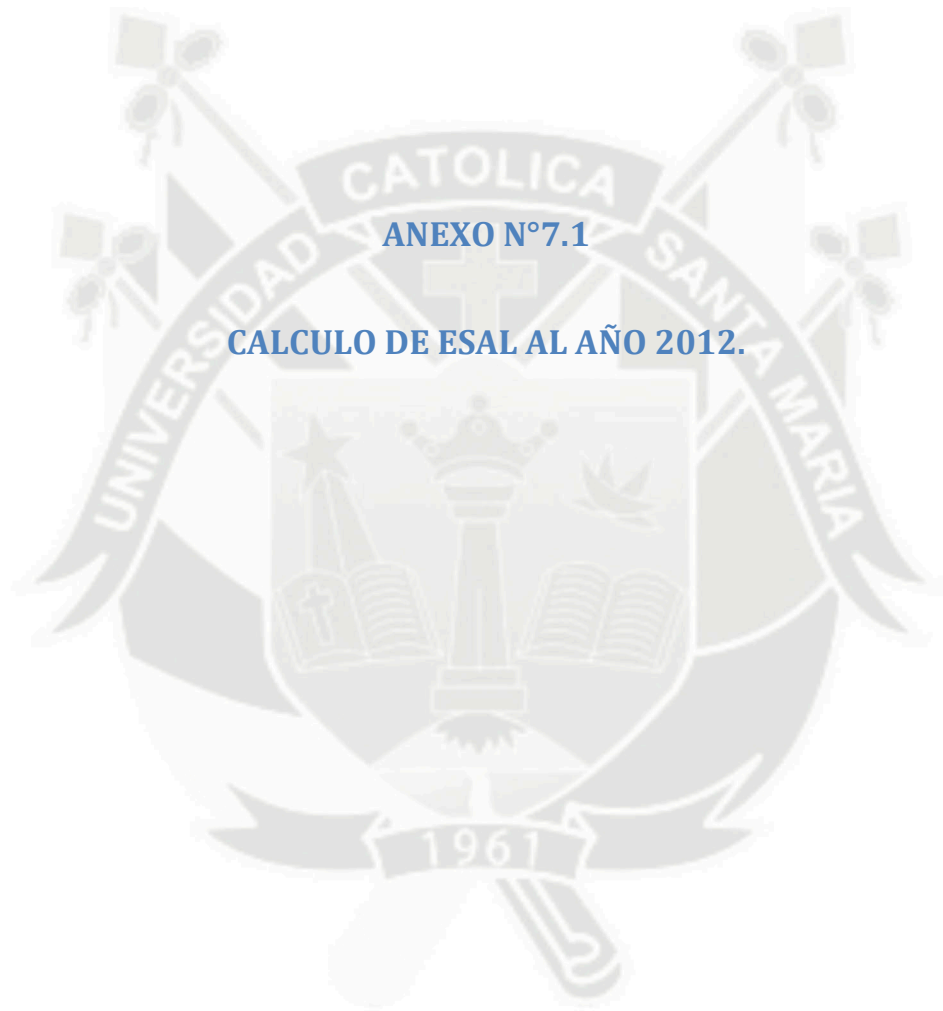


# Permanent Deformation: Rutting



# IRI





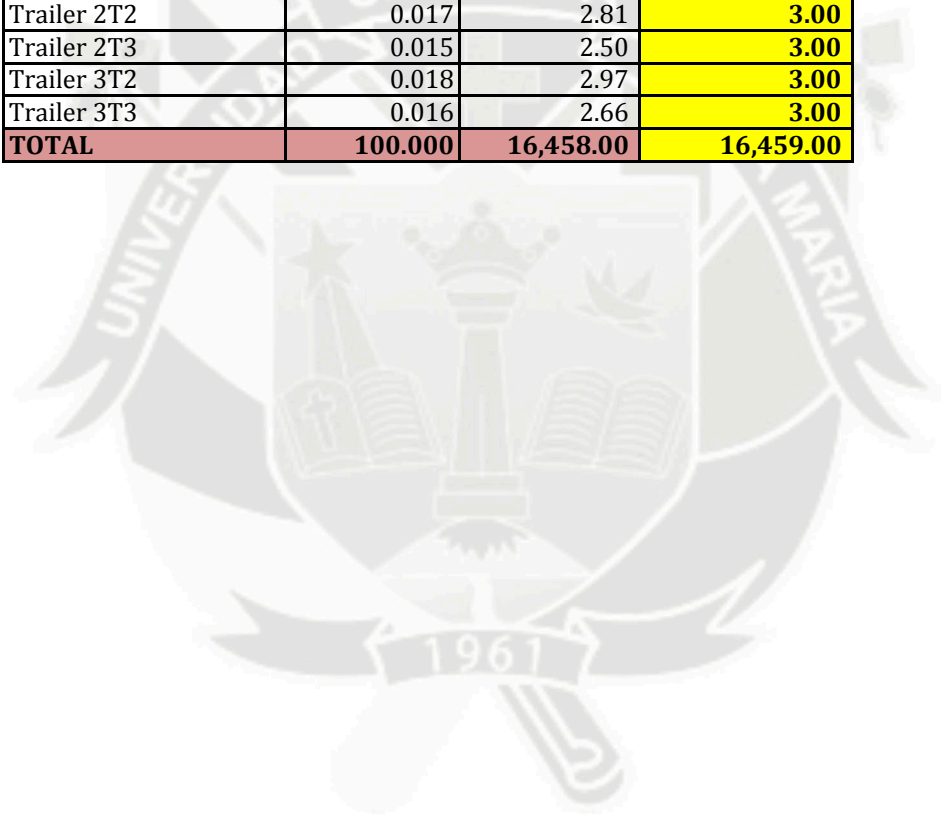
**ANEXO N°7.1**

**CALCULO DE ESAL AL AÑO 2012.**

Composición del transito:

TMDA 2012 = 16,458.00 veh/día

VEHICULO	%	Nº veh.	Nº veh. Entero
Autos	68.153	11,216.65	11,217.00
Pick up	12.337	2,030.43	2,030.00
Combi rural	6.053	996.22	996.00
Micro	11.262	1,853.50	1,854.00
Bus 2E	0.280	46.11	46.00
Bus 3E	0.036	5.94	6.00
Camion 2E	1.241	204.28	204.00
Camion 3E	0.380	62.52	63.00
Camion 4E	0.059	9.69	10.00
Semi trailer 2S1/2S2	0.031	5.16	5.00
Semi trailer 2S3	0.032	5.31	5.00
Semi trailer 3S1/3S2	0.030	5.00	5.00
Semi trailer >=3S3	0.038	6.25	6.00
Trailer 2T2	0.017	2.81	3.00
Trailer 2T3	0.015	2.50	3.00
Trailer 3T2	0.018	2.97	3.00
Trailer 3T3	0.016	2.66	3.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>16,458.00</b>	<b>16,459.00</b>



Determinación del ESAL metodo del ESAL Unitario

VEHICULOS	ESQUEMA DE EJES		ESQUEMA DE PESOS (tn)		EALF	ESAL UNITARIO ó FACTOR CAMION	nº DE VEH. POR DIA	D	L	g	365	ESAL
Auto	1	1	0.67	0.67	0.00015	0.00030	11217.00	1	0.8	13.4	365	13,196.44
Pick up	1	1	1.30	1.30	0.00125	0.00250	2030.00	1	0.8	13.4	365	19,901.92
Combi rural	1	1	1.40	1.40	0.00161	0.00322	996.00	1	0.8	13.4	365	12,576.91
Micro	1	1	3.82	3.82	0.06096	0.12192	1854.00	1	0.8	13.4	365	886,428.17
Bus 2E	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	46.00	1	0.8	13.4	365	733,831.88
Bus 3E	1	2	7.00	16.00	0.54272	1.26650	6.00	1	0.8	13.4	365	42,569.79
Camion 2E	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	204.00	1	0.8	13.4	365	3,254,384.84
Camion 3E	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	63.00	1	0.8	13.4	365	641,879.65
Camion 4E	1	3	7.00	23.00	0.54272	1.28644	10.00	1	0.8	13.4	365	71,731.61
Semi Traylor 2S1/2S2	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	5.00	1	0.8	13.4	365	148,887.12
Semi Traylor 2S3	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	5.00	1	0.8	13.4	365	115,092.69
Semi Traylor 3S1/3S2	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	5.00	1	0.8	13.4	365	120,065.62
Semi Traylor 3S3	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	6.00	1	0.8	13.4	365	103,525.42
Traylor 2T2	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	3.00	1	0.8	13.4	365	130,805.95
Traylor 2T3	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	3.00	1	0.8	13.4	365	113,513.04
Traylor 3T2	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	3.00	1	0.8	13.4	365	113,513.04
Traylor 3T3	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	3.00	1	0.8	13.4	365	96,220.14
<b>ESAL TOTAL</b>											<b>6,618,124.22</b>	

6.62E+06

TIPO DE EJE	PESO (tn)	EALF
EJES SIMPLES	0.67	0.00015
	1.3	0.00125
	1.4	0.00161
	3.82	0.06096
	7	0.54272
EJES TANDEM	11	3.52527
	16	1.2665
	18	2.05537
EJES TRIDEM	23	1.28644
	25	1.80175

ESPECTRO DE CARGA Y W18

n = es el número de ejes por día para cada tipo (simples, tándem y tridem).

D = es el factor direccional.

L = es el factor carril.

365 convierte ejes equivalentes por día a ejes equivalentes por año.

g = es el factor de incremento de crecimiento anual.

Tasa de crecimiento es de 6.4%

$$ESALi = ni \times EALFi \times D \times L \times 365 \times g$$

PESO (tn) EJES SIMPLES	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) SIMPLES	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
0.67	22434.00	68.29%	0.00015	1	0.8	365	13.43	13197.4556	8.80E+07
1.3	4060.00	12.36%	0.00125	1	0.8	365	13.43	19903.4464	1.59E+07
1.4	1992.00	6.06%	0.00161	1	0.8	365	13.43	12577.8800	7.81E+06
3.82	3708.00	11.29%	0.06096	1	0.8	365	13.43	886496.2853	1.45E+07
7	362.00	1.10%	0.54272	1	0.8	365	13.43	770507.0789	1.42E+06
11	294.00	0.89%	3.52527	1	0.8	365	13.43	4064732.3307	1.15E+06
	<b>32850</b>							<b>5.77E+06</b>	
PESO (tn) EJES TANDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TANDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
16	6.00	6.52%	1.2665	1	0.8	365	13.43	29802.2244	2.35E+04
18	86.00	93.48%	2.05537	1	0.8	365	13.43	693235.3506	3.37E+05
	<b>92</b>							<b>7.23E+05</b>	
PESO (tn) EJES TRIDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TRIDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
23	10.00	47.62%	1.28644	1	0.8	365	13.43	50452.3932	3.92E+04
25	11.00	52.38%	1.80175	1	0.8	365	13.43	77728.3506	4.31E+04
	<b>21</b>							<b>1.28E+05</b>	
							<b>W18 =</b>	<b>6.62E+06</b>	



ANEXO N°9.1

CALCULO DEL ESAL AL AÑO 2024.

### Composición del tránsito 2014

Tasa de crecimiento	r =	0.064
TMDA 2012 =	16,458.00 veh/día	2012
TMDA 2014 =	18,633.00	2014
TMDAo =	TE + TA =	TE + (TG + TAT) = TE + (15%TE) + (5%TE)
TMDAo =	18,633.00 +	3,727.00 = 22,360.00

VEHICULO	%	Nº veh.	Nº veh. Entero
Autos	68.153	15,239.06	<b>15,239.00</b>
Pick up	12.337	2,758.56	<b>2,759.00</b>
Combi rural	6.053	1,353.48	<b>1,353.00</b>
Micro	11.262	2,518.18	<b>2,518.00</b>
Bus 2E	0.280	62.64	<b>63.00</b>
Bus 3E	0.036	8.07	<b>8.00</b>
Camion 2E	1.241	277.53	<b>278.00</b>
Camion 3E	0.380	84.94	<b>85.00</b>
Camion 4E	0.059	13.17	<b>13.00</b>
Semi trailer 2S1/2S2	0.031	7.01	<b>7.00</b>
Semi trailer 2S3	0.032	7.22	<b>7.00</b>
Semi trailer 3S1/3S2	0.030	6.79	<b>7.00</b>
Semi trailer >=3S3	0.038	8.49	<b>8.00</b>
Trailer 2T2	0.017	3.82	<b>4.00</b>
Trailer 2T3	0.015	3.40	<b>3.00</b>
Trailer 3T2	0.018	4.03	<b>4.00</b>
Trailer 3T3	0.016	3.61	<b>4.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>22,360.00</b>	<b>22,360.00</b>

Determinación del ESAL método del ESAL Unitario

VEHICULOS	ESQUEMA DE EJES		ESQUEMA DE PESOS (tn)		EALF		ESAL UNITARIO ó FACTOR CAMION	nº DE VEH. POR DIA	D	L	g	365	ESAL
Auto	1	1	0.67	0.67	0.00015	0.00015	0.00030	15239.00	1	0.8	13.43	365	17,928.20
Pick up	1	1	1.30	1.30	0.00125	0.00125	0.00250	2759.00	1	0.8	13.43	365	27,048.96
Combi rural	1	1	1.40	1.40	0.00161	0.00161	0.00322	1353.00	1	0.8	13.43	365	17,084.90
Micro	1	1	3.82	3.82	0.06096	0.06096	0.12192	2518.00	1	0.8	13.43	365	1,203,897.59
Bus 2E	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	4.06799	63.00	1	0.8	13.43	365	1,005,030.61
Bus 3E	1	2	7.00	16.00	0.54272	1.26650	1.80922	8.00	1	0.8	13.43	365	56,759.72
Camion 2E	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	4.06799	278.00	1	0.8	13.43	365	4,434,896.99
Camion 3E	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	2.59809	85.00	1	0.8	13.43	365	866,028.09
Camion 4E	1	3	7.00	23.00	0.54272	1.28644	1.82916	13.00	1	0.8	13.43	365	93,251.09
Semi Traylor 2S1/2S2	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	7.59326	7.00	1	0.8	13.43	365	208,441.97
Semi Traylor 2S3	1	3	7.00	11.00	0.54272	3.52527	5.86974	7.00	1	0.8	13.43	365	161,129.76
Semi Traylor 3S1/3S2	1	2	7.00	18.00	0.54272	3.52527	6.12336	7.00	1	0.8	13.43	365	168,091.87
Semi Traylor 3S3	1	2	7.00	18.00	0.54272	2.05537	4.39984	8.00	1	0.8	13.43	365	138,033.89
Traylor 2T2	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	11.11853	4.00	1	0.8	13.43	365	174,407.93
Traylor 2T3	1	1	7.00	11.00	0.54272	3.52527	9.64863	3.00	1	0.8	13.43	365	113,513.04
Traylor 3T2	1	2	7.00	18.00	0.54272	3.52527	9.64863	4.00	1	0.8	13.43	365	151,350.73
Traylor 3T3	1	2	7.00	18.00	0.54272	3.52527	8.17873	4.00	1	0.8	13.43	365	128,293.52
<b>ESAL TOTAL</b>												<b>8,965,188.86</b>	

8.97E+06

TIPO DE EJE	PESO (tn)	EALF
EJES SIMPLES	0.67	0.00015
	1.3	0.00125
	1.4	0.00161
	3.82	0.06096
	7	0.54272
EJES TANDEM	11	3.52527
	16	1.2665
	18	2.05537
EJES TRIDEM	23	1.28644
	25	1.80175

ESPECTRO DE CARGA Y W18

n = es el número de ejes por día para cada tipo (simples, tándem y trídem).

D = es el factor direccional.

L = es el factor carril.

365 convierte ejes equivalentes por día a ejes equivalentes por año.

g = es el factor de incremento de crecimiento anual.

Tasa de crecimiento es de 6.4%

$$ESAL_i = n_i \times EALFi \times D \times L \times 365 \times g$$

PESO (tn) EJES SIMPLES	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) SIMPLES	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
0.67	30478.00	68.29%	0.00015	1	0.8	365	13.43	17929.5735	1.20E+08
1.3	5518.00	12.36%	0.00125	1	0.8	365	13.43	27051.0387	2.16E+07
1.4	2706.00	6.06%	0.00161	1	0.8	365	13.43	17086.2165	1.06E+07
3.82	5036.00	11.28%	0.06096	1	0.8	365	13.43	1203990.1005	1.98E+07
7	491.00	1.10%	0.54272	1	0.8	365	13.43	1045080.0434	1.93E+06
11	399.00	0.89%	3.52527	1	0.8	365	13.43	5516422.4488	1.56E+06
	<b>44628</b>							<b>7.83E+06</b>	
PESO (tn) EJES TANDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TANDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
16	8.00	6.50%	1.2665	1	0.8	365	13.43	39736.2992	3.14E+04
18	115.00	93.50%	2.05537	1	0.8	365	13.43	927000.7595	4.51E+05
	<b>123</b>							<b>9.67E+05</b>	
PESO (tn) EJES TRIDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TRIDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
23	13.00	46.43%	1.28644	1	0.8	365	13.43	65588.1111	5.10E+04
25	15.00	53.57%	1.80175	1	0.8	365	13.43	105993.2054	5.88E+04
	<b>28</b>							<b>1.72E+05</b>	
							<b>W18 =</b>	<b>8.97E+06</b>	



**ANEXO N°9.2**

**CALCULO DEL ESAL DEL 2004 AL 2014.**

### Composición del transito 2004 - 2014

Tasa de crecimiento	r =	0.064
TMDA 2012 =	16,460.00 veh/día	2012
TMDA 2004 =	10,021.00	2004

VEHICULO	%	Nº veh.	Nº veh. Entero
Autos	68.153	6,829.63	<b>6,830.00</b>
Pick up	12.337	1,236.29	<b>1,236.00</b>
Combi rural	6.053	606.58	<b>607.00</b>
Micro	11.262	1,128.57	<b>1,129.00</b>
Bus 2E	0.280	28.07	<b>28.00</b>
Bus 3E	0.036	3.62	<b>4.00</b>
Camion 2E	1.241	124.38	<b>124.00</b>
Camion 3E	0.380	38.07	<b>38.00</b>
Camion 4E	0.059	5.90	<b>6.00</b>
Semi trailer 2S1/2S2	0.031	3.14	<b>3.00</b>
Semi trailer 2S3	0.032	3.24	<b>3.00</b>
Semi trailer 3S1/3S2	0.030	3.05	<b>3.00</b>
Semi trailer >=3S3	0.038	3.81	<b>4.00</b>
Trailer 2T2	0.017	1.71	<b>2.00</b>
Trailer 2T3	0.015	1.52	<b>2.00</b>
Trailer 3T2	0.018	1.81	<b>2.00</b>
Trailer 3T3	0.016	1.62	<b>2.00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100.000</b>	<b>10,021.00</b>	<b>10,023.00</b>

ESPECTRO DE CARGA Y W18

n = es el número de ejes por día para cada tipo (simples, tándem y trídem).

D = es el factor direccional.

L = es el factor carril.

365 convierte ejes equivalentes por día a ejes equivalentes por año.

g = es el factor de incremento de crecimiento anual.

Tasa de crecimiento es de 6.4%

$$ESALi = ni \times EALFi \times D \times L \times 365 \times g$$

PESO (tn) EJES SIMPLES	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) SIMPLES	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
0.67	13,660.00	68.28%	0.00015	1	0.8	365	13.43	8,035.89	5.36E+07
1.30	2,472.00	12.36%	0.00120	1	0.8	365	13.43	11,633.81	9.69E+06
1.40	1,214.00	6.07%	0.00156	1	0.8	365	13.43	7,427.38	4.76E+06
3.82	2,258.00	11.29%	0.06233	1	0.8	365	13.43	551,967.24	8.86E+06
7.00	221.00	1.10%	0.55000	1	0.8	365	13.43	476,702.25	8.67E+05
11.00	180.00	0.90%	3.44952	1	0.8	365	13.43	2,435,137.05	7.06E+05
	<b>20005</b>							<b>3.49E+06</b>	
PESO (tn) EJES TANDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TANDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
16.00	4.00	7.02%	1.26873	1	0.8	365	13.43	19,903.13	1.57E+04
18.00	53.00	92.98%	2.03888	1	0.8	365	13.43	423,798.85	2.08E+05
	<b>57</b>							<b>4.44E+05</b>	
PESO (tn) EJES TRIDEM	# EJES SIMPLES día (n)	%	EALF	D	L	365	g	ESAL (Eq 18kips) TRIDEM	# TOTAL DE EJES ACUMULADOS (n x D x L x 365 x g) o (ESAL/EALF)
23.00	6.00	46.15%	1.29349	1	0.8	365	13.43	30,437.33	2.35E+04
25.00	7.00	53.85%	1.79861	1	0.8	365	13.43	49,377.29	2.75E+04
	<b>13</b>							<b>7.98E+04</b>	
							<b>W18 =</b>	<b>4.01E+06</b>	

Factor de Crecimiento:

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

r : tasa de crecimiento = 0.064

z : período de análisis en años = 10

g = 13.43





**ANEXO N°9.3**

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA SMA.**

**CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA SMA:**

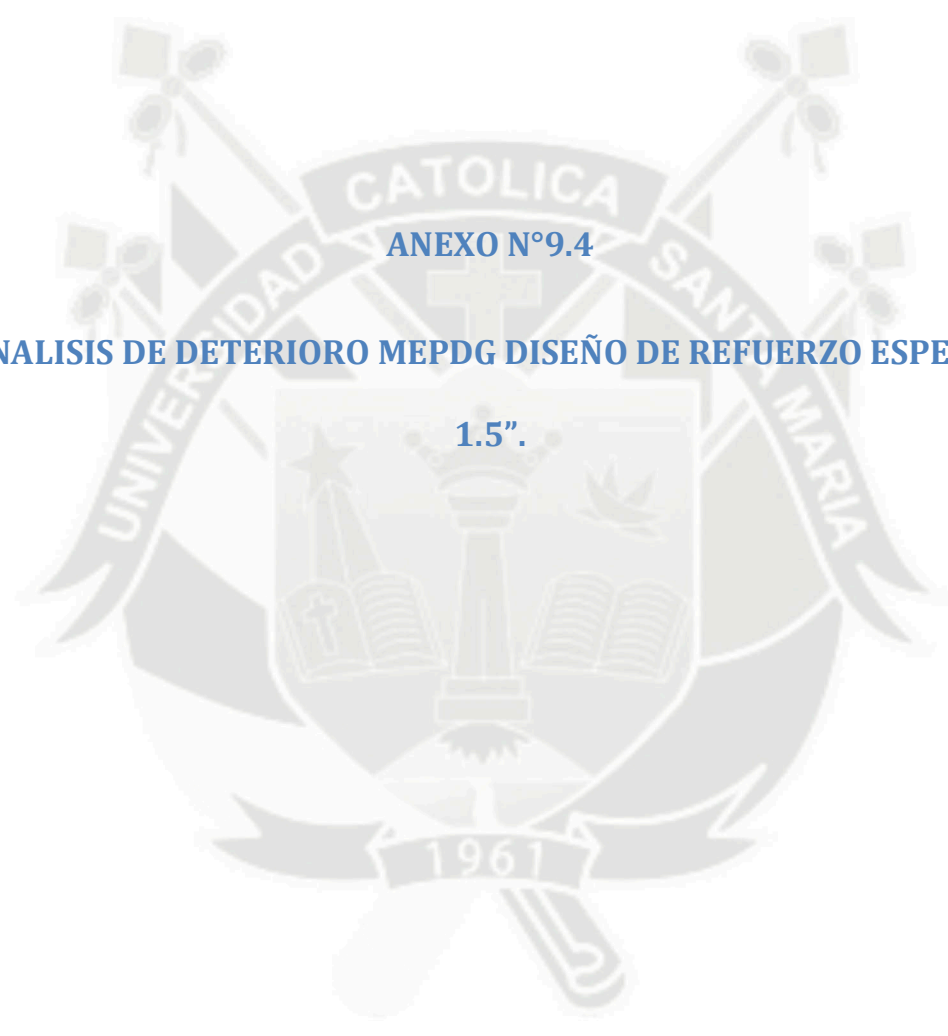
Fuente: GAMARRA, R. 2009.

Tamíz	Tamíz mm	% pasa Tanteo SMA TMN 19.05 mm
1	25	100
3/4	19	93
1/2	12.7	70
3/8	9.5	46
1/4	6.35	28
4	4.75	24
6		23
8	2.36	21
10		20
16		18
20	1.18	17
30	0.6	16
40		15
50	0.3	13
80		11
100		10
200	0.075	9
Fondo		0

Aportes en peso de mezcla

% Cem. Asf.		6.397
% Fibra de celulosa		0.400
% Restante		93.203
% Grava 3/4	12.00%	11.18
% Grava 1/2	63.00%	58.72
% Arena	17.00%	15.84
% Filler	8.00%	7.46
		100.000

Ensayo Marshall		Briquetas		
		1	2	3
1	% CA. EN PESO DE LA MEZCLA	6.3000	6.3000	6.3000
2	% DE A. GRUESO 3/4 EN PESO DE LA MEZCLA	11.2000	11.2000	11.2000
3	% DE A. GRUESO 1/2 EN PESO DE LA MEZCLA	58.7800	58.7800	58.7800
4	% DE A. FINO (MENOR N°4) EN PESO DE LA MEZCLA	15.8600	15.8600	15.8600
5	% DE FILLER (MINIMO 85% PASA N°200) EN PESO DE LA MEZCLA	7.4600	7.4600	7.4600
6	% DE FIBRA DE CELULOSA	0.4000	0.4000	0.4000
7	PESO ESPECIFICO DE C.A. APARENTE	1.0120	1.0120	1.0120
8	PESO ESPECIFICO DEL A. GRUESO 3/4"- BULK gr/cm3	2.7700	2.7700	2.7700
9	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL A. GRUESO 3/4" gr/cm3	2.8139	2.8139	2.8139
10	PESO ESPECIFICO DEL A. GRUESO 1/2" BULK gr/cm3	2.6950	2.6950	2.6950
11	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL A. GRUESO 1/2" gr/cm3	2.7690	2.7690	2.7690
12	PESO ESPECIFICO DEL A. FINO - BULK gr/cm3	2.6670	2.6670	2.6670
13	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL A. FINO gr/cm3	2.7400	2.7400	2.7400
14	PESO ESPECIFICO DEL FILLER APARENTE gr/cm3	2.4800	2.4800	2.4800
15	PESO ESPECIFICO DE FIBRA DE CELULOSA gr/cm3	1.2000	1.2000	1.2000
16	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (pulgada)	2.50	2.50	2.50
17	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gramo)	1183.90	1189.30	1188.90
18	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr)	1193.60	1199.00	1199.60
19	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr)	680.00	685.60	683.50
20	VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (18-19) (gr)	513.6000	513.4000	516.1000
21	PESO DE LA PARAFINA (18-17) (gr)	9.7000	9.7000	10.7000
22	VOLUMEN DE LA PARAFINA (21/P.E.De la parafina) (gr)	11.1494	11.1494	12.2989
23	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (20-22)(cc)	502.4506	502.2506	503.8011
24	PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (17/23)gr/cc	2.3563	2.3679	2.3599
25	PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM - D2041	2.4413	2.4413	2.4413
26	% DE VACIOS = $100 \cdot (25-24) / 25$	3.4847	3.0058	3.3369
27	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2 + 3 + 4 + 5 + 6) / ( 2/8 + 3/10 + 4/12 + 5/14 + 6/15)	2.6663	2.6663	2.6663
28	V.M.A.= $100 - (2+3+4+5+6) \cdot 24 / 27$ (%)	17.1960	16.7852	17.0693
29	% VACIOS LLENADOS POR C.A. = $100 \cdot (28-26) / 28$	79.7357	82.0924	80.4509
30	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL (2 + 3 + 4 + 5 + 6) / ((100 / 25) - (1 / 7))	2.6975	2.6975	2.6975
31	ASFALTO ABSORVIDO POR AGREGADO TOTAL $100 \cdot 7 \cdot (30-27) / (30 \cdot 27)$	0.4387	0.4387	0.4387
32	% ASFALTO EFECTIVO $1 - (2+3+4+5+6) \cdot 31 / 100$	5.89	5.89	5.89
33	FLUJO (0.01 pulg)	14.79	12.80	18.70
34	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2550.00	2020.00	2210.00
35	FACTOR DE ESTABILIDAD	1.0400	1.0400	1.0400
36	ESTABILIDAD CORREGIDA (34*35) (kg.)	1202.9472	952.9229	1042.5542



**ANEXO N°9.4**

**ANALISIS DE DETERIORO MEPDG DISEÑO DE REFUERZO ESPESOR**

**1.5".**

## Project: Diseño de refuerzo AV. Aviación

### General Information

Design Life: 10 years  
 Existing pavement construction: August, 2004  
 Pavement overlay construction: February, 2013  
 Traffic open: April, 2013  
 Type of design: Flexible

Description:  
 Diseño de refuerzo con concreto asfaltico sobre la estructura del pavimento flexible de la Av. Aviación

### Analysis Parameters

### Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	63	
Terminal IRI (in/mi)	172	80
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	80
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	80
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	80
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	80
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	80
Reflective cracking (%):	100	

Location: Av. Aviacion, Cerro Colorado - Arequipa  
 Project ID: 3  
 Section ID: km 2+100 - 6+300  
 Date: 30/07/2013  
 Station/milepost format: Miles: 0.000  
 Station/milepost begin: 0  
 Station/milepost end: 2.609  
 Traffic direction: North bound

### Default Input Level

Default input level: Level 3, Default and historical agency values.

### Traffic

Initial two-way AADTT: 616  
 Number of lanes in design direction: 2  
 Percent of trucks in design direction (%): 100  
 Percent of trucks in design lane (%): 80  
 Operational speed (mph): 25

### Traffic -- Volume Adjustment Factors

#### Monthly Adjustment Factors (Level 3, Default MAF)

Month	Vehicle Class									
	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
December	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Vehicle Class Distribution

Hourly truck traffic distribution

(Level 1, Site Specific Distribution )

**AADTT distribution by vehicle class**

Class 4	11.5%
Class 5	44.8%
Class 6	33.9%
Class 7	2.2%
Class 8	1.1%
Class 9	2.2%
Class 10	1.4%
Class 11	2.2%
Class 12	0.7%
Class 13	0.0%

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

**Traffic Growth Factor**

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

**Traffic -- Axle Load Distribution Factors**

Level 1: Site Specific

**Traffic -- General Traffic Inputs**

Mean wheel location (inches from the lane marking):	18
Traffic wander standard deviation (in):	10
Design lane width (ft):	12

**Number of Axles per Truck**

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

**Axle Configuration**

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

**Axle Configuration**

Tire Pressure (psi) :	120
-----------------------	-----

**Average Axle Spacing**

Tandem axle(ksi):	51.6
Tridem axle(ksi):	49.2
Quad axle(ksi):	49.2

**Climate**

icm file:

Latitude (degrees.minutes) -16.37  
 Longitude (degrees.minutes) -71.56  
 Elevation (ft) 8003  
 Depth of water table (ft) 10

**Structure--Design Features**

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.  
 HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients  
 Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)  
 Reflective cracking analysis: Yes

**Structure--Layers**

**Layer 1 -- Asphalt concrete**

Material type: Asphalt concrete  
 Layer thickness (in): 1.5

**General Properties**

General

Reference temperature (F°): 70  
Volumetric Properties as Built  
 Effective binder content (%): 6.397  
 Air voids (%): 3.276  
 Total unit weight (pcf): 152.39  
 Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
 Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

**Asphalt Mix**

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 7  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 54  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 76  
 % Passing #200 sieve: 9

**Asphalt Binder**

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade: Pen 85-100  
 A: 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

**Thermal Cracking Properties**

Average Tensile Strength at 14°F: 444  
 Mixture VMA (%): 11.2  
 Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
 Mix coeff. thermal contraction (in./in.°F): 0.000013

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	2.83E-07	4.14E-07	5.31E-07
2	2.96E-07	4.21E-07	6.21E-07
5	3.31E-07	5.24E-07	7.79E-07
10	3.38E-07	5.86E-07	8.76E-07
20	3.65E-07	6.48E-07	1.05E-06
50	3.79E-07	8E-07	1.36E-06
100	4E-07	9.1E-07	1.7E-06

**Layer 2 -- Asphalt concrete (existing)**

Material type: Asphalt concrete (existing)  
 Layer thickness (in): 2

**General Properties**

General

Reference temperature (F°): 70  
Volumetric Properties as Built  
 Effective binder content (%): 6.38  
 Air voids (%): 5.66  
 Total unit weight (pcf): 144.84  
 Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
 Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

**Asphalt Mix**

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 0  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 27.69  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 47.26  
 % Passing #200 sieve: 3.58

**Asphalt Binder**

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade: Pen 85-100  
 A: 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

**Layer 3 -- A-1-a**

Unbound Material: A-1-a  
 Thickness(in): 7.87

**Strength Properties**

Input Level: Level 3  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 24132

**ICM Inputs**Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 6.7  
 Passing #40: 20.6  
 Passing #4 sieve (%): 51  
 D10(mm): 0.1265  
 D20(mm): 0.3951  
 D30(mm): 0.9776  
 D60(mm): 8.094  
 D90(mm): 38.87

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	6.74
#100	11.06
#80	12.52
#60	
#50	17.7
#40	20.61
#30	23.67
#20	
#16	32.44
#10	38.75
#8	40.93
#4	51.05
3/8"	62.69
1/2"	67.98
3/4"	75.46
1"	80.24
1 1/2"	88.57
2"	100
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	
4"	

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 135.2 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.03581 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 6.4 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 69.8 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	6.4278
b	1.5225

<b>c</b>	0.82105
<b>Hr.</b>	100

**Layer 4 -- A-1-b**

Unbound Material: A-1-b  
 Thickness(in): Semi-infinite

**Strength Properties**

Input Level: Level 3  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40: 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm): 0.0528  
 D20(mm): 0.2045  
 D30(mm): 0.3747  
 D60(mm): 4.369  
 D90(mm): 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	
4"	

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)  
 Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
<b>a</b>	7.6015
<b>b</b>	0.85447
<b>c</b>	1.0344
<b>Hr.</b>	100

## Distress Model Calibration Settings - Flexible

<b>AC Fatigue</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	0.007566
Bf1	1
k2	3.9492
Bf2	0.95
k3	1.281
Bf3	1
<b>AC Reflective Cracking</b>	
c	1
<b>AC Rutting</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	-3.35412
Br1	1
k2	1.5606
Br2	1
k3	0.4791
Br3	1
Standard Deviation Total Rutting (RUT):	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
<b>Thermal Fracture</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	1.5
Bt1	1
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 11$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

**Project: Diseño de refuerzo AV.  
Aviación**

<b>Performance Criteria</b>	<b>Distress Target</b>	<b>Reliability Target</b>	<b>Distress Predicted</b>	<b>Reliability Predicted</b>	<b>Acceptable</b>
Terminal IRI (in/mi)	172	80	77.4	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	80	6390	3.56	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	80	0	99.999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	80	1	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	80	0.12	99.84	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	80	0.24	99.999	Pass



## Predicted distress: Project Diseño de refuerzo AV. Aviación

Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking in New AC Layer FCI(%)	Reflective Cracking Existing Layers FC2(%)	Total Cracking Surface FC1 + FC2 (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr											
1	0.08	April	12.2	0	0.2391	0.2391	0	0.002	0.059	65.4	15000	80.59
2	0.17	May	33.9	0	0.3165	0.3165	0	0.004	0.071	65.8	29999	81.19
3	0.25	June	61.3	0	0.4165	0.4165	0	0.006	0.081	66.3	44999	81.71
4	0.33	July	92.2	0	0.5435	0.5435	0	0.008	0.087	66.5	59998	82.06
5	0.42	August	126	0	0.7031	0.7031	0	0.009	0.09	66.7	74998	82.22
6	0.5	September	161	0	0.9065	0.9065	0	0.01	0.094	66.8	89998	82.42
7	0.58	October	199	0	1.163	1.163	0	0.011	0.096	66.9	104997	82.57
8	0.67	November	239	0	1.487	1.487	0	0.012	0.098	67	119997	82.69
9	0.75	December	278	0	1.891	1.891	0	0.013	0.1	67.1	134996	82.78
10	0.83	January	318	0	2.394	2.394	0	0.013	0.101	67.2	149996	82.86
11	0.92	February	360	0	3.016	3.016	0	0.014	0.103	67.3	164996	82.98
12	1	March	405	0	3.777	3.777	0	0.015	0.105	67.4	179995	83.12
13	1.08	April	454	0	4.696	4.696	0	0.017	0.108	67.5	195955	83.31
14	1.17	May	503	0	5.79	5.79	0	0.018	0.111	67.6	211914	83.47
15	1.25	June	555	0	7.069	7.069	0	0.02	0.115	67.8	227874	83.68
16	1.33	July	606	0	8.534	8.534	0	0.022	0.118	67.9	243833	83.86
17	1.42	August	656	0	10.17	10.17	0	0.023	0.119	68	259793	83.96
18	1.5	September	708	0	11.97	11.97	0	0.024	0.121	68.1	275753	84.09
19	1.58	October	760	0	13.88	13.88	0	0.025	0.123	68.2	291712	84.19
20	1.67	November	811	0	15.87	15.87	0	0.026	0.124	68.3	307672	84.28
21	1.75	December	862	0	17.89	17.89	0	0.026	0.125	68.3	323631	84.36
22	1.83	January	913	0	19.88	19.88	0	0.027	0.125	68.4	339591	84.42
23	1.92	February	968	0	21.82	21.82	0	0.027	0.127	68.5	355551	84.52
24	2	March	1020	0	23.66	23.66	0	0.028	0.128	68.5	371510	84.64
25	2.08	April	1080	0	25.4	25.4	0	0.03	0.131	68.7	388491	84.79
26	2.17	May	1140	0	27.02	27.02	0	0.031	0.133	68.8	405472	84.93
27	2.25	June	1210	0	28.54	28.54	0	0.033	0.135	68.9	422453	85.1
28	2.33	July	1270	0	29.94	29.94	0	0.035	0.138	69	439434	85.27
29	2.42	August	1330	0	31.25	31.25	0	0.035	0.139	69.1	456415	85.36
30	2.5	September	1380	0	32.48	32.48	0	0.036	0.141	69.2	473396	85.48
31	2.58	October	1440	0	33.64	33.64	0	0.037	0.142	69.3	490377	85.58
32	2.67	November	1500	0	34.74	34.74	0	0.038	0.143	69.4	507358	85.66
33	2.75	December	1560	0	35.79	35.79	0	0.039	0.143	69.4	524339	85.74
34	2.83	January	1620	0	36.79	36.79	0	0.039	0.144	69.5	541320	85.81
35	2.92	February	1680	0	37.77	37.77	0	0.04	0.145	69.5	558301	85.9
36	3	March	1740	0	38.71	38.71	0	0.041	0.147	69.6	575282	86.02
37	3.08	April	1800	0	39.63	39.63	0	0.042	0.149	69.7	593350	86.16
38	3.17	May	1870	0	40.53	40.53	0	0.044	0.15	69.8	611417	86.29
39	3.25	June	1940	0	41.41	41.41	0	0.045	0.153	70	629485	86.46
40	3.33	July	2000	0	42.42	42.42	0	0.047	0.155	70.1	647553	86.61
41	3.42	August	2060	0	43.25	43.25	0	0.047	0.156	70.2	665621	86.7
42	3.5	September	2120	0	44.07	44.07	0	0.049	0.157	70.3	683689	86.82
43	3.58	October	2190	0	44.9	44.9	0	0.049	0.159	70.3	701756	86.92
44	3.67	November	2250	0	45.71	45.71	0	0.05	0.159	70.4	719824	87.01
45	3.75	December	2310	0	46.52	46.52	0	0.051	0.16	70.5	737892	87.08
46	3.83	January	2370	0	47.32	47.32	0	0.051	0.161	70.5	755960	87.16
47	3.92	February	2430	0	48.12	48.12	0	0.052	0.162	70.6	774027	87.26
48	4	March	2490	0	48.91	48.91	0	0.053	0.163	70.7	792095	87.36
49	4.08	April	2560	0	49.69	49.69	0	0.054	0.165	70.8	811319	87.51
50	4.17	May	2620	0	50.46	50.46	0	0.055	0.166	70.9	830543	87.64
51	4.25	June	2690	0	51.23	51.23	0	0.057	0.169	71	849768	87.8
52	4.33	July	2760	0	51.99	51.99	0	0.058	0.171	71.1	868992	87.95
53	4.42	August	2820	0	52.74	52.74	0	0.059	0.171	71.2	888216	88.04
54	4.5	September	2880	0	53.49	53.49	0	0.06	0.173	71.3	907440	88.16
55	4.58	October	2940	0	54.23	54.23	0	0.061	0.174	71.4	926664	88.26
56	4.67	November	3000	0	54.96	54.96	0	0.062	0.175	71.5	945888	88.35
57	4.75	December	3060	0	55.69	55.69	0	0.062	0.175	71.5	965112	88.43
58	4.83	January	3120	0	56.4	56.4	0	0.063	0.176	71.6	984336	88.52
59	4.92	February	3180	0	57.11	57.11	0	0.063	0.177	71.7	1003560	88.61
60	5	March	3240	0	57.81	57.81	0	0.064	0.178	71.8	1022780	88.72
61	5.08	April	3310	0	58.5	58.5	0	0.066	0.18	71.9	1043240	88.86
62	5.17	May	3380	0	59.18	59.18	0	0.067	0.181	72	1063690	88.99
63	5.25	June	3440	0	59.85	59.85	0	0.068	0.183	72.1	1084150	89.15
64	5.33	July	3500	0	60.51	60.51	0	0.07	0.185	72.2	1104600	89.3
65	5.42	August	3560	0	61.16	61.16	0	0.07	0.186	72.3	1125060	89.4
66	5.5	September	3620	0	61.81	61.81	0	0.071	0.187	72.4	1145510	89.52
67	5.58	October	3680	0	62.45	62.45	0	0.072	0.188	72.5	1165970	89.62
68	5.67	November	3740	0	63.08	63.08	0	0.073	0.189	72.5	1186420	89.71
69	5.75	December	3800	0	63.7	63.7	0	0.073	0.19	72.6	1206870	89.8
70	5.83	January	3850	0	64.31	64.31	0	0.074	0.19	72.7	1227330	89.88
71	5.92	February	3910	0	64.92	64.92	0	0.075	0.191	72.7	1247780	89.98
72	6	March	3970	0	65.51	65.51	0	0.075	0.192	72.8	1268240	90.1
73	6.08	April	4040	0	66.1	66.1	0	0.077	0.194	72.9	1290000	90.24

Pavement age		Month	Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking in New AC Layer FC1(%)	Reflective Cracking Existing Layers FC2(%)	Total Cracking Surface FC1 + FC2 (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr											
74	6.17	May	4100	0	66.67	66.67	0	0.078	0.195	73	1311760	90.36
75	6.25	June	4160	0	67.24	67.24	0	0.079	0.197	73.2	1333530	90.53
76	6.33	July	4220	0	67.8	67.8	0	0.081	0.199	73.3	1355290	90.67
77	6.42	August	4280	0	68.35	68.35	0	0.081	0.2	73.4	1377060	90.78
78	6.5	September	4330	0	68.9	68.9	0	0.082	0.201	73.5	1398820	90.9
79	6.58	October	4390	0	69.43	69.43	0	0.083	0.202	73.5	1420580	91
80	6.67	November	4440	0	69.96	69.96	0	0.084	0.203	73.6	1442350	91.1
81	6.75	December	4500	0	70.48	70.48	0	0.084	0.203	73.7	1464110	91.19
82	6.83	January	4550	0	70.99	70.99	0	0.085	0.204	73.8	1485870	91.28
83	6.92	February	4600	0	71.5	71.5	0	0.086	0.204	73.8	1507640	91.38
84	7	March	4660	0	71.99	71.99	0	0.086	0.205	73.9	1529400	91.49
85	7.08	April	4720	0	72.48	72.48	0	0.088	0.207	74	1552560	91.63
86	7.17	May	4770	0	72.96	72.96	0	0.089	0.208	74.2	1575710	91.77
87	7.25	June	4830	0	73.43	73.43	0	0.09	0.21	74.3	1598870	91.93
88	7.33	July	4890	0	73.89	73.89	0	0.092	0.212	74.4	1622030	92.08
89	7.42	August	4940	0	74.34	74.34	0	0.092	0.213	74.5	1645180	92.18
90	7.5	September	4990	0	74.79	74.79	0	0.093	0.214	74.6	1668340	92.31
91	7.58	October	5040	0.0001	75.23	75.2301	0	0.094	0.215	74.7	1691500	92.42
92	7.67	November	5090	0.0001	75.67	75.6701	0	0.095	0.216	74.7	1714660	92.52
93	7.75	December	5140	0.0001	76.09	76.0901	0	0.095	0.216	74.8	1737810	92.61
94	7.83	January	5190	0.0001	76.51	76.5101	0	0.096	0.217	74.9	1760960	92.7
95	7.92	February	5240	0.0001	76.92	76.9201	0	0.096	0.218	75	1784120	92.81
96	8	March	5290	0.0001	77.33	77.3301	0	0.097	0.219	75.1	1807280	92.92
97	8.08	April	5340	0.0001	77.73	77.7301	0	0.099	0.22	75.2	1831920	93.07
98	8.17	May	5390	0.0001	78.12	78.1201	0	0.1	0.222	75.3	1856550	93.2
99	8.25	June	5450	0.0001	78.5	78.5001	0	0.101	0.224	75.4	1881190	93.36
100	8.33	July	5500	0.0001	78.88	78.8801	0	0.102	0.225	75.5	1905830	93.51
101	8.42	August	5550	0.0001	79.25	79.2501	0	0.103	0.226	75.6	1930470	93.62
102	8.5	September	5590	0.0001	79.61	79.6101	0	0.104	0.227	75.7	1955110	93.75
103	8.58	October	5640	0.0001	79.97	79.9701	0	0.105	0.228	75.8	1979750	93.86
104	8.67	November	5690	0.0001	80.32	80.3201	0	0.106	0.229	75.9	2004380	93.97
105	8.75	December	5730	0.0001	80.67	80.6701	0	0.106	0.229	76	2029020	94.06
106	8.83	January	5780	0.0001	81	81.0001	0	0.107	0.23	76	2053660	94.15
107	8.92	February	5820	0.0001	81.34	81.3401	0	0.107	0.231	76.1	2078300	94.26
108	9	March	5870	0.0001	81.67	81.6701	0	0.108	0.232	76.2	2102940	94.38
109	9.08	April	5910	0.0001	81.99	81.9901	0	0.109	0.233	76.3	2129150	94.53
110	9.17	May	5960	0.0001	82.3	82.3001	0	0.11	0.234	76.4	2155370	94.67
111	9.25	June	6010	0.0001	82.61	82.6101	0	0.112	0.236	76.6	2181580	94.83
112	9.33	July	6060	0.0001	82.92	82.9201	0	0.113	0.238	76.7	2207800	94.98
113	9.42	August	6100	0.0001	83.21	83.2101	0	0.114	0.239	76.8	2234010	95.09
114	9.5	September	6140	0.0001	83.51	83.5101	0	0.115	0.24	76.9	2260230	95.22
115	9.58	October	6180	0.0001	83.8	83.8001	0	0.116	0.241	77	2286440	95.34
116	9.67	November	6230	0.0001	84.08	84.0801	0	0.116	0.241	77.1	2312660	95.44
117	9.75	December	6270	0.0001	84.36	84.3601	0	0.117	0.242	77.1	2338880	95.54
118	9.83	January	6300	0.0001	84.63	84.6301	0	0.117	0.243	77.2	2365090	95.64
119	9.92	February	6350	0.0001	84.9	84.9001	0	0.118	0.243	77.3	2391310	95.75
120	10	March	6390	0.0001	85.16	85.1601	0	0.119	0.244	77.4	2417520	95.87



ANEXO N°9.5

ANALISIS DE DETERIORO MEPDG DISEÑO DE REFUERZO ESPESOR

2".

## Project: Diseño de refuerzo espesor 2.00pulg

### General Information

Design Life: 10 years  
 Existing pavement construction: August, 2004  
 Pavement overlay construction: February, 2013  
 Traffic open: April, 2013  
 Type of design: Flexible

Description:  
 Diseño de refuerzo con concreto asfaltico sobre la estructura del pavimento flexible de la Av. Aviación

### Analysis Parameters

#### Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	63	
Terminal IRI (in/mi)	172	80
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	80
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	80
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	80
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	80
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	80
Reflective cracking (%):	100	

Location: Av. Aviacion, Cerro Colorado - Arequipa  
 Project ID: 3  
 Section ID: km 2+100 - 6+300  
 Date: 30/07/2013  
 Station/milepost format: Miles: 0.000  
 Station/milepost begin: 0  
 Station/milepost end: 2.609  
 Traffic direction: North bound

### Default Input Level

Default input level: Level 3, Default and historical agency values.

### Traffic

Initial two-way AADTT: 616  
 Number of lanes in design direction: 2  
 Percent of trucks in design direction (%): 100  
 Percent of trucks in design lane (%): 80  
 Operational speed (mph): 25

### Traffic -- Volume Adjustment Factors

#### Monthly Adjustment Factors (Level 3, Default MAF)

Month	Vehicle Class									
	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8	Class 9	Class 10	Class 11	Class 12	Class 13
January	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
February	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
March	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
April	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
May	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
June	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
July	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
August	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
September	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
October	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
November	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
December	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

### Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

#### AADTT distribution by vehicle class

Class 4: 11.5%  
 Class 5: 44.8%  
 Class 6: 33.9%  
 Class 7: 2.2%  
 Class 8: 1.1%  
 Class 9: 2.2%  
 Class 10: 1.4%  
 Class 11: 2.2%  
 Class 12: 0.7%  
 Class 13: 0.0%

### Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	1.4%	Noon	5.7%
1:00 am	1.1%	1:00 pm	6.9%
2:00 am	0.9%	2:00 pm	6.2%
3:00 am	1.0%	3:00 pm	5.8%
4:00 am	1.4%	4:00 pm	5.5%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	6.3%
6:00 am	3.6%	6:00 pm	5.3%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	5.1%
8:00 am	6.2%	8:00 pm	4.6%
9:00 am	6.3%	9:00 pm	3.2%
10:00 am	6.2%	10:00 pm	2.1%
11:00 am	6.1%	11:00 pm	1.6%

## Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	6.4%	Compound
Class 5	6.4%	Compound
Class 6	6.4%	Compound
Class 7	6.4%	Compound
Class 8	6.4%	Compound
Class 9	6.4%	Compound
Class 10	6.4%	Compound
Class 11	6.4%	Compound
Class 12	6.4%	Compound
Class 13	6.4%	Compound

## Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Level 1: [Site Specific](#)

## Traffic -- General Traffic Inputs

Mean wheel location (inches from the lane marking): 18  
 Traffic wander standard deviation (in): 10  
 Design lane width (ft): 12

## Number of Axles per Truck

Vehicle Class	Single Axle	Tandem Axle	Tridem Axle	Quad Axle
Class 4	1.50	0.50	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.00	1.00	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.00	1.00	0.00
Class 8	2.50	0.50	0.00	0.00
Class 9	2.00	0.50	0.50	0.00
Class 10	1.00	1.00	1.00	0.00
Class 11	3.33	0.67	0.00	0.00
Class 12	2.00	2.00	0.00	0.00
Class 13	0.00	0.00	0.00	0.00

## Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft): 8.5

Dual tire spacing (in): 12

## Axle Configuration

Tire Pressure (psi) : 120

## Average Axle Spacing

Tandem axle(psi): 51.6

Tridem axle(psi): 49.2

Quad axle(psi): 49.2

## Climate

icm file:

[B:\Documentos\tesis\clima\Archivos icm\arequipa.icm](#)

Latitude (degrees.minutes) -16.37

Longitude (degrees.minutes) -71.56

Elevation (ft) 8003

Depth of water table (ft) 10

## Structure--Design Features

HMA E\* Predictive Model: NCHRP 1-37A viscosity based model.

HMA Rutting Model coefficients: NCHRP 1-37A coefficients

Endurance Limit (microstrain): None (0 microstrain)

Reflective cracking analysis: Yes

## Structure--Layers

### Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete  
Layer thickness (in): 2

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F°): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 6.397  
Air voids (%): 3.276  
Total unit weight (pcf): 152.39

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

#### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 7  
Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 54  
Cumulative % Retained #4 sieve: 76  
% Passing #200 sieve: 9

#### Asphalt Binder

Option: Conventional penetration grade  
Viscosity Grade: Pen 85-100  
A: 10.8232 (correlated)  
VTS: -3.621 (correlated)

#### Thermal Cracking Properties

Average Tensile Strength at 14°F: 444  
Mixture VMA (%): 11.2  
Aggregate coeff. thermal contraction (in./in.): 0.000005  
Mix coeff. thermal contraction (in./in.°F): 0.000013

Load Time (sec)	Low Temp. -4°F (1/psi)	Mid. Temp. 14°F (1/psi)	High Temp. 32°F (1/psi)
1	2.83E-07	4.14E-07	5.31E-07
2	2.96E-07	4.21E-07	6.21E-07
5	3.31E-07	5.24E-07	7.79E-07
10	3.38E-07	5.86E-07	8.76E-07
20	3.65E-07	6.48E-07	1.05E-06
50	3.79E-07	8E-07	1.36E-06
100	4E-07	9.1E-07	1.7E-06

### Layer 2 -- Asphalt concrete (existing)

Material type: Asphalt concrete (existing)  
Layer thickness (in): 2

#### General Properties

##### General

Reference temperature (F°): 70

##### Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 6.38  
Air voids (%): 5.66  
Total unit weight (pcf): 144.84

Poisson's ratio: 0.35 (user entered)

#### Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F°): 0.67  
Heat capacity asphalt (BTU/lb-F°): 0.23

#### Asphalt Mix

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 0  
 Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 27.69  
 Cumulative % Retained #4 sieve: 47.26  
 % Passing #200 sieve: 3.58

**Asphalt Binder**

Option: Conventional penetration grade  
 Viscosity Grade: Pen 85-100  
 A: 10.8232 (correlated)  
 VTS: -3.621 (correlated)

**Layer 3 -- A-1-a**

Unbound Material: A-1-a  
 Thickness(in): 7.87

**Strength Properties**

Input Level: Level 3  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 24132

**ICM Inputs**

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL): 0  
 Compacted Layer: Yes  
 Passing #200 sieve (%): 6.7  
 Passing #40: 20.6  
 Passing #4 sieve (%): 51  
 D10(mm): 0.1265  
 D20(mm): 0.3951  
 D30(mm): 0.9776  
 D60(mm): 8.094  
 D90(mm): 38.87

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	6.74
#100	11.06
#80	12.52
#60	
#50	17.7
#40	20.61
#30	23.67
#20	
#16	32.44
#10	38.75
#8	40.93
#4	51.05
3/8"	62.69
1/2"	67.98
3/4"	75.46
1"	80.24
1 1/2"	88.57
2"	100
2 1/2"	
3"	
3 1/2"	
4"	

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 135.2 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.03581 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 6.4 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 69.8 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	6.4278
b	1.5225
c	0.82105
Hr.	100

#### Layer 4 -- A-1-b

Unbound Material: A-1-b  
 Thickness(in): Semi-infinite

#### Strength Properties

Input Level: Level 3  
 Analysis Type: ICM inputs (ICM Calculated Modulus)  
 Poisson's ratio: 0.35  
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5  
 Modulus (input) (psi): 20623

#### ICM Inputs

##### Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 0  
 Liquid Limit (LL) 0  
 Compacted Layer No  
 Passing #200 sieve (%): 10.6  
 Passing #40 31.3  
 Passing #4 sieve (%): 61  
 D10(mm) 0.0528  
 D20(mm) 0.2045  
 D30(mm) 0.3747  
 D60(mm) 4.369  
 D90(mm) 34.03

Sieve	Percent Passing
0.001mm	
0.002mm	
0.020mm	
#200	10.56
#100	17.84
#80	20.25
#60	
#50	27.72
#40	31.29
#30	35.17
#20	
#16	44.39
#10	50.71
#8	52.48
#4	61.02
3/8"	69.11
1/2"	73.94
3/4"	80.83
1"	83.37
1 1/2"	92.09
2"	95.46
2 1/2"	
3"	100
3 1/2"	
4"	

##### Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 126.4 (derived)  
 Specific gravity of solids, Gs: 2.70 (derived)  
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.00591 (derived)  
 Optimum gravimetric water content (%): 7.7 (derived)  
 Calculated degree of saturation (%): 62.6 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	7.6015

<b>b</b>	0.85447
<b>c</b>	1.0344
<b>Hr.</b>	100

### Distress Model Calibration Settings - Flexible

<b>AC Fatigue</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	0.007566
Bf1	1
k2	3.9492
Bf2	0.95
k3	1.281
Bf3	1
<b>AC Reflective Cracking</b>	
c	1
<b>AC Rutting</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	-3.35412
Br1	1
k2	1.5606
Br2	1
k3	0.4791
Br3	1
Standard Deviation Total Rutting (RUT):	$0.24 * \text{POWER}(\text{RUT}, 0.8026) + 0.001$
<b>Thermal Fracture</b>	Level 4 (Regionally calibrated values)
k1	1.5
Bt1	1
Std. Dev. (THERMAL):	$0.1468 * \text{THERMAL} + 65.027$
<b>CSM Fatigue</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
k1	1
k2	1
<b>Subgrade Rutting</b>	Level 3: NCHRP 1-37A coefficients (nationally calibrated values)
<b>Granular:</b>	
k1	2.03
<b>Fine-grain:</b>	
k1	1.35
<b>AC Cracking</b>	
<b>AC Top Down Cracking</b>	
C1 (top)	7
C2 (top)	3.5
C3 (top)	0
C4 (top)	1000
Standard Deviation (TOP)	$200 + 2300 / (1 + \exp(1.072 - 2.1654 * \log(\text{TOP} + 0.0001)))$
<b>AC Bottom Up Cracking</b>	
C1 (bottom)	1
C2 (bottom)	1
C3 (bottom)	0
C4 (bottom)	6000
Standard Deviation (TOP)	$1.13 + 13 / (1 + \exp(7.57 - 15.5 * \log(\text{BOTTOM} + 0.0001)))$
<b>CSM Cracking</b>	
C1 (CSM)	1
C2 (CSM)	1
C3 (CSM)	0
C4 (CSM)	1000
Standard Deviation (CSM)	$\text{CTB} * 11$
<b>IRI</b>	
<b>IRI HMA Pavements New</b>	
C1(HMA)	40
C2(HMA)	0.4
C3(HMA)	0.008
C4(HMA)	0.015
<b>IRI HMA/PCC Pavements</b>	
C1(HMA/PCC)	40.8
C2(HMA/PCC)	0.575
C3(HMA/PCC)	0.0014
C4(HMA/PCC)	0.00825

## Project: Diseño de refuerzo espesor 2.00pulg

### Reliability Summary

Performance Criteria	Distress Target	Reliability Target	Distress Predicted	Reliability Predicted	Acceptable
Terminal IRI (in/mi)	172	80	75.5	99.999	Pass
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/mile):	2000	80	6800	2.46	Fail
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (%):	25	80	0	99.999	Pass
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/mi):	1000	80	1	99.999	Pass
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	80	0.09	99.999	Pass
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	80	0.2	99.999	Pass





**Predicted distress: Diseño de refuerzo espesor 2.00pulg**

Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking in New AC Layer FC1(%)	Reflective Cracking Existing Layers FC2(%)	Total Cracking Surface FC1 + FC2 (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr										
1	0.08	15.1	0	0	0	0	0.004	0.048	64.9	15000	80.03
2	0.17	41.7	0	0.2408	0.2408	0	0.005	0.058	65.3	29999	80.53
3	0.25	75.5	0	0.3012	0.3012	0	0.008	0.067	65.7	44999	80.99
4	0.33	113	0	0.3757	0.3757	0	0.009	0.072	65.9	59998	81.29
5	0.42	154	0	0.4664	0.4664	0	0.01	0.075	66	74998	81.43
6	0.5	197	0	0.576	0.576	0	0.011	0.078	66.2	89998	81.6
7	0.58	242	0.0001	0.7101	0.7102	0	0.012	0.08	66.3	104997	81.72
8	0.67	288	0.0001	0.8731	0.8732	0	0.012	0.081	66.3	119997	81.82
9	0.75	334	0.0001	1.071	1.0711	0	0.013	0.082	66.4	134996	81.89
10	0.83	380	0.0001	1.31	1.3101	0	0.013	0.083	66.5	149996	81.96
11	0.92	431	0.0001	1.6	1.6001	0	0.014	0.085	66.5	164996	82.06
12	1	482	0.0002	1.949	1.9492	0	0.015	0.087	66.6	179995	82.17
13	1.08	541	0.0002	2.368	2.3682	0	0.016	0.089	66.7	195955	82.33
14	1.17	599	0.0003	2.869	2.8693	0	0.017	0.091	66.8	211914	82.46
15	1.25	661	0.0003	3.464	3.4644	0	0.019	0.094	67	227874	82.65
16	1.33	722	0.0004	4.165	4.1654	0	0.02	0.097	67.1	243833	82.8
17	1.42	780	0.0005	4.983	4.9835	0	0.021	0.098	67.2	259793	82.88
18	1.5	840	0.0005	5.929	5.9295	0	0.022	0.1	67.3	275753	82.99
19	1.58	901	0.0006	7.011	7.0116	0	0.022	0.101	67.3	291712	83.08
20	1.67	961	0.0007	8.232	8.2327	0	0.023	0.102	67.4	307672	83.16
21	1.75	1020	0.0007	9.591	9.5917	0	0.023	0.102	67.4	323631	83.22
22	1.83	1070	0.0008	11.08	11.0808	0	0.024	0.103	67.5	339591	83.28
23	1.92	1140	0.0009	12.69	12.6909	0	0.024	0.104	67.5	355551	83.36
24	2	1200	0.0010	14.39	14.391	0	0.025	0.105	67.6	371510	83.46
25	2.08	1270	0.0011	16.15	16.1511	0	0.026	0.107	67.7	388491	83.6
26	2.17	1340	0.0012	17.96	17.9612	0	0.027	0.109	67.8	405472	83.71
27	2.25	1420	0.0014	19.77	19.7713	0	0.029	0.111	67.9	422453	83.86
28	2.33	1490	0.0015	21.55	21.5515	0	0.03	0.113	68	439434	84
29	2.42	1550	0.0016	23.28	23.2816	0	0.03	0.114	68.1	456415	84.08
30	2.5	1620	0.0018	24.93	24.9318	0	0.031	0.115	68.2	473396	84.18
31	2.58	1690	0.0019	26.49	26.4919	0	0.032	0.116	68.3	490377	84.27
32	2.67	1750	0.0020	27.95	27.952	0	0.032	0.117	68.3	507358	84.34
33	2.75	1810	0.0021	29.31	29.3121	0	0.033	0.117	68.4	524339	84.41
34	2.83	1870	0.0022	30.57	30.5722	0	0.033	0.118	68.4	541320	84.47
35	2.92	1940	0.0024	31.73	31.7324	0	0.034	0.118	68.5	558301	84.55
36	3	2010	0.0025	32.81	32.8125	0	0.034	0.119	68.6	575282	84.64
37	3.08	2090	0.0027	33.8	33.8027	0	0.035	0.121	68.7	593350	84.77
38	3.17	2160	0.0029	34.72	34.7229	0	0.036	0.122	68.7	611417	84.88
39	3.25	2230	0.0032	35.58	35.5831	0	0.038	0.124	68.8	629485	85.03
40	3.33	2310	0.0034	36.39	36.3934	0	0.039	0.126	69	647553	85.16
41	3.42	2380	0.0036	37.15	37.1536	0	0.039	0.127	69	665621	85.24
42	3.5	2440	0.0038	37.87	37.8738	0	0.04	0.128	69.1	683689	85.34
43	3.58	2510	0.0040	38.55	38.554	0	0.041	0.129	69.2	701756	85.43
44	3.67	2580	0.0041	39.21	39.2141	0	0.041	0.13	69.2	719824	85.51
45	3.75	2640	0.0043	39.84	39.8443	0	0.042	0.13	69.3	737892	85.58
46	3.83	2700	0.0045	40.45	40.4545	0	0.042	0.13	69.3	755960	85.64
47	3.92	2770	0.0046	41.04	41.0446	0	0.043	0.131	69.4	774027	85.73
48	4	2840	0.0048	41.62	41.6248	0	0.043	0.132	69.5	792095	85.82
49	4.08	2910	0.0051	42.4	42.4051	0	0.044	0.134	69.6	811319	85.95
50	4.17	2990	0.0054	42.92	42.9254	0	0.045	0.135	69.7	830543	86.06
51	4.25	3060	0.0057	43.44	43.4457	0	0.046	0.137	69.8	849768	86.2
52	4.33	3130	0.0061	43.95	43.9561	0	0.048	0.138	69.9	868992	86.32
53	4.42	3200	0.0063	44.46	44.4663	0	0.048	0.139	69.9	888216	86.42
54	4.5	3270	0.0066	44.97	44.9766	0	0.049	0.14	70	907440	86.52
55	4.58	3330	0.0068	45.47	45.4768	0	0.049	0.141	70.1	926664	86.61
56	4.67	3400	0.0071	45.97	45.9771	0	0.05	0.141	70.1	945888	86.69
57	4.75	3460	0.0073	46.47	46.4773	0	0.05	0.142	70.2	965112	86.76
58	4.83	3510	0.0075	46.96	46.9675	0	0.051	0.142	70.3	984336	86.83
59	4.92	3580	0.0077	47.46	47.4677	0	0.051	0.143	70.3	1003560	86.92
60	5	3650	0.0080	47.94	47.948	0	0.052	0.144	70.4	1022780	87.02
61	5.08	3720	0.0084	48.43	48.4384	0	0.053	0.145	70.5	1043240	87.14
62	5.17	3790	0.0087	48.92	48.9287	0	0.054	0.146	70.6	1063690	87.25
63	5.25	3860	0.0091	49.4	49.4091	0	0.055	0.148	70.7	1084150	87.39
64	5.33	3920	0.0095	49.88	49.8895	0	0.056	0.149	70.8	1104600	87.53
65	5.42	3990	0.0098	50.35	50.3599	0	0.057	0.15	70.9	1125060	87.62
66	5.5	4050	0.0102	50.82	50.8302	0	0.057	0.151	71	1145510	87.72
67	5.58	4110	0.0105	51.29	51.3005	0	0.058	0.152	71	1165970	87.81
68	5.67	4170	0.0108	51.76	51.7708	0	0.058	0.152	71.1	1186420	87.9
69	5.75	4230	0.0111	52.22	52.2311	0	0.059	0.153	71.2	1206870	87.98
70	5.83	4280	0.0113	52.67	52.6813	0	0.059	0.153	71.2	1227330	88.05
71	5.92	4340	0.0116	53.13	53.1416	0	0.06	0.154	71.3	1247780	88.14
72	6	4400	0.0119	53.58	53.5919	0	0.06	0.155	71.4	1268240	88.25
73	6.08	4470	0.0124	54.03	54.0424	0	0.061	0.156	71.5	1290000	88.37

Pavement age		Longitudinal Cracking (ft/mi)	Alligator Cracking in New AC Layer FC1(%)	Reflective Cracking Existing Layers FC2(%)	Total Cracking Surface FC1 + FC2 (%)	Transverse Cracking (ft/mi)	Subtotal AC Rutting (in)	Total Rutting (in)	IRI (in/mi)	Heavy Trucks (cumulative)	IRI at Reliability (in/mi)
mo	yr										
74	6.17	4530	0.0128	54.48	54.4928	0	0.062	0.157	71.6	1311760	88.48
75	6.25	4600	0.0133	54.93	54.9433	0	0.063	0.159	71.7	1333530	88.63
76	6.33	4660	0.0138	55.37	55.3838	0	0.064	0.16	71.8	1355290	88.76
77	6.42	4720	0.0142	55.81	55.8242	0	0.065	0.161	71.8	1377060	88.85
78	6.5	4780	0.0146	56.24	56.2546	0	0.066	0.162	71.9	1398820	88.96
79	6.58	4840	0.0150	56.67	56.685	0	0.066	0.162	72	1420580	89.05
80	6.67	4890	0.0154	57.1	57.1154	0	0.067	0.163	72.1	1442350	89.14
81	6.75	4940	0.0157	57.52	57.5357	0	0.067	0.163	72.1	1464110	89.23
82	6.83	4990	0.0160	57.94	57.956	0	0.068	0.164	72.2	1485870	89.31
83	6.92	5050	0.0163	58.36	58.3763	0	0.068	0.164	72.3	1507640	89.4
84	7	5100	0.0167	58.77	58.7867	0	0.069	0.165	72.4	1529400	89.5
85	7.08	5160	0.0173	59.18	59.1973	0	0.07	0.167	72.5	1552560	89.63
86	7.17	5220	0.0177	59.59	59.6077	0	0.071	0.168	72.6	1575710	89.75
87	7.25	5280	0.0184	60	60.0184	0	0.072	0.169	72.7	1598870	89.9
88	7.33	5340	0.0190	60.4	60.419	0	0.073	0.171	72.8	1622030	90.03
89	7.42	5390	0.0194	60.8	60.8194	0	0.073	0.171	72.8	1645180	90.13
90	7.5	5440	0.0199	61.2	61.2199	0	0.074	0.172	72.9	1668340	90.24
91	7.58	5490	0.0203	61.59	61.6103	0	0.075	0.173	73	1691500	90.34
92	7.67	5540	0.0208	61.98	62.0008	0	0.075	0.173	73.1	1714660	90.43
93	7.75	5590	0.0211	62.36	62.3811	0	0.076	0.174	73.2	1737810	90.52
94	7.83	5630	0.0215	62.74	62.7615	0	0.076	0.174	73.2	1760960	90.6
95	7.92	5680	0.0219	63.12	63.1419	0	0.076	0.175	73.3	1784120	90.69
96	8	5730	0.0223	63.5	63.5223	0	0.077	0.175	73.4	1807280	90.8
97	8.08	5790	0.0230	63.87	63.893	0	0.078	0.177	73.5	1831920	90.93
98	8.17	5840	0.0235	64.24	64.2635	0	0.079	0.178	73.6	1856560	91.05
99	8.25	5890	0.0243	64.61	64.6343	0	0.08	0.179	73.7	1881190	91.2
100	8.33	5940	0.0250	64.97	64.995	0	0.081	0.181	73.8	1905830	91.34
101	8.42	5990	0.0255	65.33	65.3555	0	0.082	0.181	73.9	1930470	91.43
102	8.5	6040	0.0260	65.69	65.716	0	0.082	0.182	74	1955110	91.55
103	8.58	6080	0.0265	66.04	66.0665	0	0.083	0.183	74	1979750	91.65
104	8.67	6130	0.0270	66.4	66.427	0	0.084	0.184	74.1	2004380	91.75
105	8.75	6170	0.0274	66.74	66.7674	0	0.084	0.184	74.2	2029020	91.84
106	8.83	6210	0.0278	67.08	67.1078	0	0.084	0.184	74.3	2053660	91.93
107	8.92	6250	0.0283	67.42	67.4483	0	0.085	0.185	74.3	2078300	92.03
108	9	6300	0.0288	67.76	67.7888	0	0.085	0.186	74.4	2102940	92.14
109	9.08	6350	0.0296	68.1	68.1296	0	0.086	0.187	74.5	2129150	92.27
110	9.17	6390	0.0302	68.43	68.4602	0	0.087	0.188	74.6	2155370	92.4
111	9.25	6440	0.0311	68.76	68.7911	0	0.088	0.189	74.8	2181580	92.54
112	9.33	6490	0.0318	69.09	69.1218	0	0.089	0.191	74.9	2207800	92.68
113	9.42	6530	0.0324	69.41	69.4424	0	0.09	0.191	74.9	2234010	92.79
114	9.5	6570	0.0331	69.73	69.7631	0	0.091	0.192	75	2260230	92.91
115	9.58	6610	0.0337	70.05	70.0837	0	0.091	0.193	75.1	2286440	93.01
116	9.67	6650	0.0342	70.36	70.3942	0	0.092	0.194	75.2	2312660	93.11
117	9.75	6690	0.0347	70.67	70.7047	0	0.092	0.194	75.3	2338880	93.21
118	9.83	6720	0.0352	70.98	71.0152	0	0.093	0.194	75.3	2365090	93.3
119	9.92	6760	0.0357	71.29	71.3257	0	0.093	0.195	75.4	2391310	93.4
120	10	6800	0.0363	71.59	71.6263	0	0.094	0.196	75.5	2417520	93.51

**ANEXO N°10.1**

**PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.**

## Presupuesto

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Cliente S10 S.A.C.  
 Lugar AREQUIPA - AREQUIPA - CERRO COLORADO

Costo al 23/07/2013

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				
01.01	CARTEL DE OBRA	und	1.00	420.16	420.16
02	OBRAS PRELIMINARES				
02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	gib	1.00	1,500.00	11,176.80
02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	60,480.00	0.16	9,676.80
03	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE				
03.01	SELLO DE FISURAS Y GRIETAS DE 3 A 6 mm	m	8,437.14	6.04	136,702.81
03.02	SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm	m	3,245.26	11.60	50,960.33
03.03	SELLO DE GRIETAS MAYORES a 19 mm	m	2,836.01	16.82	37,646.02
03.04	PARCHADO SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFALTICO	m2	8.74	45.26	47,701.69
04	REFUERZO ASFALTICO				
04.01	RIEGO DE LIGA	m2	60,480.00	1.55	395.57
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2'	m2	60,480.00	27.22	1,740,009.60
	Costo Directo				93,744.00
	Gastos Generales				1,646,265.60
	Utilidad 10%				1,888,309.17
					283,246.38
					188,830.92
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>2,360,386.47</b>
	<b>IMPUESTO IGV (18%)</b>				<b>424,869.56</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>2,785,256.03</b>

SON : DOS MILLONES SETECIENTOS OCHENTICINCO MIL DOSCIENTOS CINCUENTISEIS Y 03/100 NUEVOS SOLES

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0201001	MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300					
Subpresupuesto	001	MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300		Fecha presupuesto	23/07/2013		
Partida	01.01	CARTEL DE OBRA					
Rendimiento	und/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : und			420.16
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	<b>Materiales</b>						
0231220003	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSP.	und		1.0000	420.16	420.16	420.16
Partida	02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS					
Rendimiento	glb/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : glb			1,500.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	<b>Materiales</b>						
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb		1.0000	1,500.00	1,500.00	1,500.00
Partida	02.02	TRAZO Y REPLANTEO					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,000.0000	EQ. 3,000.0000	Costo unitario directo por : m2			0.16
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0027	9.64	0.03	0.03
01010300000005	OPERARIO TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0027	11.95	0.03	0.06
	<b>Materiales</b>						
02130300010002	YESO BOLSA 18 kg	bol		0.0020	5.90	0.01	0.01
0240020001	PINTURA ESMALTE	gal		0.0020	35.29	0.07	0.08
	<b>Equipos</b>						
0301000020	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	1.0000	0.0027	6.90	0.02	0.02
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.06	0.02	0.02
Partida	03.01	SELLO DE FISURAS Y GRIETAS DE 3 A 6 mm					
Rendimiento	m/DIA	MO. 2,000.0000	EQ. 2,000.0000	Costo unitario directo por : m			6.04
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0040	13.15	0.05	0.05
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0120	11.95	0.14	0.14
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0160	9.64	0.15	0.34
	<b>Materiales</b>						
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.1600	11.15	1.78	1.78
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1600	17.40	2.78	4.56
	<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.34	0.01	0.01
33011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0040	75.39	0.30	0.30
3301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0040	153.40	0.61	0.61
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	0.0040	56.12	0.22	1.14

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300 Fecha presupuesto 23/07/2013

Partida 03.02 SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm

Rendimiento m/DIA MO. 1,500.0000 EQ. 1,500.0000 Costo unitario directo por : m 11.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	13.15	0.07
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0160	11.95	0.19
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0213	9.64	0.21
<b>0.47</b>						
<b>Materiales</b>						
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.3200	11.15	3.57
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.3200	17.40	5.57
<b>9.14</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.47	0.01
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0053	75.39	0.40
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	1.0000	0.0053	88.50	0.47
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0053	153.40	0.81
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	0.0053	56.12	0.30
<b>1.99</b>						

Partida 03.03 SELLO DE GRIETAS MAYORES a 19 mm

Rendimiento m/DIA MO. 1,200.0000 EQ. 1,200.0000 Costo unitario directo por : m 16.82

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0067	13.15	0.09
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0200	11.95	0.24
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0267	9.64	0.26
<b>0.59</b>						
<b>Materiales</b>						
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.4800	11.15	5.35
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.4800	17.40	8.35
<b>13.70</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.59	0.02
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0067	75.39	0.51
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	1.0000	0.0067	88.50	0.59
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0067	153.40	1.03
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	0.0067	56.12	0.38
<b>2.53</b>						

Partida 03.04 PARCHADO SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS ASFALTICO

Rendimiento m2/DIA MO. 200.0000 EQ. 200.0000 Costo unitario directo por : m2 45.26

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Subpartidas</b>						
010304021101	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3		0.0600	631.62	37.90
010304050101	EXTENDIDO Y COMPACTADO MANUAL PARCHADO	m2		1.0000	2.65	2.65
010703020204	PERFILADO DE BACHES	m2		1.0000	3.01	3.01
010703081032	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA D=25 km	m3		0.0600	28.39	1.70
<b>45.26</b>						

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300 Fecha presupuesto 23/07/2013

Partida 04.01 RIEGO DE LIGA

Rendimiento m2/DIA MO. 3,600.0000 EQ. 3,600.0000 Costo unitario directo por : m2 1.55

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010005	PEON	hh	5.0000	0.0111	9.64	0.11
<b>Materiales</b>						
02010500010004	ASFALTO LIQUIDO RC-250	gal		0.1300	9.40	1.22
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.11	0.22
03012200080002	CAMION IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1,800 gl	hm	1.0000	0.0022	100.84	0.22

Partida 04.02 CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE 2"

Rendimiento m2/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : m2 27.22

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Subpartidas</b>						
010304021101	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	m3		0.0400	631.82	25.26
010304050102	EXTENDIDO Y COMPACTADO	m2		1.0000	0.82	0.82
010703081032	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA D=25 km	m3		0.0400	28.39	1.14
						27.22

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300 Fecha presupuesto 23/07/2013  
 Partida (010304021101-0201001-01) PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE  
 Rendimiento m3/DIA MO. 200.0000 EQ. 200.0000 Costo unitario directo por : m3 631.62

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0400	13.15	0.53
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.1200	11.95	1.43
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.2400	9.54	2.31
<b>4.27</b>						
<b>Materiales</b>						
0201050008	FIBRA CELULOSA	kg		9.6300	7.39	71.17
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		1.0000	21.90	21.90
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.1900	4.16	0.79
0207020001	ARENA	m3		0.2400	3.05	0.73
0207020002	FILLER	kg		179.4900	0.58	104.10
02130100060003	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	gal		39.4300	9.24	364.33
<b>563.02</b>						
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	4.27	0.13
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0400	125.00	5.00
0301390030001	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0400	1,480.00	59.20
<b>64.33</b>						

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300 Fecha presupuesto 23/07/2013  
 Partida (010703081032-0201001-01) TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA A OBRA D=25 km  
 Rendimiento m3/DIA MO. 30.0000 EQ. 30.0000 Costo unitario directo por : m3 28.39

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Mano de Obra</b>					
0101010004	OFICIAL	hh	0.5000	0.1333	11.25	1.50
	<b>Equipos</b>					
03012200040002	CAMION VOLQUETE DE 10 m3	hm	1.0000	0.2667	100.84	26.89
						26.89

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300

Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300

Fecha presupuesto 23/07/2013

Partida (010304050102-0201001-01) EXTENDIDO Y COMPACTADO

Rendimiento m2/DIA MO. 3,200.0000 EQ. 3,200.0000 Costo unitario directo por : m2 0.82

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0025	13.15	0.03
0101010004	OFICIAL	hh	3.0000	0.0075	11.25	0.08
0101010005	PEON	hh	6.0000	0.0150	9.64	0.14
<b>Equipos</b>						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.25	0.01
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 135 HP 9 - 11 ton	hm	1.0000	0.0025	64.80	0.16
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111 - 130 HP 9-11 ton	hm	1.0000	0.0025	74.60	0.19
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	1.0000	0.0025	84.63	0.21
						<b>0.57</b>

**ANEXO N°11.1**

**ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO DE LA  
PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE FALLAS AL 20%.**

## Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra 0201001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Subpresupuesto 001 MEJORAMIENTO DE PAVIMENTO EN LA AV. AVIACION KM 2+100 - 6+300  
 Fecha 23/07/2013  
 Lugar 040104 AREQUIPA - AREQUIPA - CERRO COLORADO

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>MANO DE OBRA</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	318.2307	13.15	4,184.73
0101010003	OPERARIO	hh	500.2570	11.95	5,978.07
0101010004	OFICIAL	hh	774.7969	11.25	8,716.47
0101010005	PEON	hh	2,605.8947	9.64	25,120.82
01010300000005	OPERARIO TOPOGRAFO	hh	163.2960	11.95	1,951.39
					45,951.48
<b>MATERIALES</b>					
02010500010004	ASFALTO LIQUIDO RC-250	gal	7,862.4000	9.40	73,906.56
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg	3,749.7112	11.15	41,809.28
0201050008	FIBRA CELULOSA	kg	23,301.9460	7.39	172,201.38
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	qib	1.0000	1,500.00	1,500.00
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3	2,419.7244	21.90	52,991.96
02070100010003	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3	459.7476	4.16	1,912.55
0207020001	ARENA	m3	580.7339	3.06	1,777.05
0207020002	FILLER	kg	434,316.3326	0.58	251,903.47
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol	3,749.7109	17.40	65,244.97
02130100060003	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	gal	95,409.7331	9.24	881,585.93
02130300010002	YESO BOLSA 18 kg	bol	120.9600	5.90	713.66
0231220003	CARTEL DE OBRA INC. INSTALACION Y TRANSP.	und	1.0000	420.16	420.16
0240020001	PINTURA ESMALTE	gal	120.9600	35.29	4,268.68
					1,550,235.65
<b>EQUIPOS</b>					
0301000020	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	163.2960	6.90	1,126.74
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			1,630.71
0301100001	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA 7 HP	hm	0.5830	6.10	3.56
03011000040002	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 135 HP 9 - 11 ton	hm	151.2000	64.80	9,797.76
03011000050002	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111 - 130 HP 9-11 ton	hm	151.2000	74.60	11,279.52
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	69.9498	75.39	5,273.52
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	36.2012	88.50	3,203.81
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	69.9498	153.40	10,730.30
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	96.7890	125.00	12,098.63
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	69.9498	56.12	3,925.58
03012200040002	CAMION VOLQUETE DE 10 m3	hm	647.2758	100.84	65,271.29
03012200080002	CAMION IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1,800 gl	hm	133.0560	100.84	13,417.37
03013900020002	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	151.2000	84.63	12,796.06
03013900030001	PLANTA DE ASFALTO EN CALIENTE M.E. 50,65 - 115 ton/h	hm	96.7890	1,480.00	143,247.72
					293,802.57
<b>Total</b>				<b>S/.</b>	<b>1,889,989.70</b>

## Presupuesto

Presupuesto 0201004 PLAN DE MANTENIMIENTO - TRATAMIENTO DE FISURAS  
 Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO  
 Cliente S10 S.A.C.  
 Lugar AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA

Costo al 03/11/2013

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				3,000.00
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	gib	4.00	750.00	3,000.00
02	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE				117,679.22
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm	m	10,144.76	11.60	117,679.22
	<b>Costo Directo</b>				120,679.22
	<b>Gasto Generales</b>				18,101.88
	<b>Utilidad (10%)</b>				12,067.92
	<b>Sub Total</b>				150,849.02
	<b>Impuesto IGV (18%)</b>				27,152.82
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				178,001.84

SON : CIENTO SETENTIOCHO MIL UNO Y 84/100 NUEVOS SOLES

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201004 PLAN DE MANTENIMIENTO - TRATAMIENTO DE FISURAS

Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO

Fecha presupuesto

03/11/2013

Partida 01.01 MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS

Rendimiento glb/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : glb 750.00

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Materiales</b>					
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb		1.0000	750.00	750.00
						750.00

Partida 02.01 SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm

Rendimiento m/DIA MO. 1,500.0000 EQ. 1,500.0000 Costo unitario directo por : m 11.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Mano de Obra</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	13.15	0.07
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0160	11.95	0.19
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0213	9.64	0.21
						0.47
	<b>Materiales</b>					
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.3200	11.15	3.57
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.3200	17.40	5.57
						9.14
	<b>Equipos</b>					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.47	0.01
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0053	75.39	0.40
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	1.0000	0.0053	88.50	0.47
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0053	153.40	0.81
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	0.0053	56.12	0.30
						1.99

## Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra 0201004 PLAN DE MANTENIMIENTO - TRATAMIENTO DE FISURAS  
 Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO  
 Fecha 03/11/2013  
 Lugar 040101 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>MANO DE OBRA</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	53.7672	13.15	707.04
0101010003	OPERARIO	hh	162.3162	11.95	1,939.68
0101010005	PEON	hh	216.0834	9.64	2,083.04
					4,729.76
<b>MATERIALES</b>					
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg	3,246.3232	11.15	36,196.50
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	qib	4.0000	750.00	3,000.00
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol	3,246.3232	17.40	56,486.02
					95,682.52
<b>EQUIPOS</b>					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			143.04
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	53.7672	75.39	4,053.51
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	53.7672	88.50	4,758.40
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	53.7672	153.40	8,247.89
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	53.7672	56.12	3,017.42
					20,220.26
<b>Total</b>				<b>S/.</b>	<b>120,632.54</b>

**ANEXO N°11.2**

**ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS Y PRESUPUESTO DE LA  
PROPUESTA DE TRATAMIENTO CON SLURRY SEAL.**

## Presupuesto

Presupuesto 0201005 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL  
 Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL  
 Cliente S10 S.A.C.  
 Lugar AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA

Costo al 03/11/2013

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES				750.00
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	gib	1.00	750.00	750.00
02	TRATAMIENTO DE SUPERFICIE				73,112.13
02.01	SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm	m	6,302.77	11.60	73,112.13
03	PAVIMENTOS				505,612.80
03.01	SLURRY SEAL	m2	60,480.00	8.36	505,612.80
	Costo Directo				579,474.93
	Gastos Generales				86,921.24
	Utilidad (10%)				57,947.49
	Sub Total				724,343.66
	Impuesto IGV (18%)				130,381.86
	TOTAL PRESUPUESTO				854,725.52

SON : OCHOCIENTOS CINCUENTICUATRO MIL SETECIENTOS VEINTICINCO Y 52/100 NUEVOS SOLES

## Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201005 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL  
 Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL Fecha presupuesto 03/11/2013  
 Partida 01.01 MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS

Rendimiento glb/DIA MO. 1.0000 EQ. 1.0000 Costo unitario directo por : glb 750.00

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Materiales</b>					
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb		1.0000	750.00	750.00
						750.00

Partida 02.01 SELLO DE GRIETAS DE 6 a 19 mm

Rendimiento m/DIA MO. 1,500.0000 EQ. 1,500.0000 Costo unitario directo por : m 11.60

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Mano de Obra</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0053	13.15	0.07
0101010003	OPERARIO	hh	3.0000	0.0160	11.95	0.19
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0213	9.64	0.21
						0.47
	<b>Materiales</b>					
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg		0.3200	11.15	3.57
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.3200	17.40	5.57
						9.14
	<b>Equipos</b>					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.47	0.01
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1.0000	0.0053	75.39	0.40
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	1.0000	0.0053	88.50	0.47
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	1.0000	0.0053	153.40	0.81
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	1.0000	0.0053	56.12	0.30
						1.99

Partida 03.01 SLURRY SEAL

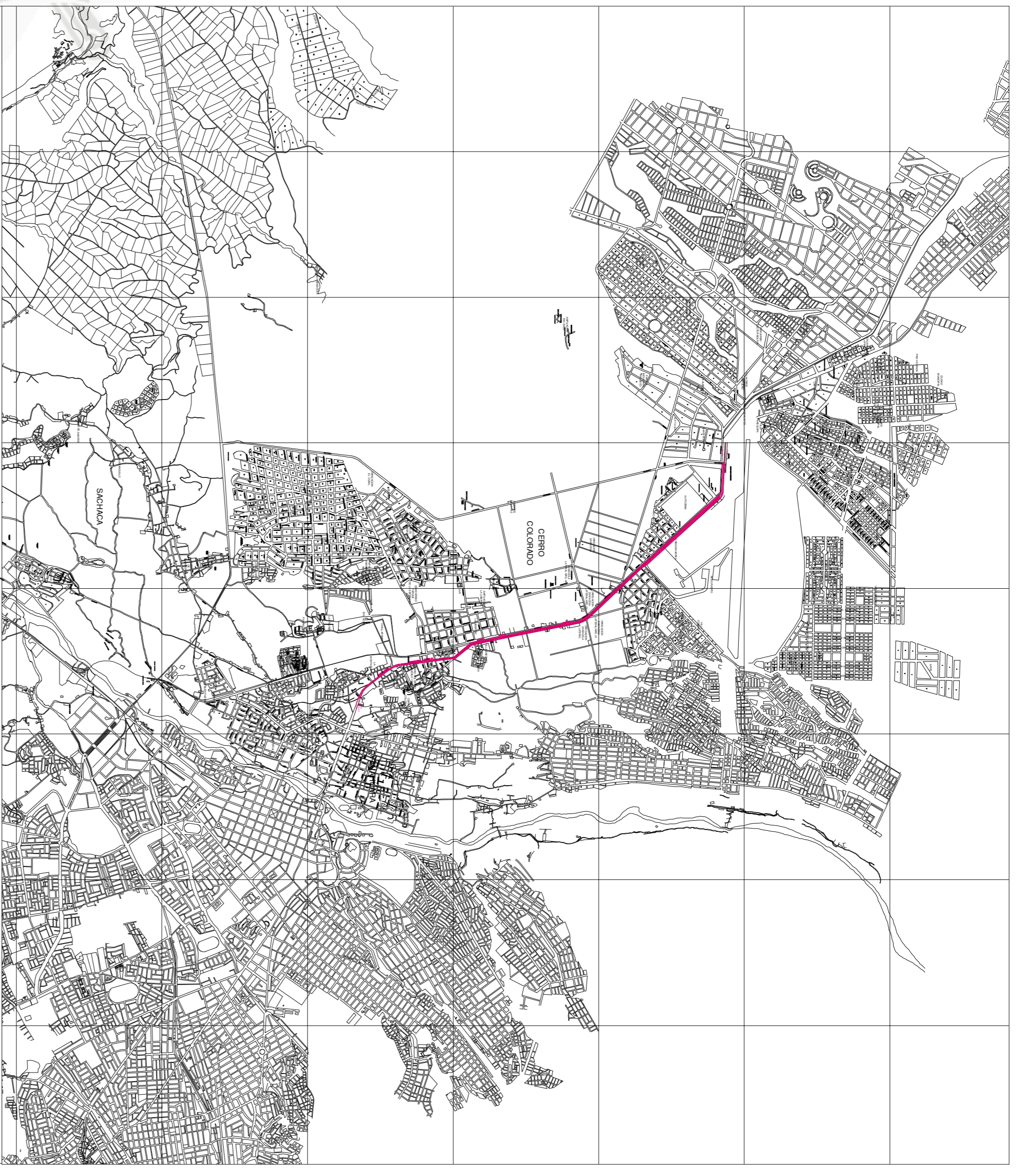
Rendimiento m2/DIA MO. 3,500.0000 EQ. 3,500.0000 Costo unitario directo por : m2 8.36

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	<b>Mano de Obra</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0023	13.15	0.03
0101010004	OFICIAL	hh	4.0000	0.0091	11.25	0.10
0101010005	PEON	hh	12.0000	0.0274	9.64	0.26
						0.39
	<b>Materiales</b>					
0201050002	EMULSION ASFALTICA	gal		0.5700	12.10	6.90
0207020001	ARENA	m3		0.0097	36.80	0.36
0207020002	FILLER	kg		0.1400	0.85	0.12
						7.38
	<b>Equipos</b>					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.39	0.02
0301100004	RODILLO NEUMATICO	hm	1.0000	0.0023	160.00	0.37
0301220007	CAMION BARANDA	hm	1.0000	0.0023	50.00	0.12
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	1.0000	0.0023	35.00	0.08
						0.59

## Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra 0201005 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL  
 Subpresupuesto 001 PLAN DE MANTENIMIENTO - SLURRY SEAL  
 Fecha 03/11/2013  
 Lugar 040101 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA

Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>MANO DE OBRA</b>					
0101010002	CAPATAZ	hh	172.5087	13.15	2,268.49
0101010003	OPERARIO	hh	100.8443	11.95	1,205.09
0101010004	OFICIAL	hh	550.3680	11.25	6,191.64
0101010005	PEON	hh	1,791.4010	9.64	17,269.11
					26,934.33
<b>MATERIALES</b>					
0201050002	EMULSION ASFALTICA	gal	34,473.6000	12.10	417,130.56
0201050007	SELLADOR ELASTOMERICO	kg	2,016.8864	11.15	22,488.28
0203030002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	qib	1.0000	750.00	750.00
0207020001	ARENA	m3	586.6560	36.80	21,588.94
0207020002	FILLER	kg	8,467.2000	0.85	7,197.12
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol	2,016.8864	17.40	35,093.82
					504,248.72
<b>EQUIPOS</b>					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo			1,268.23
0301100004	RODILLO NEUMATICO	hm	139.1040	160.00	22,256.64
03011400060003	COMPRESORA NEUMATICA 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	33.4047	75.39	2,518.38
03011400060005	RUTEADORA DE ASFALTO	hm	33.4047	88.50	2,956.32
0301140009	SELLADOR DE FISURAS	hm	33.4047	153.40	5,124.28
03012200030005	CAMIONETA PICK UP 1ton.	hm	33.4047	56.12	1,874.67
0301220007	CAMION BARANDA	hm	139.1040	50.00	6,955.20
0301290003	MEZCLADORA DE CONCRETO	hm	139.1040	35.00	4,868.64
					47,822.36
<b>Total</b>				<b>S/.</b>	<b>579,005.41</b>



LOCALIZACION  
ESC. 1:50 000

- LEYENDA
- PROLONGACION AVENIDA EJERCITO
  - AVENIDA PUMACAHUA
  - AVENIDA AVIACION



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS CIVIL Y DEL AMBIENTE**  
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

TESIS:  
**"DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUIAS ASSHTO 93 Y AASHTO 2008 EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM 2+100 AL KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA"**

BACHILLER:  
**GONZALES GONZALES MARINA VANESSA**


LAMINA N°:

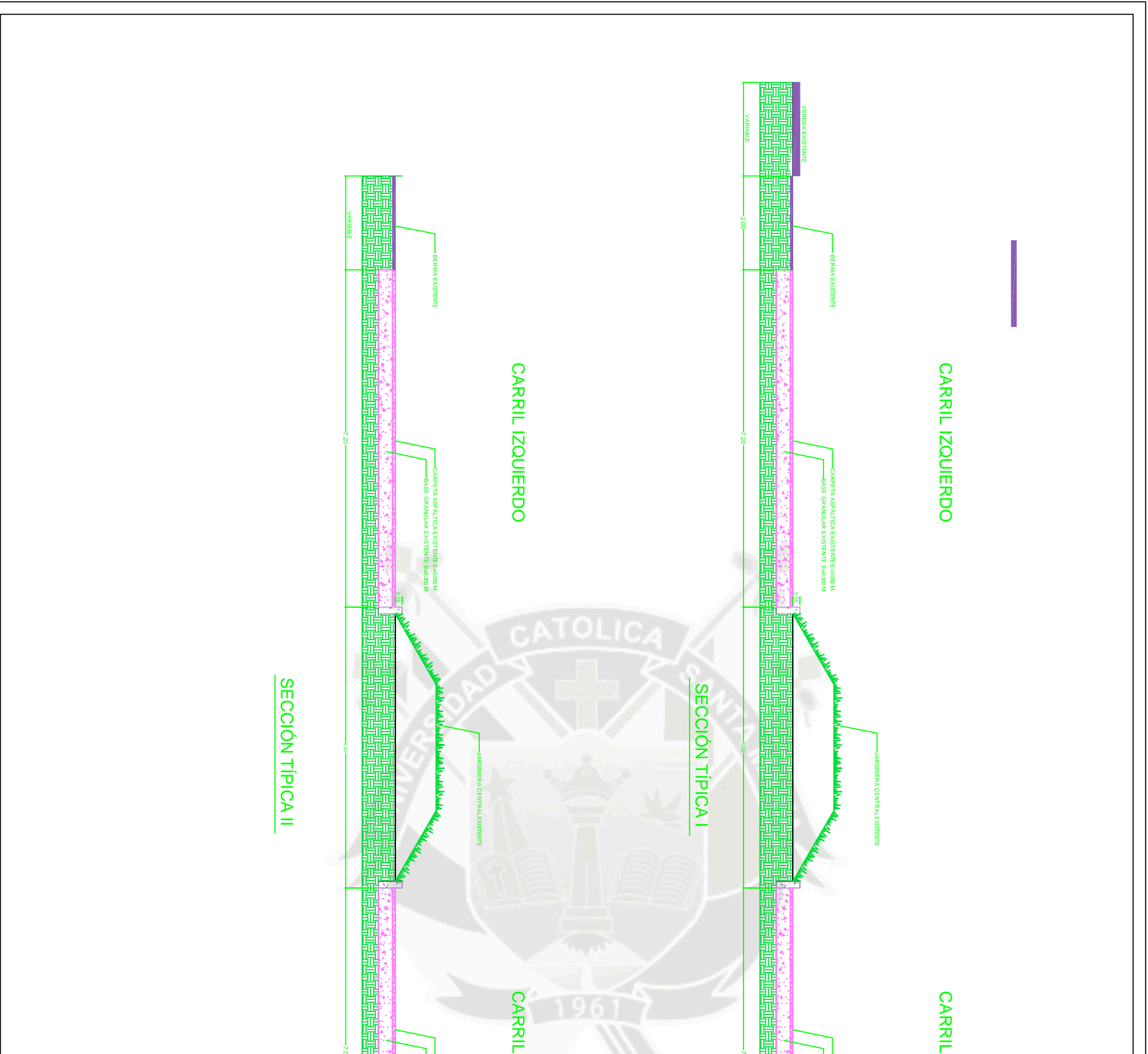
PLANO:  
**UBICACION DEL PROYECTO**

ESCALA:  
**1/100**

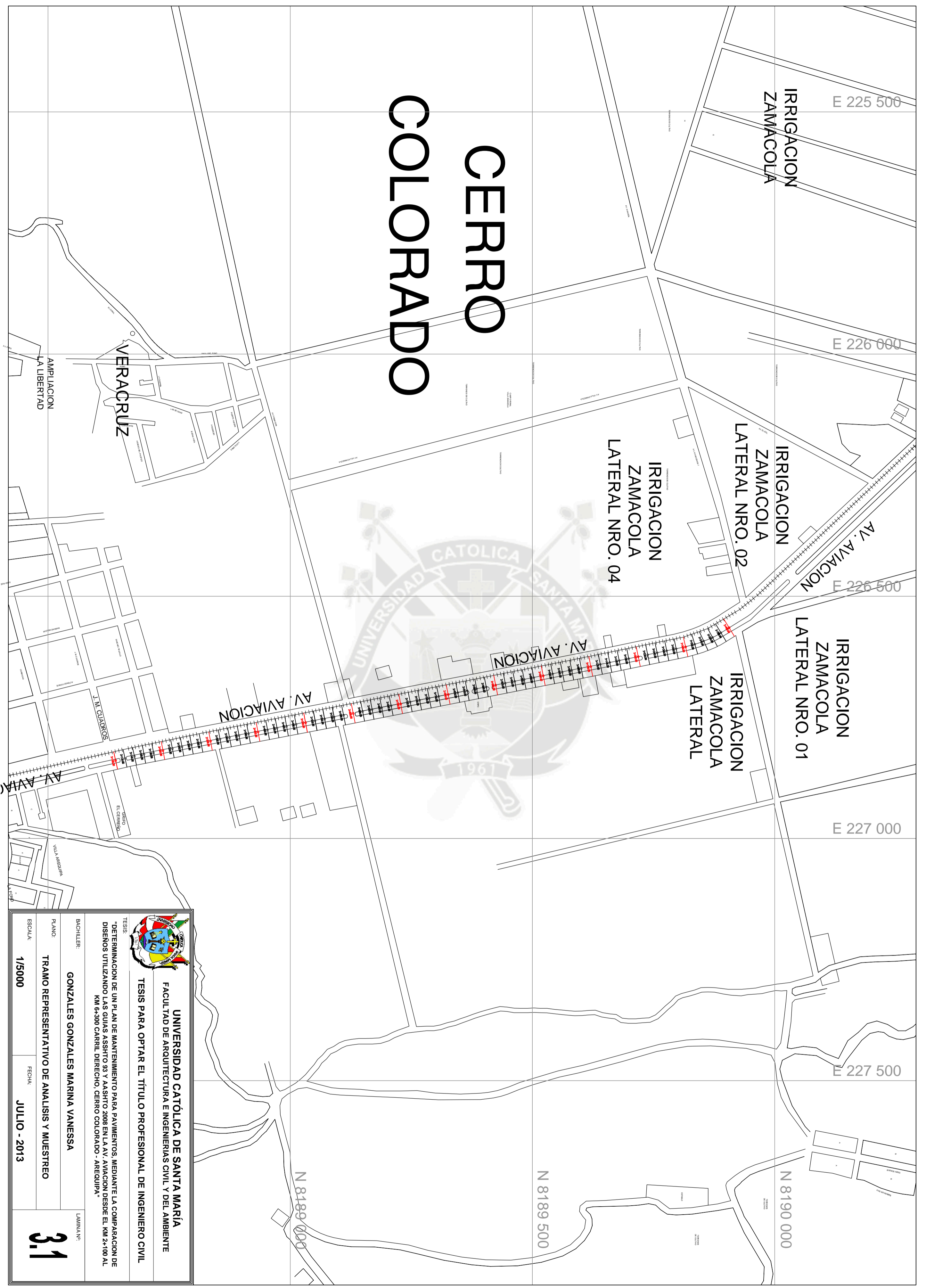
FECHA:  
**JULIO - 2013**

**21**

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE</p>		<p><b>TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL</b></p>
<p>BACHILLER: <b>GONZALES GONZALES MARINA VANESSA</b></p>		
<p>PLANO: <b>SECCION TIPICA</b></p>	<p>ESCALA: <b>1/100</b></p>	<p>FECHA: <b>JULIO - 2013</b></p>
<p>LÁMINA N°: <b>22</b></p>		



# CERRO COLORADO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESIS  
"DETERMINACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACION DE  
DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUIAS ASSHTO 93 Y AASHTO 2008 EN LA AV. AVIACION DESDE EL KM 2+100 AL  
KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA"

BACHILLER:  
**GONZALES GONZALES MARINA VANESSA**

LAMINA Nº

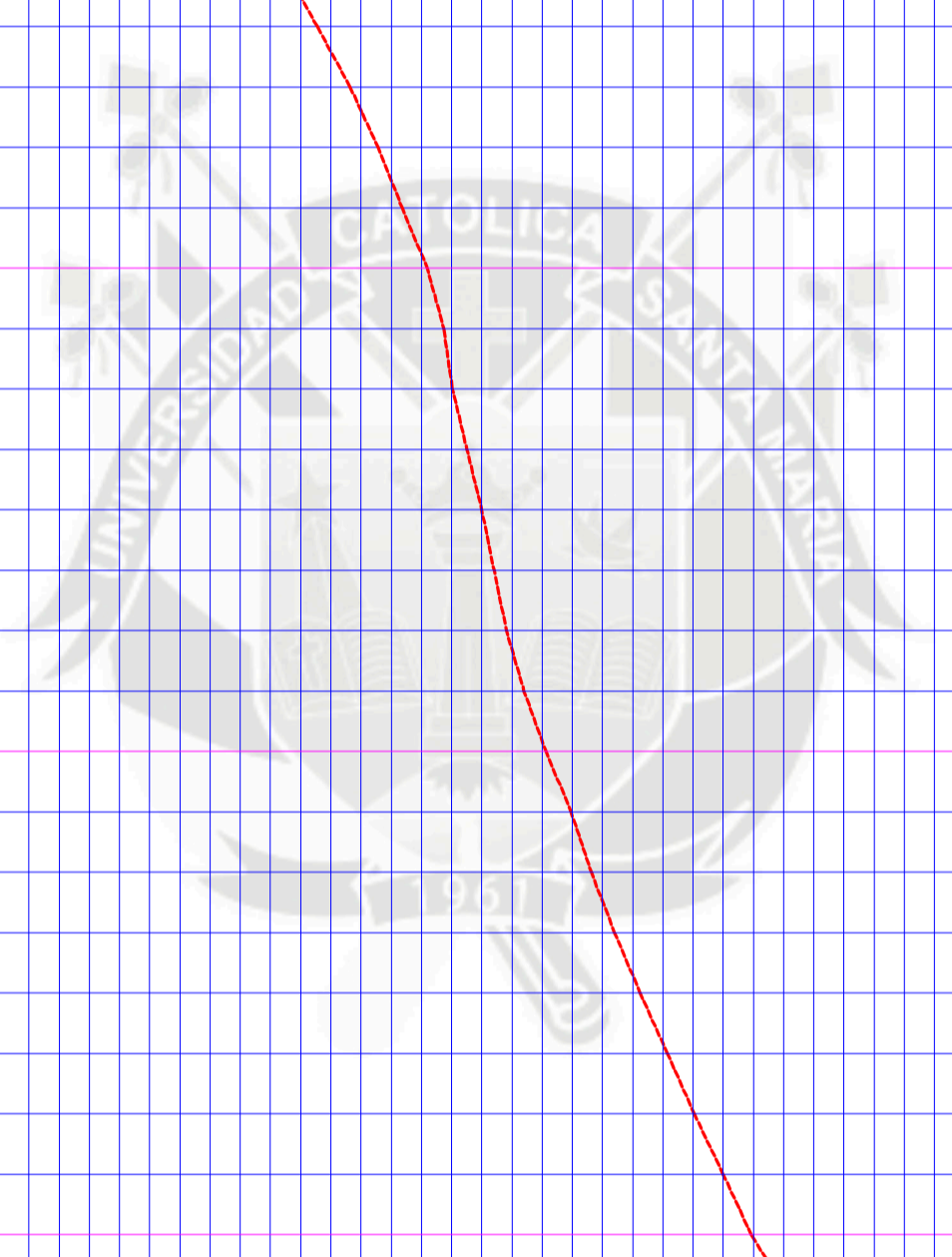
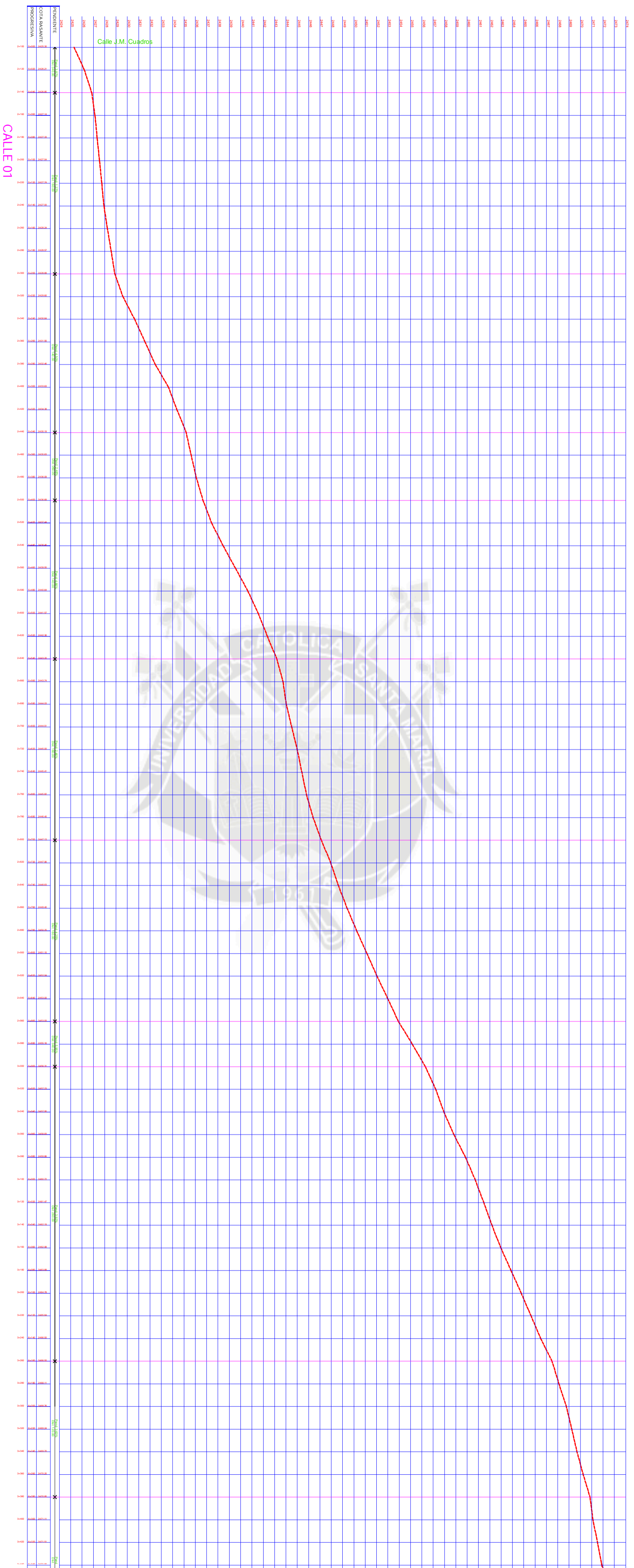
PLANO:  
**TRAMO REPRESENTATIVO DE ANALISIS Y MUESTREO**

ESCALA:  
**1/5000**

FECHA:

**JULIO - 2013**

**31**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
 FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESIS: "DETERMINACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA PAVIMENTOS, MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE DISEÑOS UTILIZANDO LAS GUÍAS AASHTO 93 Y AASHTO 2008 EN LA AV. AVIACIÓN DESDE EL KM 2+100 AL KM 6+300 CARRIL DERECHO, CERRO COLORADO - AREQUIPA."

BACHELIER: **GONZALES GONZALES MARINA VANESSA**

PLANO: **PERFIL LONGITUDINAL DEL TRAMO EN ESTUDIO**

ESCALA: **1/5000**

FECHA: **JULIO - 2013**

LÁMINA N°: **4.1**