



**Universidad
Continental**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**Implementación de resultados del
ensayo a escala real acelerado en el
diseño de pavimentos en el Perú-2017**

Carlos Antonino Sancho Ninahuanca

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR
ING. AUGUSTO ELÍAS GARCÍA CORZO

DEDICATORIA

- A mi padre, luchador de voluntad inquebrantable y ejemplo vivo de lo que deseo llegar a ser.
- A mi madre, por darme siempre el apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

- **AL ING. AUGUSTO ELÍAS GARCÍA CORZO**, asesor de tesis, por su apoyo incondicional para poder realizar este trabajo, dado que siempre con sus sabios consejos supo guiarme por el camino correcto para lograr un buen estudio de investigación y así poder culminar con gran éxito mis estudios universitarios.
- **AL ING. ANDRÉS SOTIL CHÁVEZ**, por el apoyo brindado durante este proceso de investigación y por todos los consejos brindados hacia mi persona. Además de haberme ofrecido sus importantes conocimientos en la ingeniería de pavimentos y transporte, dado que gracias a ello me permiten investigar este campo de estudio.
- A mis **COLEGAS Y AMIGOS**, que contribuyeron en mi vida estudiantil universitaria y promovieron la ejecución del presente trabajo de investigación, que sin el apoyo de ellos este informe de tesis no habría sido posible, a todos ellos un agradecimiento por todo.
- A la **UNIVERSIDAD CONTINENTAL** por haberme brindado una educación de calidad, para así poder construir una base de conocimientos aprendidos durante todo este tiempo, también a todos los docentes de cada curso que siempre me inculcaron a realizar la investigación.

RESUMEN

Actualmente existen nuevas tecnologías para la evaluación de desempeño de pavimentos ya sea en nuestro país, así como en el exterior, involucrando áreas de investigación como: materiales granulares y suelos, mezclas asfálticas, químicas de materiales, técnicas de preservación, evaluación de pavimentos y evaluación de pavimentos a escala natural, ya sea en tiempo real o acelerada (*Accelerated Pavement Testing*, APT). Esta última es muy importante ya que permite simular el desempeño en campo de una estructura de pavimento a lo largo de su vida de diseño en un periodo reducido de unos cuantos meses.

El presente trabajo de tesis titulado “Implementación de resultados del ensayo a escala real acelerado en el diseño de pavimentos en el Perú – 2017” consiste en comparar los resultados de APT del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de la Universidad de Costa Rica (UCR) con los resultados obtenidos por el software versión 0.7 del MEPDG (*Mechanistic Empiric Pavement Design Guide*) desarrollado en EE.UU. y luego replicar este ejercicio con datos y carreteras peruanas, con todas las limitaciones que esto conlleva, con el objetivo de poder predecir de la mejor manera posible el comportamiento de las carreteras peruanas evaluadas.

La primera parte del desarrollo de la tesis consiste en compilar los resultados de rugosidad (IRI) y deformación permanente de diferentes tipos de pavimento para un periodo de diseño de 10 años que se realizó en el UCR Lanamme. Seguido a esto se hizo una simulación en el software del MEPDG, utilizando climas simulados en Ejes Equivalentes (ESALs por su sigla en inglés) y con clima de *Key West*, Florida, región con un clima similar al de San José de Costa Rica. Con estos dos sets de datos se procedió a realizar una calibración regional para San José, Costa Rica.

Luego, se procedió a correr el software versión 0.7 del MEPDG (*Mechanistic Empiric Pavement Design Guide*) para la carretera Ayacucho – Abancay, ubicada en la región de Ayacucho. Para los diferentes factores que intervienen como el tráfico, clima y demás se determinaron de acuerdo a los requerimientos de la guía de diseño mecanístico empírico (MEPDG). Para generar los espectros de carga del tráfico se utilizaron los datos del tramo de las localidades de Ocosingo hacia Chincheros, así como para los factores del clima se implementó una data electrónica de medición horaria de la ciudad del Cusco, debido a que en Ayacucho no existe un sistema de medición automática horaria que exige la guía. Los

factores de tráfico y clima fueron desarrollados a partir de las tesis anteriores como son: “Caracterización del tránsito de vehículos pesados aplicando la metodología MEPDG – Aashto 2008; aplicación en pavimento de concreto hidráulico – Lima” y de la tesis “Implementación del modelo climático EICM con fines de diseño para pavimento de concreto asfáltico aplicando la metodología MEPDG”.

Los resultados de la corrida del Software muestran la rugosidad (IRI) y deformación permanente de los tipos de caso tratados en Lanamme UCR, posterior a eso se hizo una calibración para cada caso tratado obteniendo así diferentes resultados con el cual se puede tener una mejor perspectiva del comportamiento estructural del pavimento. Como se observó en la calibración de los resultados de Costa Rica y Aashto 2008, en la carretera Ayacucho – Abancay no se puede proponer lo mismo debido a que no existe un ensayo a escala real acelerado para poder realizar la calibración respectiva.

Es por esto, que esta tesis se constituye en un ejemplo real de correr el software con una data de mejor calidad que en proyectos de tesis anteriores y que se queda corta debido a la no existencia de data de campo medido a tiempo real o acelerado para determinar la validez de los resultados finales; y por lo tanto resalta y concluye en la necesidad de realizar estos ensayos ya que la data en el Perú sí se puede adaptar para correr el software del MEPDG.

Palabras clave: calibración de daño, deformación permanente, índice de rugosidad internacional, ensayo a escala real acelerado, guía de diseño Aashto 2008.

ABSTRACT

Currently there are new technologies for performance evaluation of pavement either in our country and abroad, involving research areas such as granular materials and Soils, Asphalt Mixtures, Chemical Materials, Techniques Preservation, Pavement Evaluation and Assessment full-scale pavements, either in real time or accelerated (accelerated pavement Testing, APT). The latter is very important because it allows to simulate the field performance of pavement structure throughout its design life in a small period of a few months.

This thesis entitled "IMPLEMENTATION OF TEST RESULTS IN FULL SCALE ACCELERATED PAVEMENT DESIGN IN PERU - 2017" it is to compare the results of APT National Laboratory of Materials and Structural Models (LANAMME) of the University of Costa Rica (UCR) with the results obtained by version 0.7 of MEPDG (Empiric Mechanistic Pavement Design Guide) software developed in USA. and then replicate this exercise with data and Peruvian roads, with all the limitations that this entails, in order to be able to predict the best way possible the performance of the Peruvian roads evaluated.

The first part of the development of the thesis is to compile the results of roughness (IRI) and Permanent Deformation of different types of pavement design for a period of 10 years was held at the UCR LANAMME. Following this was a simulation in MEPDG software using simulated axle equivalent (ESALs for its acronym in English) and climate of Key West, Florida, with a similar region of San José de Costa Rica weather climates. With these two sets of data proceeded to perform a regional calibration for San Jose, Costa Rica.

Then he proceeded to run version 0.7 of MEPDG (Empiric Mechanistic Pavement Design Guide) software for road Ayacucho - Abancay, located in the region of Ayacucho. For different factors involved such as traffic, weather and others were determined according to the requirements of mechanistic empirical design guide (MEPDG). To generate spectra traffic load data section of the towns of Ocos towards Chincheros was used, as well as weather factors electronic data of time measuring Cusco was implemented because in Ayacucho not a system of automatically measuring time required by the guide. The traffic and weather factors were developed from the above thesis as: "CHARACTERIZATION HEAVY GOODS TRAFFIC APPLYING THE METHODOLOGY MEPDG - AASHTO 2008; APPLICATION IN HYDRAULIC CONCRETE PAVEMENT - LIMA "and the thesis" EICM

IMPLEMENTATION OF CLIMATE MODEL DESIGN FOR PURPOSES OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT applying the methodology MEPDG "

The run results Software show roughness (IRI) and permanent deformation of the types of case treated LANAMME UCR, after it became a calibration for each case treated obtaining different results which can have a better perspective structural pavement performance. As we noted in the calibration of the results of Costa Rica and AASHTO 2008 in Ayacucho road - Abancay cannot be proposed as the same because there is no full scale test accelerated to perform the respective calibration.

That is why, this thesis constitutes a real example of running the software with data of better quality than in previous draft thesis and falls short due to the absence of data from field measured in real time or accelerated determining the validity of the final results; and therefore highlights and concludes on the need since the data in Peru if it can be adapted to run software MEPDG these tests.

Keywords: Calibration damage, Creep, International Roughness Index, Accelerated Real scale test, AASHTO 2008 design guide.

ÍNDICE

ASESOR	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.2 Formulación del problema	10
A. Problema general.....	10
B. Problemas específicos	10
1.2 OBJETIVOS:	11
1.2.1 Objetivo general	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.3.1 Justificación teórica	11
1.3.2 Justificación práctica.....	12
1.3.3 Justificación metodológica	12
1.4 HIPÓTESIS.....	12
1.4.1 Hipótesis general.....	12
1.4.2 Hipótesis específicos.....	13
1.5 VARIABLES.....	13
1.5.1 Variables	13
1.5.2 Operacionalización de las variables.....	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
-------------------------------------------	----

2.2 BASES TEÓRICAS	24
2.2.1 Ensayos experimentales en pistas de pruebas.....	24
2.2.2 El pavimento	27
2.2.3 Tipos de pavimentos	29
A. El pavimento flexible	29
B. El pavimento rígido	30
2.2.4 Parámetros de diseño de un pavimento	31
A. Parámetros externos.....	32
2.2.5 Desempeño del pavimento	32
A. Funcional	32
B. Estructural.....	32
2.2.6 Diseño de pavimentos.....	32
A. Métodos de diseño de pavimentos	33
2.2.7 Análisis de pavimentos flexibles	35
A. Fisuramiento por fatiga	35
B. Ahuellamiento o deformación permanente	36
2.2.8 Diseño de pavimentos flexibles.....	37
A. Método del Instituto del Asfalto	37
B. Método Aashto 1993.....	38
2.2.9 Diseño de pavimentos rígidos.....	39
A. Método PCA para pavimentos con refuerzo	39
B. Método Aashto para pavimentos sin refuerzo	40
2.2.10 Procedimiento método Aashto (2008) en el Perú.....	40
A. Guía de diseño mecanístico – empírico de pavimentos	40
B. Variables de entrada	41
C. Niveles jerárquicos de los datos de entrada.....	47
2.2.11 Lanamme UCR	48
A. Pruebas preliminares	49
B. Laboratorios de infraestructura vial	51
C. Ensayos de pavimentos a escala natural	53
D. Proyecto de implementación del PaveLab (HVS Costa Rica) para evaluación de desempeño	55
E. PaveLab’s HVS.....	55
2.3 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS	60

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	63
3.1.1 Método de la investigación	63
A. Método general o teórico de la investigación.....	63
B. Método específico de la investigación.....	64
3.1.2 Tipo de investigación.....	64
3.1.3 Nivel de la investigación	64
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	64
3.3.1 Población	64
3.3.2 Muestra	64
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	65
3.4.1 Técnicas utilizados en la recolección de datos	65
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	65

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL PROYECTO	66
4.1.1 Ubicación del proyecto	66
4.1.2 Rutas de acceso.....	68
A. Vía terrestre	68
B. Vía aérea	68
4.2 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO PARA LA CARRETERA AYACUCHO – ABANCAY	69
4.2.1 Evaluación de información.....	70
A. Determinar parámetros requeridos por Mepdg.....	70
4.2.2 Recolección de información de tráfico	70
4.2.3 Obtención de los espectros de carga y los otros parámetros de tráfico	71
A. Transito medio diario anual de camiones (Tmdac).....	71
B. Número de carriles en la dirección de diseño.....	73
C. Porcentaje de camiones en la dirección de diseño.....	73
D. Porcentaje de camiones en el carril de diseño	75
E. Velocidad de operación de los vehículos	75
4.2.4 Factores de ajuste de volúmenes de tráfico.....	75

A. Factor de ajuste mensual	75
B. Distribución de tipo de vehículo	76
C. Factor de distribución horaria de camiones (FDH)	79
D. Factor de crecimiento de tráfico	80
4.2.5 Entrada de datos generales de tráfico	80
4.2.6 Procedimiento para la generación de espectros de carga por eje	83
A. Gráfica de los espectros de carga por eje	84
4.3 PROCESO PARA GENERAR EL MODELO CLIMÁTICO PARA LA CARRETERA AYACUCHO – ABANCAY	87
4.3.1 Verificación de la información disponible.	89
A. Parámetros requeridos	89
B. Disponibilidad de data climática	89
C. Principales limitaciones	93
4.3.2 Análisis y recopilación de información.	94
A. Interpretación de los parámetros adoptados por el Mepdg y análisis del entorno	95
B. Recolección de información	100
4.3.3 Generar el archivo climático ICM.....	105
A. Identificar la estructura propia del archivo ICM.....	105
B. Integración de información climática.....	107
4.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS BAJO LA METODOLOGÍA DEL ASSHTO 2008 PARA LOS ENSAYOS DEL LABORATORIO LANAMME UCR	108
4.4.1 Caso 1	108
4.4.2 Caso 2.....	109
4.4.3 Caso 3.....	109
4.4.4 Caso 4.....	110
4.4.5 Módulos (Psi)	110
4.4.6 Conversión de Esals vehículos por día.....	111
4.4.7 Procesar los datos mediante el <i>software</i> “ <i>Design Guide 2002</i> ”.....	111
4.5 DISEÑO DE PAVIMENTOS BAJO LA METODOLOGÍA DEL ASSHTO 2008 PARA LA CARRETERA AYACUCHO – ABANCAY	113
4.5.1 Información general del proyecto.....	113
4.5.2 Identificación del lugar del proyecto.....	114
4.5.3 Criterio de desempeño	114
A. Tráfico	114

B. Clima.....	115
C. Propiedades de drenaje.....	115
D. Estructura del pavimento.....	115
4.5.4 Procesar los datos mediante <i>software</i> “ <i>Design Guide 2002</i> ”.....	116

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.1 RESULTADOS ENSAYO A ESCALA REAL ACELERADO – COSTA RICA.....	117
5.1.1 Índice de rugosidad internacional.....	117
5.1.2 Deformación permanente.....	119
5.2 RESULTADOS DE CASOS TRATADOS APLICANDO EL DISEÑO AASHTO 2008	121
5.2.1 Resultados del caso 1 de Lanamme UCR con el método Aashto 2008.....	121
A. Índice de rugosidad internacional.....	121
B. Deformación permanente.....	121
5.2.2 Resultados del caso 2 de Lanamme UCR con el método Aashto 2008.....	123
A. Índice de rugosidad internacional.....	123
B. Deformación permanente.....	123
5.2.3 Resultados del caso 3 de Lanamme UCR con el método Aashto 2008.....	125
A. Índice de rugosidad internacional.....	125
B. Deformación permanente.....	125
5.2.4 Resultados del caso 4 de Lanamme UCR con el método Aashto 2008.....	127
A. Índice de rugosidad internacional.....	127
B. Deformación permanente.....	128
5.3 RESULTADOS DEL CASO AYACUCHO – ABANCAY APLICANDO AASHTO 2008	129
5.3.1 Índice de rugosidad internacional.....	129
5.3.2 Deformación permanente.....	130
5.4 CONSTANTE DE CALIBRACIÓN ENTRE RESULTADOS IRI LANAMME UCR –	
AASHTO 2008.....	131
5.4.1 Constante de calibración de IRI de Costa Rica y Aashto 2008.....	131
A. Constante para el Caso 1.....	131
B. Constante para el Caso 2.....	132
C. Constante para el Caso 3.....	132
D. Constante para el Caso 4.....	133

5.4.2	Constante de calibración de deformación permanente de Costa Rica y Aashto 2008	133
	A. Constante para el Caso 1.....	133
	B. Constante para el Caso 2.....	134
	C. Constante para el Caso 3.....	134
	D. Constante para el Caso 4.....	135
5.4.3	Resultados de las constantes de calibración	135
5.5	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	139
5.5.1	Comprobación de hipótesis general	139
5.5.2	Comprobación de hipótesis específicas	141
5.5.3	Comprobación de hipótesis específicas	143
	CONCLUSIONES	146
	RECOMENDACIONES.....	147
	REFERENCIAS	148
	ANEXOS	151

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Infraestructura vial existente departamental 2013	9
Tabla N° 2: Operacionalización de las variables: variable 1	13
Tabla N° 3: Operacionalización de las variables: variable 2	14
Tabla N° 4: Configuración vehicular peruana según Fhwa.....	44
Tabla N° 5: Parámetros establecidos para clima diseño MEPDG.	46
Tabla N° 6: Cuadro de resumen de volumen de camiones por hora en un día	71
Tabla N° 7: Datos disponibles de pesaje vehicular	72
Tabla N° 8: Evolución del tmdac en el tiempo, estación de peaje Socos - Huamanga	73
Tabla N° 9: Volúmenes de tráfico por sentido	74
Tabla N° 10: Porcentaje de camiones en la dirección de diseño.....	74
Tabla N° 11: Factores de ajuste mensual por tipo de vehículo.....	76
Tabla N° 12: Distribución de vehículos para los años 2013,2014 y 2015	76
Tabla N° 13 Valores de distribución por tipo de vehículo del año 2015.....	77
Tabla N° 14 Distribución de vehículos del año 2015, según El Renav	78
Tabla N° 15: Distribución de camiones por hora	79
Tabla N° 16: Valores por defecto del número medio de ejes por vehículo	81
Tabla N° 17: Resumen de parámetros de tráfico según su nivel de entrada.....	83
Tabla N° 18: Configuración de ejes de camiones evaluados	84
Tabla N° 19: Valores de espectros de carga para eje simple.....	85
Tabla N° 20: Valores de espectros de carga para eje Tándem	86
Tabla N° 21: Valores de espectros de carga para eje Tridem	87
Tabla N° 22: Datos meteorológicos requeridos por la metodología MEPDG, según su frecuencia de medición y las unidades reconocidas por la MEPDG.	89
Tabla N° 23: Parámetros usados por el MEPDG, tipos de observaciones y numero de observaciones mínima diaria de acuerdo al Senamhi y OMM N°364	92
Tabla N° 24: Parámetros usados por el MEPDG, tipos de observaciones y numero de observaciones mínima diaria de acuerdo a Corpac.....	92
Tabla N° 25: Datos recopilados para la elaboración de los archivos ICM	93
Tabla N° 26: Escala de la nubosidad	96
Tabla N° 27: Gráfica de radiación solar	98
Tabla N° 28: Coordenadas geodésicas de la ciudad del Cusco	99
Tabla N° 29: Indicativo OACI para los aeropuertos del Perú.....	103

Tabla N° 30: Procedimiento para obtener los parámetros requeridos por el MEPDG a partir de los archivos Metar	104
Tabla N° 31: Resumen de datos obtenidos y su fuente de información detallado anteriormente	105
Tabla N° 32: Relación de variables de datos informativos según los archivos climáticos EI de Dallas.ICM versus Cusco-PE.ICM.....	106
Tabla N° 33: Describe la ubicación de cada uno de los elementos necesarios para generar el segundo componente del archivo ICM	106
Tabla N° 34: Módulos para cada tipo de estrato	110
Tabla N° 35: Vehículos por día para cada caso	111
Tabla N° 36: Criterio de desempeño límite.....	114
Tabla N° 37: Resultados ensayo escala real acelerado IRI.....	117
Tabla N° 38: Resultados ensayo escala real acelerado deformación permanente	119
Tabla N° 39: Valores finales para los parámetros finales de desempeño.....	122
Tabla N°40: Valores finales para los parámetros finales de desempeño.....	124
Tabla N° 41: Valores finales para los parámetros finales de desempeño.....	126
Tabla N° 42: Valores finales para los parámetros finales de desempeño.....	128
Tabla N° 43: Valores finales para los parámetros finales de desempeño.....	130
Tabla N° 44: Resultados IRI y deformación permanente.....	135
Tabla N° 45: Resultados de la constante de calibración	138
Tabla N° 46: Estadísticas de muestras únicas	140
Tabla N° 47: Prueba de muestra única	141
Tabla N° 48. Estadística de muestra única evaluado para IRI.....	142
Tabla N° 49: Prueba de muestra única evaluado para IRI	142
Tabla N° 50: Estadística de muestra única evaluada para deformación permanente.....	144
Tabla N° 51: Prueba de muestra única evaluado para deformación permanente.....	144

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Composición estructural autopista Norte.....	6
Figura N° 2: Carrusel para estudio de la fatiga en los pavimentos LCPC.....	7
Figura N° 3: Mn Road Test Track	25
Figura N° 4: Ncat Pavement Test Track.....	25
Figura N° 5: Brazil F-Sapt Device	26
Figura N° 6: Brazil F-Sapt Device	26
Figura N° 7: China Chang'an University Hvs.....	26
Figura N° 8. Cedex F-Sapt Facility.....	27
Figura N° 9: Estructura del pavimento flexible	30
Figura N° 10: Parámetros de diseño de pavimento.....	31
Figura N° 11: Parámetros externos de diseño de pavimentos.....	32
Figura N° 12: Métodos de diseño de pavimentos.....	34
Figura N° 13: Procedimiento de diseño método Instituto del Asfalto	38
Figura N° 14: Procedimiento de Aashto (1993).....	39
Figura N° 15: Esquema funcionamiento método mecánico - empírico	41
Figura N° 16: Clasificación de vehículos según Federal Highway Administration (fhwa) ..	43
Figura N° 17: Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi).....	55
Figura N° 18: Modelo Del Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi).....	57
Figura N° 19: Modelo Del Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi).....	58
Figura N° 20: Modelo Del Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi).....	59
Figura N° 21: Modelo Del Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi).....	59
Figura N° 22: Ubicación departamental: carretera Ayacucho - Abancay	67
Figura N° 23: Ubicación provincial: carretera Ayacucho - Abancay.....	67
Figura N° 24: Ubicación provincial carretera Ayacucho - Abancay.....	68
Figura N° 25: Procedimiento propuesto para la caracterización del tráfico.....	69
Figura N° 26: Datos de tráfico necesario para obtención de los parámetros de tráfico.....	70
Figura N° 27: Configuración de ejes de camiones gráficamente	82
Figura N° 28: Proceso para la generación de archivo climático ICM.....	88
Figura N°29: Clasificación de estaciones de observaciones meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas según su finalidad.	90
Figura N° 30: Horarios de observación.	91
Figura N° 31: Estaciones meteorológicas operadas por Corpac.	94
Figura N° 32: Ejemplo de un reporte Metar	100

Figura N° 33: Ubicación de la página web que contiene a los informes Metar.	101
Figura N° 34: Procedimientos para extraer la información requerida	102
Figura N° 35: Ingreso de las características de la data requerida.	103
Figura N° 36: Procedimiento para la extracción de información y ordenamiento a los requerimientos por el MEPDG.....	104
Figura N° 37: Muestra la distribución de datos ordenados según los requerimientos del archivo ICM.....	107
Figura N° 38: Captura de pantalla de integración de datos en archivo ICM	108
Figura N° 39: Composición estructural Caso 1.....	108
Figura N° 40: Composición estructural Caso 2.....	109
Figura N° 41: Composición estructural Caso 3.....	109
Figura N° 42: Composición estructural Caso 4.....	110
Figura N° 43: Caso 1 procesado por el programa MEPDG	112
Figura N° 44: Caso 2 procesado por el programa MEPDG	112
Figura N° 45: Caso 3 procesado por el programa MEPDG	112
Figura N° 46: Caso 4 procesado por el programa MEPDG	113
Figura N° 47: Estructura de pavimento carretera Ayacucho - Abancay.....	115
Figura N° 48: Carretera Ayacucho – Abancay procesado por el programa MEPDG	116
Figura N° 49: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 1.....	131
Figura N° 50: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 2.....	132
Figura N° 51: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 3.....	132
Figura N° 52: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 4.....	133
Figura N° 53: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 1.....	133
Figura N° 54: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 2.....	134
Figura N° 55: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 3.....	134
Figura N° 56: Relación Lanamme Ucr Vs Aashto 2008 Caso 4.....	135

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Estado de la implementación del MEPDG en Latinoamérica	4
Gráfico N° 2: Tipos de pavimentos.....	29
Gráfico N° 3: Porcentaje de camiones en la dirección de diseño por tipo de vehículo	75
Gráfico N° 4: Distribución por tipo de vehículo. Años 2013, 2014 y 2015.....	77
Gráfico N° 5: Distribución por tipo de vehículo del año 2015.....	78
Gráfico N° 6: Distribución de vehículos del año 2015, según El Renav.....	79
Gráfico N° 7: Precipitación total y humedad relativa	95
Gráfico N° 8: Grafica de salida y puesta del Sol.....	97
Gráfico N° 9: Gráfica de humedad media mensual	98
Gráfico N° 10: Gráfico radiación solar extraterrestre para Cusco.....	99
Gráfico N° 11: Gráfico de radiación solar extraterrestre	99
Gráfico N° 12: Resultados IRI - Lanamme Costa Rica	119
Gráfico N° 13: Resultados IRI - Lanamme Costa Rica	120
Gráfico N° 14: Predicción de IRI	121
Gráfico N° 15: Predicción de deformación permanente (Pulg)	122
Gráfico N° 16: Predicción de IRI	123
Gráfico N° 17: Predicción de deformación permanente (Pulg)	124
Gráfico N° 18: Predicción de IRI	125
Gráfico N° 19: Predicción de deformación permanente (Pulg)	126
Gráfico N° 20: Predicción de IRI	127
Gráfico N° 21: Predicción de deformación permanente (Pulg)	128
Gráfico N° 22: Predicción de IRI	129
Gráfico N° 23: Predicción de deformación permanente (Pulg)	130
Gráfico N° 24: Resultados de Lanamme UCR para cada caso	136
Gráfico N° 25: Resultados de Aashto 2008 para cada caso.....	136
Gráfico N° 26: Resultados de IRI (Lanamme UCR Vs. Aashto 2008).....	137
Gráfico N° 27: Resultados de deformación permanente (Lanamme UCR Vs. Aashto 2008)	137
Gráfico N° 28: Resultados de la constante de calibración.....	139

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Modelo del Heavy Vehicule Simulator (Mark Vi) adquirido por el Lanammeucr.	7
Fotografía N° 2: Pavimentos en mal estado en el Perú.....	8
Fotografía N° 3: Equipo en lugar de fabricación.....	50
Fotografía N° 4: Ensamblaje (Hvs).....	50
Fotografía N° 5: Calibración celda de carga (Hvs)	51
Fotografía N° 6: Aceptación de fábrica (Hvs)	51
Fotografía N° 7: Estructura del Hvs modelo (Mark Vi).....	53
Fotografía N° 8: Especificaciones del equipo.....	56
Fotografía N° 9: Especificaciones del equipo.....	56

INTRODUCCIÓN

En una tentativa para mejorar parte de la inversión del estado, generar puestos de trabajo e impulsar el crecimiento en la economía, Perú, en los últimos años ha ido incrementando sus retribuciones presupuestales para la construcción de vías y accesos, así como la expansión de la red vial del país. Por tal motivo todo esto genera crecimiento importante en el país. Lamentablemente en nuestro país, aun no existe un sistema estadístico de recopilación de datos a través del tiempo y de los diferentes estudios realizados en las vías que puedan establecer una base confiable de consulta para los parámetros de tránsito que intervienen en el diseño de las vías.

En el Perú actualmente se utiliza por lo general en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos, el método AASHTO del año 1993, basado en una metodología de enfoque empírico, y que este se da en la década de los 50 en condiciones muy antiguas, las cuales no se ajustan a la realidad de nuestro país.

Uno de los más recientes equipos que se utilizan hoy en día es el Simulador de Vehículos Pesados (HVS), que es un equipo utilizado para ensayos acelerados de pavimentos que permite comparar y verificar modelos mecánicos por medio de la recopilación y análisis de respuestas del pavimento, así como también desarrollar modelos de transferencia para convertir la respuesta estructural del pavimento en medidas de daño o desempeño.

El objetivo de este estudio es dar a conocer la necesidad de implementar un sistema de ensayo a escala real acelerado para poder aplicar los métodos Mecánicos Empíricos en el Perú. A partir de resultados de ensayos a escala real acelerado de Lanamme UCR y de acuerdo al diseño de pavimento de los ensayos acelerados bajo las recomendaciones indicadas de la guía (MEPDG) AASHTO 2008, determinando así una calibración del comportamiento estructural del pavimento.

Para un ejemplo aplicativo se realizó el diseño de la carretera Ayacucho – Abancay utilizando la guía AASHTO 2008 de acuerdo a todos los requerimientos y parámetros que nos pide la nueva guía. Utilizando el software de la guía versión 0.7 del MEPDG se pudo obtener comportamientos estructurales que serán interpretados y analizados en la presente

investigación, y así poder concluir que existe la necesidad de implementar con un sistema a escala acelerado en nuestro país para poder calibrar y mejorar los pavimentos.

La tesis contempla 5 capítulos de la siguiente manera: Capítulo I, trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general y específicos, objetivo general y específicos, justificación e hipótesis de la investigación y su operacionalización de variables. Capítulo II, se presentan antecedentes del estudio, las bases teóricas, aspectos generales del área de estudio y definición de términos básicos. Capítulo III, se presenta la metodología de la investigación, con el tipo de investigación, nivel de investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos. Capítulo IV, se presenta el desarrollo de la investigación, el cual se divide en descripción actual del proyecto, espectros de carga, creación del modelo climático, diseño y Gráfico de pavimento según método AASHTO 2008. Capítulo V, se presenta el análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

Finalmente, la tesis se concluirá con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

Los pavimentos son estructuras de gran importancia para el transporte, en los últimos años en muchos lugares del mundo los pavimentos han sido tratados con diferentes técnicas y procesos de construcción que están a un alto nivel de calidad. Los pavimentos todavía tienen muchas deficiencias constructivas, así como también estructurales para lograr un buen funcionamiento.

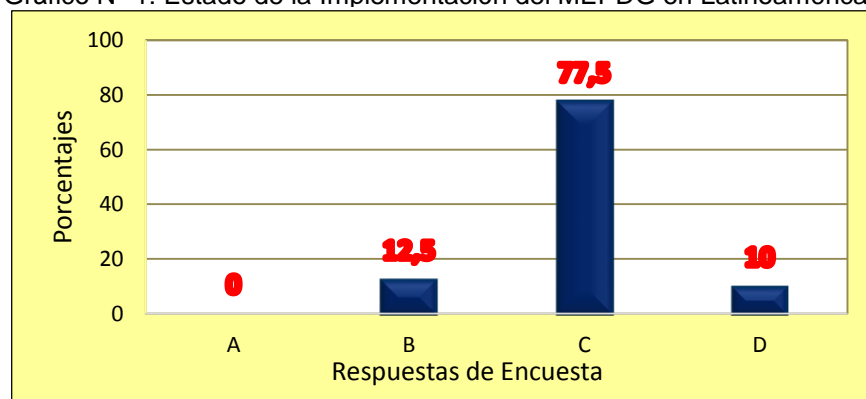
En los últimos cincuenta años se ha presentado un desarrollo sin precedentes en infraestructura, particularmente en la de carreteras. Muchos miles de kilómetros de nuevas carreteras fueron construidos alrededor del mundo para satisfacer la demanda de los volúmenes crecientes de tráfico. Gran parte de estas carreteras han estado en uso por más de dos décadas y han alcanzado el final de su periodo de diseño, adicionando a ello que la masa promedio de los vehículos a aumentado, las mayores cargas por eje y la edad, han contribuido en forma continua a través de los años, al deterioro de las carreteras, requiriendo, por tanto, el desarrollo de nuevas técnicas que permitan conservarlas en niveles de servicios aceptables. (Rodríguez, 2004)

En el mundo de hoy en día se tiene que estar actualizado de acuerdo a las exigencias que se pide en cada proyecto, por ello es necesario saber que para diseñar pavimentos se tienen que tener en cuenta dos factores muy importantes como son: el tráfico y el clima. Es así que todo parte de un buen diseño de pavimentos, donde en la actualidad se viene dando uso del (MEPDG) de la Guía de diseño del AASHTO 2008.

En el año 2013 se realizó una encuesta en Latinoamérica para dar a conocer cuánto es el nivel de conocimiento de la Guía de Diseño Mecánico Empírico (MEPDG) del AASHTO 2008. La encuesta se realizó a entidades gubernamentales, profesionales y estudiantes de 15 países en donde los resultados obtenidos fueron:

De los resultados se concluyó que el 77.5% de los encuestados menciona que sí conocen el método MEPDG-AASHTO 2008, pero que no se emplea en la práctica diaria como sí se viene aplicando el método AASHTO 93. El 12.5% de los encuestados menciona que el MEPDG-AASHTO 2008 ha sido utilizado como alternativa de diseño para fines de comparación con otros de los métodos convencionales. Por otro lado, el 10% de los encuestados mencionan que ellos no conocen el MEPDG-AASHTO 2008 en su país. Un resumen de las respuestas obtenidas en la encuesta se muestra en la Figura N° 1.

Gráfico N° 1: Estado de la Implementación del MEPDG en Latinoamérica



Fuente: Chang C., Vidal J., Guillermo L., Bustos M., Delgadillo R., 2013

Existen innumerables dificultades para la aplicación del método mecánico empírico MEPDG del AASHTO 2008, entre ellos están:

- Falta de conocimiento del método
- Falta de data climática horaria de cada región
- No tener acceso al software del MEPDG 2008
- Falta de equipos de laboratorio para la realización de los ensayos
- Ausencia de espectros de carga a partir del tráfico
- La no inclusión del método como requisito en nuevos proyectos viales.

Un estudio reciente realizado por ERES CONSULTANTS empresa que de 1998 a 2004 desarrolló La Guía Mecánica Empírica de Diseño y Análisis de Pavimentos (MEPDG) para la *National Cooperative Highway Research Program* NHCRP, describe sobre las causas del deterioro de las losas en la Autopista Norte. El estudio aporta luces acerca de problemas de diseño que vale la pena resaltar. El ancho de los carriles mixtos no es suficiente para el tipo de vehículos que transitan, y las losas tienen una deflexión y se parten, entra agua a través de estas grietas y dado que hay una falta de sistemas de drenajes se agrava un proceso de deterioro acelerado. Los errores de construcción, el mal uso de materiales y un diseño ineficiente, generaron filtraciones que contribuyeron al fenómeno de estancamiento de aguas y al posterior efecto de bombeo. Esto lo pone de manifiesto ERES CONSULTANTS en su informe, cuando afirma que existe deterioro del material bajo las placas y por la filtración de agua a través de las juntas y fisuras de las losas. La falta de un sistema de drenaje ocasionó que el agua quedara atrapada y el agua se atrapó contra la losa más gruesa, y bajo la presión producida por los vehículos pesados se evacuó por las juntas a velocidades que varían desde 4 y hasta 8 m/seg (Ronderos, 2005).

Figura N° 1: Composición Estructural Autopista Norte



Fuente: Revista las siete causas de los problemas de la autopista norte

En algunos países se han desarrollado pistas o circuitos para hacer ensayos a escala real acelerados, variando siempre las dimensiones de la pista, los alcances del estudio y el dinero invertido. Cabe señalar que algunos de estos proyectos fueron temporales y otros han sido más duraderos en el tiempo. La forma de aplicar las cargas que simulan el tránsito también ha sido desarrollada de varias maneras según el país encargado del estudio. Estando siempre asociado el nivel de inversión económica que se puede realizar, los objetivos del estudio y el plazo de desarrollo del proyecto (Camacho, Loría, & Quirós, 2012, pág. 3).

El equipo más avanzado, y mayormente utilizado, en este campo del (HVS) lo ha desarrollado el *Council for Scientific and Industrial Research*, CSIR (Sudáfrica). Se trata de un equipo que por medio de sistemas hidráulicos aplica una carga controlada, bajo las condiciones y número de repeticiones que sean necesarias para llevar una estructura de pavimento a la falla. Este dispositivo se ha denominado *Heavy Vehicle Simulator* (HVS).

Durante el 2011, se adecúa el espacio disponible para la colocación del equipo HVS en las instalaciones del LanammeUCR; desarrollando el diseño de una estructura que permite contener el pavimento que se va a ensayar, así como el control de la saturación con agua de la estructura del pavimento (Camacho, Loría, & Quirós, 2012, pág. 4).

Figura N° 2: Carrusel para estudio de la fatiga en los pavimentos LCPC



Fuente: Boletín Informativo PITRA LanammeUCR

Fotografía N° 1: Modelo del *Heavy Vehicule Simulator* (Mark VI) adquirido por el LanammeUCR.



Fuente:<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/ultimas-noticias/1230-alianza-internacional-de-hvs.html>

El diseño para pavimentos que se utiliza en el Perú es el *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO versión 1993), tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos. Donde establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado número estructural el cual se calculará de acuerdo al tráfico que circulará por la vía durante un determinado número de años, la resistencia del suelo natural que soportará el pavimento y los niveles de servicio (Lima, 2006).

En el Perú, los principales problemas de los pavimentos son la falta de mantenimiento de vías, así como el aumento excesivo de vehículos que año a año es una problemática para el sistema nacional de vías. Las principales vías de nuestro país son las que sufren más aumento de cargas vehiculares y daños estructurales produciendo así la fractura y falla de los pavimentos. Todos estos problemas pasan por el cálculo del diseño del pavimento y sus diversos factores que intervienen, además de la falta de tecnología avanzada que en nuestro país todavía no se emplea.

Se ha demostrado que el problema más consecuente en la construcción de pavimentos es la calidad. La variación de temperatura en las mezclas es uno de los problemas, como también la falta de procesos constructivos eficientes. Lo que genera la construcción de pavimentos en estados deplorables y deficientes.

Fotografía N° 02: Pavimentos en mal estado en el Perú



Fuente: Artículo Pistas en mal estado Perú

También en el Perú las condiciones de las carreteras se encuentran en condiciones pobres. Esto conlleva al desgaste de los vehículos lo que también aumenta la cantidad de accidentes y demoras. De 1980 al 2005, se añadió al sistema carretero solo un 3.5% en longitud. En el mismo periodo, los automóviles aumentaron en un 94% y los camiones en 99%. De 1994 al 2004, la cantidad de toneladas movidas en camión creció en un 33%.

Las carreteras inadecuadas conllevan al aumento de congestión, así como demoras de los usuarios. Mayor deterioro de la infraestructura produciendo problemas de seguridad general. Además, genera demora en la entrega de productos, las cadenas de suministros se vuelven impredecibles y aumenta el costo de productos. A continuación se muestra la tabla de Infraestructura Vial Departamental (Nacional, 2013).

El tiempo para trasladarse de un lugar a otro es un aspecto importante para los usuarios en una carretera. Este problema en el país se viene dando debido a deficiencias en la infraestructura vial, el crecimiento en el otro lado del río, a las inundaciones en épocas de lluvia y a las avenidas máximas que ocurre en el tiempo de invierno. Todos estos problemas ameritan un malestar para los transportistas que hacen uso de las vías principales del país llevando sus productos de primera necesidad hacia otras provincias y la capital.

Tabla N° 1: Infraestructura vial existente departamental 2013

INFRAESTRUCTURA VIAL EXISTENTE, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2013						
DEPARTAMENTO	NACIONAL		DEPARTAMENTAL		VECINAL1/	
	Pavimentada	No Pavimentada	Pavimento	No Pavimentada	Pavimento	No Pavimentada
TOTAL	15,906.0	9,099.5	2,517.8	22,474.4	1,933	104,861.5
Amazonas	581.9	269.2	31.3	713.0	0.0	1,743.5
Ancash	932.4	691.6	215.1	1,265.7	137.9	7,594.3
Apurímac	576.4	528.2	0.0	1,326.0	7.3	5,003.7
Arequipa	989.4	446.1	531.2	1,208.1	394.1	5,609.5
Ayacucho	691.7	1,072.7	0.0	1,812.5	32.5	7,864.4
Cajamarca	1,164.7	574.0	31.8	823.9	38.0	11,333.0
Cusco	1,187.2	632.2	84.2	2,562.9	121.1	9,494.2
Huancavelica	563.2	864.2	0.0	1,431.8	0.7	5,277.7
Huánuco	553.3	436.6	16.0	695.8	4.2	5,647.0
Ica	572.0	91.2	48.9	687.9	82.0	1,921.7
Junín	934.3	442.8	14.6	880.4	225.6	7,603.0
La Libertad	543.9	700.1	92.0	1,661.0	156.0	4,378.7
Lambayeque	445.4	22.2	213.8	428.8	27.6	2,052.3
Lima	1,134.1	497.2	158.0	1,528.9	180.5	4,101.0
Loreto	43.1	44.8	108.6	328.1	19.1	417.8
Madre de Dios	399.3	0.0	2.5	177.1	5.1	1,410.9
Moquegua	475.8	0.0	70.4	831.5	98.2	1,163.6
Pasco	272.4	292.5	34.4	573.1	0.0	2,124.7
Piura	977.8	407.7	244.7	599.6	185.5	6,044.6
Puno	1,395.6	621.0	317.8	1,357.2	46.4	7,566.0
San Martín	654.0	194.1	148.2	730.7	0.1	3,405.0
Tacna	459.0	177.9	85.0	417.9	154.7	1,284.0
Tumbes	138.1	0.0	69.5	215.8	6.2	502.5
Ucayali	221.1	93.3		216.4	10.3	1,318.2

1/. Red Vecinal, compuesta por la red vecinal registrada y la red vecinal no registrada (DS.036-2011-MTC, nuevo clasificador del SINAC).

Fuente: Estudio de medición de la Red Vial Nacional – DGCF – ProVías Nacional

Actualmente en el Perú hay muy poca información de investigaciones realizadas sobre el MEPDG. Las razones son diversas como el poco interés del estado, la poca capacitación de los profesionales involucrados en el diseño de pavimentos con tecnologías más actuales, la escasa infraestructura a nivel nacional para poder recolectar datos de tráfico y clima, laboratorios obsoletos, etc. (Vivanco, 2016). Para diseñar un pavimento en nuestro país hoy en día se utiliza el método AASHTO 93. Pero para poder predecir el comportamiento a lo largo de su vida útil no se aplica una metodología apropiada en el país que permita tener una predicción de daño en los pavimentos a lo largo de un determinado tiempo. Todo esto también se debe a la falta de información detallada de las condiciones de carga vehicular y climática que exige la guía MEPDG. Las características climáticas variadas y el aumento de tráfico, cada vez más en aumento, hacen que se esté realizando los respectivos mantenimientos de las vías cada cierto tiempo. En el Perú no se cuenta con información detallada para poder aplicar los métodos mecanísticos empíricos (MEPDG) y mucho menos un sistema a ensayo a escala real acelerado como sí lo tiene el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR), que permite realizar la calibración respectiva a los resultados. Es así como se plantea la siguiente formulación del problema de la tesis de investigación.

1.1.2 Formulación del problema

A. Problema general

¿Será factible la implementación de los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecanísticos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú?

B. Problemas específicos

¿Será factible la implementación de resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecanísticos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú?

¿Será factible la implementación de resultados de la deformación permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú?

1.2 OBJETIVOS:

1.2.1 Objetivo general

Implementar los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

1.2.2 Objetivos específicos

Implementar los resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

Implementar los resultados de la deformación permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación teórica

Para un buen diseño de pavimentos se debe tener en cuenta factores como: tráfico, medio ambiente, materiales y condiciones de servicio. Siendo el tráfico el factor de mayor importancia debido al aumento de vehículos y a las cargas pesadas que estos transmiten. Los laboratorios a escala real acelerado son máquinas que nos permiten predecir fallas y nos dan a conocer el desempeño de los materiales en un tiempo menor al que normalmente se obtiene, como también permite identificar deficiencias en las prácticas constructivas. Por este motivo es de suma importancia para poder realizar un menor mantenimiento de nuestras vías la utilización de resultados ya

experimentados que nos ayude en el diseño de nuestros pavimentos para así poder ofrecer una mejor calidad y servicio en el tiempo de nuestras carreteras.

1.3.2 Justificación práctica

De acuerdo al objetivo planteado, el desarrollo de la presente investigación comienza con la recolección de datos que son los resultados del ensayo a escala real acelerado del laboratorio de LanammeUCR. Seguidamente se calculó el tráfico y clima para poder aplicar en la carretera establecida como ejemplo de aplicación. Después de conseguir los factores que implican en el diseño se procedió a desarrollar el método mecanístico empírico AASHTO 2008, y así posteriormente determinar los gráficos de IRI y deformación permanente con el cual se pueda conseguir una constante de comportamiento estructural de pavimentos.

1.3.3 Justificación metodológica

Para lograr los objetivos de la investigación se acudió a la guía de diseño mecanístico empírico del AASHTO 2008 y del laboratorio a escala real acelerado de LanammeUCR, para poder así mismo determinar los comportamientos estructurales de la carretera Ayacucho–Abancay. Con los resultados obtenidos se plantearán una constante de calibración entre los resultados de los datos de Costa Rica y los diseñados con el método AASHTO 2008, que permitan dar soluciones al diseño de pavimentos en el Perú, así mismo estimule el interés de profesionales de infraestructura vial para mejorar y complementar sus conocimientos en el diseño de pavimentos.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

La implementación de los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecanísticos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

1.4.2 Hipótesis específicos

La implementación de los resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecanísticos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

La implementación de los resultados de la deformación permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecanísticos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Variables

- **Variable 1:** Resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica
- **Variable 2:** Calibración de los métodos mecanísticos empíricos.

1.5.2 Operacionalización de las variables

- Variable 1: resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica

Tabla N° 2: Operacionalización de las variables: Variable 1

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Es un importante sistema de monitoreo del desempeño del material in situ y una forma de cuantificar la respuesta de estos ante las solicitudes de carga y del clima al que es expuesto. Dentro de los parámetros se encuentran los resultados de la deformación permanente.	Resultados del comportamiento estructural	Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y Deformación Permanente	(m/km)- (mm)

Fuente propia

- Variable 2: calibración de los métodos mecanísticos empíricos.

Tabla N° 3: Operacionalización de las variables: Variable 2

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
La calibración de los métodos mecanístico empíricos es una constante que permite desarrollar las secciones evaluadas del pavimento. El método mecanístico empírico es una de las herramientas más completas para realizar el diseño y evaluación de estructuras de pavimento el cual pronostica su desempeño.	Resultados de entre escala real acelerado y AASHTO 2008	Constante de calibración	Mayor cercanía a la unidad.

Fuente Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Rondón Quintana (2007)

El artículo científico de (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2007), que tiene como título “Metodologías de Diseño de Pavimentos Flexibles: Tendencias, Alcances y Limitaciones”, cuyo objetivo es presentar los tipos de metodologías para el análisis y diseño de estructuras de pavimentos flexibles en el mundo, las tendencias actuales y el avance de herramientas computacionales en la ingeniería de pavimentos. La investigación presenta como resultado que cuando se empleen programas de elementos finitos para el cálculo de estados de esfuerzo y deformaciones sobre un pavimento es necesario introducir ecuaciones constitutivas que representen lo más cercano posible el comportamiento que experimentarán cada uno de los materiales que componen la estructura de pavimento in situ. El trabajo concluye que los ensayos para la caracterización de granulares deben considerar lo más real posible el comportamiento que pueden experimentar estos materiales bajo cargas cíclicas y distintas condiciones del medio ambiente.

2.1.2 Loría Salazar (2014)

El artículo científico de (Loría Salazar, 2014), que tiene como título “Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica”, cuyo objetivo es contar con una base de datos que permita generar los modelos requeridos para una adaptación a las condiciones propias de los materiales y del lugar. La investigación presenta como resultado que las mediciones con el deflectómetro de impacto (FWD), mostraron heterogeneidad en los materiales de las capas superiores y homogeneidad en las inferiores. El trabajo concluye que este proyecto ha permitido para Costa Rica, por medio de su LANAMME UCR, generar la base para un desarrollo exitoso de investigación de primer mundo en el área de carreteras.

2.1.3 Díaz Echaveguren y Vargas (2012)

El artículo científico de (Díaz, Echaveguren, & Vargas, 2012), que tiene como título “Camiones de alto tonelaje y su impacto en ciclo de vida de pavimentos asfálticos”, cuyo objetivo es analizar en particular el impacto sobre los pavimentos asfálticos, utilizando un enfoque mecanicístico–empírico en donde se comparó el impacto en el ciclo de vida producido por CAT del tipo bitrén corto y largo, y configuraciones del tipo camión–remolque y tractor–semirremolque. La investigación presenta como resultado que el camión–remolque produce mayor daño en el pavimento, mientras que el tractor semirremolque es el que produce menor daño, ambos con 45 t de peso bruto total. El trabajo concluye que mediante MEPDG subestiman el impacto por agrietamiento con respecto a la evaluación del consumo de fatiga, estimando en todos los casos una vida de servicio mayor.

2.1.4 Camacho Garita y Quirós Orosco (2012)

El artículo científico de (Camacho Garita, Loría Salazar, & Quirós Orosco, 2012), que tiene como título “Conceptualización y Desarrollo del Laboratorio a Escala Natural de Pavimentos del Laboratorio Nacional de Materiales de la Universidad de Costa Rica: El Pabelab”, cuyo objetivo es mejorar el diseño y construcción de estructuras de pavimento, así como mejorar el entendimiento

de los diferentes materiales usados. La investigación presenta como resultado que, a la aplicación de la carga, que corresponde a la aplicación de la carga extremo de la sección de ensayo, cercano al eje de la fosa donde la condición es crítica por la configuración generada por la llanta, no muestra diferencias en la disipación de esfuerzos y deformaciones. El trabajo concluye que pabelab es una herramienta por el cual, no solo se evaluarán los pavimentos en la escala natural, sino que también ayudará en la generación de modelos de deterioro para el país.

2.1.5 Gonzales, Cubrinovski, Pidwerbesky y Alabaster (2012)

El artículo científico de (Gonzales, Cubrinovski, Pidwerbesky, & Alabaster, 2012) , que tiene como título “Desempeño de pavimentos estabilizado con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada”, cuyo objetivo es desarrollar e implementar una estrategia de construcción y mantenimiento rentables, con el fin de alcanzar niveles requeridos de servicio y desempeño. La investigación presenta como resultado que las deflexiones disminuyen en las secciones con mayor contenido de asfalto espumado. Luego de aplicar más de un millón de ciclos de carga, las secciones estabilizadas solo con cemento, solo con asfalto y la sección sin estabilizar mostraron un deterioro significativo en forma de deformación permanente. El trabajo concluye que la deformación permanente medida en secciones con asfalto espumado más un 1% de cemento fue el menor, demostrando que la adición de asfalto espumado mejoró en forma significativa el desempeño de los pavimentos.

2.1.6 Mateos, A. (2003)

(Mateos A, 2003), realizó la investigación: “Modelación Numérica de la Respuesta Estructural de los Firmes Flexibles a partir de medidas experimentales en Pista de Ensayo a Escala Real”, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos el año 2003. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. La determinación de la respuesta estructural de un firme flexible bajo las cargas del tráfico es la primera de las dos fases fundamentales en que se

basa el diseño analítico de firmes. A partir de dicha respuesta se estima su vida útil, mediante la aplicación de determinados criterios de fallo o modelos de deterioro.

2. Un firme es un tipo particular de estructura y, como tal, su diseño requiere un adecuado conocimiento de su respuesta estructural.
3. La Pista del CEDEX permite la reproducción, a escala real, de la respuesta estructural de un firme flexible bajo las cargas del tráfico, tanto por las dimensiones de las secciones ensayadas como por el realismo de la carga aplicada por los vehículos de ensayo. No obstante, las velocidades alcanzadas son reducidas en comparación con las normales de circulación del tráfico pesado en las carreteras.
4. El análisis estadístico de las medidas realizadas con la instrumentación, indica que las secciones ensayadas se pueden clasificar en dos grupos bien diferenciados. Por un lado, la denominada Sección 3, con una capa de suelo estabilizado en la coronación de la explanada, y por otro el resto de las secciones.
5. La instrumentación de las secciones ha permitido medir la respuesta estructural in situ bajo el paso de los vehículos de ensayo. El comportamiento de los diferentes sensores, así como del sistema automático de adquisición de datos, puede considerarse muy satisfactorio.
6. Se ha comprobado, en base a medidas experimentales, así como a cálculos teóricos con elementos finitos, que la presencia de una célula de presión en el suelo puede causar una distorsión significativa del estado tensional original que se pretende medir. Se propone un procedimiento para corregir las medidas realizadas con estos sensores, basado en el cálculo del volumen de tensiones verticales mediante la integración de la señal registrada bajo el paso de una carga de magnitud conocida.

2.1.7 Hernández D. y Martínez LL. (2014)

(Hernández D & Martínez LL, 2014) , realizó la investigación: “Diseño de un Campo de Prueba de Pavimentos Permeables en la Ciudad de Cartagena”, en la Universidad de Cartagena, Programa de Ingeniería Civil 2014. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El diseño del campo de prueba piloto de pavimento permeable consta de un parqueadero de tres tipos de pavimentos permeables con medidas de 3m por 5m cada uno, con espesores de losa variables de 10, 17 y 8 cm y además, bases de diseño de 40, 20 y 20 cm correspondientes a asfalto poroso, hormigón poroso y adoquines respectivamente, se usarán implementos complementarios a la estructura tales como tres tanques de almacenamiento de 1 m³ para poder retener el agua de salida, así como un pluviómetro y un *datalogger* para registrar la precipitación.
2. Para elaborar el diseño de un campo de prueba se requieren conocer variables tales como granulometría del suelo, resistencia a corte (usando CBR), permeabilidad del suelo, caracterización de los materiales a emplear (resistencia, porosidad, tasa de infiltración), cargas de tráfico, precipitación local y registros históricos de lluvia.
3. Las variables determinadas fueron dimensiones de los parqueaderos, espesores de losa, espesores de base, volúmenes de agua a retener, diámetros de tubería de drenaje y pendientes de drenaje.
4. Se caracterizó cada material de diseño a usar siendo esto expuesto en detalle en el análisis de resultados, haciendo énfasis su porosidad, resistencia, tasa de infiltración, durabilidad, costos y disponibilidad local realizando análisis de laboratorio pertinentes y recopilando información de estudios existentes.
5. El diseño del campo de prueba piloto de pavimento permeable es exclusivo para la universidad de Cartagena y la zona seleccionada, puesto que han sido tenidos en cuenta para el diseño sus características específicas y exclusivas de suelo y precipitaciones, además de su historial de lluvias.
6. Se encontraron los siguientes resultados inesperados: el cálculo de espesor de losas varía muy poco cuando la permeabilidad cambia siempre y cuando se mantenga en el mismo tipo de suelo; la base del campo de prueba tuvo que ser modificada para que los pavimentos queden al mismo nivel, cumpliendo siempre con requerimientos de diseño.
7. Los resultados obtenidos en cuanto a espesores de base y los espesores seleccionados para las capas de pavimento son similares a los propuestos en diferentes investigaciones, manuales y trabajos citados en este proyecto, conservando siempre los mismos rangos, para espesores de base se pueden destacar: Virginia: entre 20 cm y 60 cm; García et al (2010)

entre 25 cm y 50 cm; Rodríguez (2010) entre 25 cm y 35 cm; en la instalación piloto realizada por la Universidad Católica de Chile tomaron 30 cm; en la tabla 16 se pueden apreciar los resultados de este proyecto.

8. La precipitación ocurre en un 80% de su totalidad al 20% inicial del tiempo de lluvia, en este caso 12 minutos en una tormenta de 1 hora. El caudal de evacuación está determinado por la intensidad de la lluvia, debido a que la permeabilidad del pavimento permeable y de la base están en la capacidad de infiltrar una mayor cantidad de agua de la que se precipita.
9. El campo de prueba tiene un rendimiento del 93%, es decir, permite el ingreso del 93% para una lluvia con el 10% de excedencia en Cartagena.
10. Realizando un análisis por elementos finitos al comportamiento del sistema agua- campo de prueba, se disminuyó el caudal pico al principio de la lluvia, resultando útil para la disminución del caudal de escorrentía. Para un mejor rendimiento del campo de prueba piloto se recomendó emplear material menos filtrante en la base (un orden de magnitud menor), aumentando así la lámina de agua retenida en la capa de pavimento y por ende la eficiencia del sistema en cuanto al almacenamiento de agua.

2.1.8 Bórquez B. (2014)

(Bórquez B, 2014) , realizó la investigación “Diseño de la Estructura de Pavimento de la Pista del Aeródromo de Panguipulli”, en la Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los pavimentos aeroportuarios soportan grandes cargas y no pueden permitir fallas, por lo tanto, es importante considerar en todas las etapas del diseño la seguridad, y elegir el tipo de estructura para cada proyecto en particular. Las condiciones del terreno en Panguipulli son bastante favorables por lo que los costos del proyecto no se verían aumentados de forma considerable al no tener que considerar un mejoramiento del terreno.
2. Para diseñar la estructura de pavimento utilizando FAARFIELD, las variables de entrada son las condiciones del terreno, particularmente del valor de CBR de la subrasante, y la combinación de tráfico de diseño. La combinación de tráfico de diseño, puede ser estimado en base a datos estadísticos del uso de los aeródromos y aeropuertos y su porcentaje de crecimiento anual. Sin embargo, en el caso de aeródromos pequeños

donde no todas las operaciones son registradas y donde se quiere modificar por completo el uso de este, las estimaciones pueden no ser precisas, lo cual es importante definir el objetivo que tendría el aeródromo y las proyecciones basadas en las expectativas que se tengan de su uso. En cuanto a los datos del suelo, estos cobran vital importancia, siendo la base del diseño, que permite definir el tipo de pavimento a utilizar (rígido o flexible).

3. La configuración del tren de aterrizaje de las aeronaves, afectan directamente al comportamiento de la estructura de pavimento, ya que el tren distribuye toda la carga de las aeronaves, esto permite de acuerdo al tipo de configuración obtener de forma más exacta las zonas de mayor o menor sollicitación.
4. Si bien es cierto que las Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas entregan requerimientos de los materiales, estos son amplios, y no específica en ninguna medida cuándo corresponde o recomienda utilizarlos. En el caso de las bandas granulométricas de los áridos para la elaboración de la mezcla asfáltica, no se define distinción entre capa de rodadura, intermedia o capa base, ni referencia sobre el tipo de mezcla a utilizar en condiciones particulares. Para poder definir el tipo de materiales a utilizar, fue necesario consultar otros códigos que separaban los tipos de mezclas y la utilización de estos bajo condiciones particulares.
5. FAARFIELD diseña para una vida útil de 20 años, considerando la condición del terreno, el tipo de pavimento y la combinación de tráfico de diseño. Este programa permite obtener el diseño de la estructura de pavimento, a partir del concepto del factor de daño acumulativo que produce cada aeronave que utiliza la pista. Permite también observar qué sección estará más solicitada, para así poder predecir las zonas donde será más urgente el mantenimiento.
6. En este sentido es importante considerar que los 20 años de vida útil de la pista, contemplan mantenimientos periódicos y es muy importante contar con un plan de mantenimiento periódicos para evitar daños mayores que puedan provocar cierres de los aeródromos e inversiones mayores para su reparación.

2.1.9 Rivas O. y Mercado E. (2015)

(Rivas O & Mercado E, 2015), realizó la investigación “Propuesta de Diseño de Estructura de Pavimento Flexible del Tramo comprendido del Km 2.3 al Km 2.8 de la Carretera Panamericana Sur, aplicando el Método de la AASHTO 93”, en la Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente Coordinación de Ingeniería Civil. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. A través de la aplicación del catálogo de daños del Manual Centroamericano de mantenimiento de carreteras se logró realizar el diagnóstico del estado del pavimento existente (articulado), se encontró la presencia de los cuatro daños planteados por el catálogo, los cuales son asentamientos, baches, pérdida de sello arenoso y despostillamiento, siendo este último el daño más frecuente en ambos carriles con un 78.49% en el carril derecho y 80.01% en el carril izquierdo, seguido de la pérdida de sello arenoso, para el carril derecho corresponde un 13.22% y 11.74% para el carril izquierdo, los porcentajes de daños por asentamientos son 7.96% y 7.77% para cada carril respectivo y en una pequeña proporción se presentan baches.
2. En cuanto a los niveles de severidad de los daños, en el caso de los baches a pesar de su poca presencia a lo largo del tramo en ambos carriles son altos, con mayor frecuencia se muestra el nivel de severidad alto para la pérdida de sello arenoso en los dos carriles, los asentamientos presentan un nivel de severidad medio tanto en el carril derecho como izquierdo, la severidad de daño por despostillamiento es alta en ambos carriles.
3. Mediante ensayos de laboratorio, se logró determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo a lo largo del tramo, encontrándose dos tipos de suelos A-7-5 y A-7-6, estos son suelos arcillosos con alta plasticidad, con valores de CBR entre 4% a 9%, por tanto este material no puede ser usado como base ni subbase, debido a que sus características mecánicas no cumplen por las establecidas por la AASHTO, es por ello que se propone usar el Banco de AGRENIC para base y Banco Los Martínez para la subbase, ambos bancos se encuentran a distancias próximas al proyecto.

4. El estudio de tránsito refleja que la afluencia vehicular es mayoritariamente de vehículos livianos con un 89.87% y 10.13% corresponde a vehículos pesados, además se obtuvo un ESAL'S de diseño de 6, 270,949.
5. Aplicando el software de la AASHTO 93, se determinaron los espesores de los elementos que formarán la estructura de pavimento flexible, los cuales son: carpeta asfáltica 7.5 pulgadas, base 6 pulgadas y subbase 10.5 pulgadas.

2.1.10 Vásquez M. (2016)

(Vasquez M, 2016) , realizó la investigación “Factores de equivalencia de daño en pavimentos flexibles: análisis para condiciones típicas de Argentina”, en la Universidad Nacional de la Plata, Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. En este estudio no fue posible encontrar una correlación estadísticamente significativa entre los valores de LEF calculados y el número estructural, esta afirmación se corrobora con lo que describen algunos autores entre uno de ellos Huang (2004) que detalla que los LEF-AASHTO son prácticamente independientes del SN.
2. Un factor importante que incide en los valores LEF calculados son los modelos de daño, en esta investigación se utilizaron modelos de daño recopilados en bibliografía, que no son locales, en un futuro – cuando existan – se deberá calcular los LEF con modelos de daño para condiciones del medio.
3. Ya que el enfoque de cálculo para obtener los LEF es Empírico-Mecanicista, las ecuaciones propuestas -en esta investigación- no se pueden utilizar en la metodología de diseño AASHTO. A la vez es importante aclarar que la guía de diseño AASHTO presenta sus propios LEF para ser utilizados en la metodología de diseño.
4. El software Kenlayer es muy completo pero su interfase para el uso es compleja, no se puede cargar ni revisar los valores con facilidad. Por estar escrito en Visual Basic se podría programar para facilitar la carga y las corridas del software en futuras investigaciones.
5. Los modelos LEF encontrados por regresión lineal tienen un ajuste de normal a bueno, pero no cumplen con el supuesto de independencia de los residuos por este motivo se decide descartar estos modelos. Además

- de la parte estadística se debe tomar en cuenta que estos modelos no presentan similar estructura a los modelos recopilados en la bibliografía.
6. Los modelos LEF (P85) encontrados se pueden utilizar para armar una tarifa de pago de canon por sobrepeso, justificando el criterio de pago por daño efectuado al pavimento. La actual Ley de Tránsito 24449, Decreto 79/98 estipula el pago de un canon de sobrepeso en base al precio de litros de combustible, una manera técnica alternativa a esto, sería calcular el daño de sobrepeso con los modelos presentados y calcular el canon proporcional al daño realizado.
 7. El Departamento de Transporte de Illinois en el reporte IDOT (2006) "*Truck Size and Weight*" presentó valores de costo de pavimento en función de LEF, U\$D 0.037 LEF-Milla para carretera interestatal, U\$D 0.117 LEF-milla para carretera primaria y U\$D 0.508 para carretera urbana, en base a los modelos LEF (P85) se puede calcular los valores LEF-Kilometro para rutas argentinas.
 8. Los modelos LEF (P50/P75) encontrados se los podría utilizar para dimensionar espesores para pavimentos de bajo volumen, ya que los valores de tráfico son bajos.

2.2 BASES TEÓRICAS

El desarrollo del presente estudio de investigación se respaldará bajo los siguientes fundamentos teóricos de la situación problemática:

2.2.1 Ensayos experimentales en pistas de pruebas

West Track en Nevada (1997), NCAT en Alabama (Brown 2002), MN Road en Minnesota (2007), CAPTIF en Nueva Zelanda (1996) y TRL en Inglaterra (1996).

Adicionalmente se deben considerar los ensayos de pistas de prueba a escala, dentro o fuera de instalaciones, donde las cargas de los vehículos son simuladas mediante sistemas de carga controlada, este tipo de ensayos de escala real se vienen ejecutando desde los años 1940; sin embargo, los simuladores de carga acelerado se desarrollaron a partir de los años 1960. Con la posibilidad de incorporar en el proceso de medición sensores

electrónicos y dispositivos de medición continua, estos tipos de ensayos han alcanzado un mayor desarrollo aún.

Sin embargo, el aporte más importante de los últimos años es el denominado método mecanístico empírico (MEPDG) denominado inicialmente AASHTO 2002, cuya guía y versión beta del programa de análisis se encuentran disponibles en internet. El método integra el estado del arte en el diseño de pavimentos, considerando así entre otros aspectos un diseño de acuerdo a la gran importancia de la vía, el tráfico es ingresado como un espectro de cargas y el diseño se orienta al cumplimiento de indicadores de desempeño entre otras características.

Figura N° 3: Mn Road Test Track



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

Figura N° 4: Ncat Pavement Test Track



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

Figura N° 5: Brazil F-Sapt Device



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

Figura N° 6: Brazil F-Sapt Device



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

Figura N° 7: China Chang'an University HVS



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

Figura N° 8. Cedex F-Sapt Facility



Fuente: El Programa Cooperativo Nacional de Investigación de la Carretera

2.2.2 El pavimento

Los pavimentos son soluciones para la configuración de caminos, siendo concebidos, diseñados y construidos pensando en mejorar y mantener condiciones óptimas para el tránsito de personas, de bienes y servicios, a lo largo de su vida útil¹.

Los pavimentos, son estructuras formadas por una carpeta de rodadura y un conjunto de capas granulares, simples o tratadas, que descansan sobre el suelo de cimentación, también conocido como: subrasante. El pavimento está diseñado para transferir y distribuir cargas vehiculares, durante un periodo de tiempo previamente establecido. Dado que, los esfuerzos producidos por el paso de las cargas vehiculares decrecen con la profundidad, se deben colocar los materiales de mayor capacidad portante en las capas superiores. Toda la estructura trabaja para proteger al suelo natural².

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del

¹ (Temas de Pavimentos de Concreto, 2012)

² (Temas de Pavimentos de Concreto, 2012)

volumen de tráfico. La Ingeniería de Pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose, esencialmente, de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de las Ingenierías: Geotecnia, de Estructuras, de Materiales, de Transportes y de Sistemas, en vista de la importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes³.

Un pavimento de hormigón (independientemente de si es mono o bicapa) es básicamente una losa apoyada en una capa de base de reparto, en general, menos rígida que la losa de hormigón. Cabe recordar que desde el punto de vista estructural conviene que exista una transición razonable de rigideces, para a compatibilizar las deformaciones de cada uno de los sistemas (losa estructural, capa de base y explanada).⁴

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Todo lo contrario, sucede en los pavimentos flexibles, que, al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencias mayores tensiones en la subrasante, como se puede apreciar en la figura. El diseño de pavimentos ha evolucionado con el tiempo, desde una perspectiva artística y netamente empírica hasta ser considerada toda una ciencia⁵.

Según, (BECERRA, 2012, pág. 9) Antes de 1920, los espesores de las capas que conforman los pavimentos se basaron netamente en la experiencia, es decir, la misma estructura era utilizada sin discriminar la clase de vía, el tipo de suelo o el tránsito esperado. Con el tiempo, las entidades administradoras de caminos y la industria de los materiales de construcción, desarrollaron

³ (Ingeniería de Pavimentos, 2004)

⁴ (Manual para el Proyecto y Gestión de Pavimentos Bicapa de Hormigón, 2010)

⁵ (Técnicas de Rehabilitación de Concreto Utilizando Sobrecapas de Refuerzo, 2004, pág. 4)

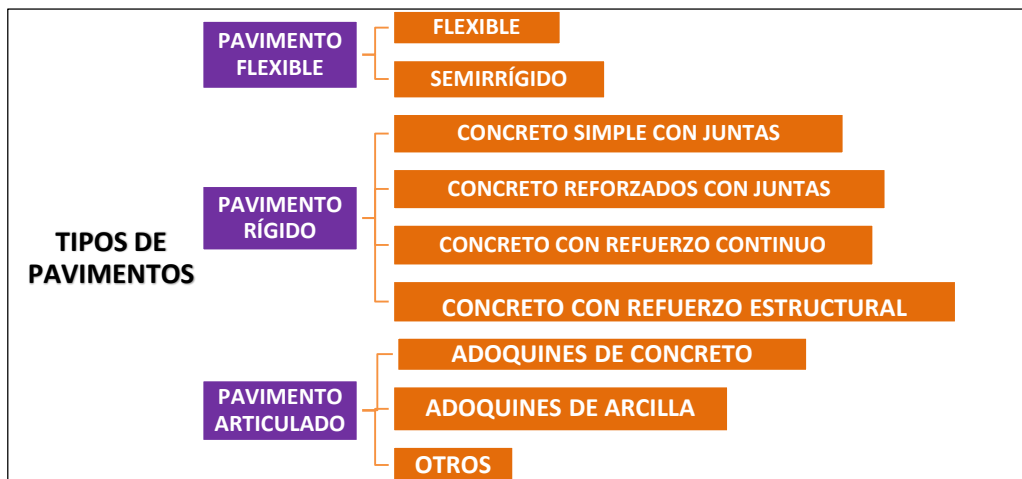
métodos de diseño de pavimentos intentando sustentar un comportamiento adecuado del mismo, teniendo en cuenta la inversión de dinero que significa construir y mantener un camino⁶.

2.2.3 Tipos de pavimentos

Existen diversos tipos de pavimentos como son:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento articulado

Gráfico N° 2: Tipos de pavimentos



Fuente: Curso Pavimentos Universidad Continental

A. El pavimento flexible

Están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre la base y subbase. Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil⁷.

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la

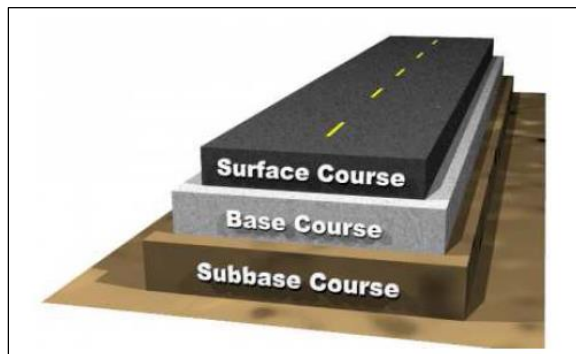
⁶ (Temas de Pavimentos de Concreto, 2012, pág. 9)

⁷ (Análisis Superficial de Pavimentos Flexibles para el mantenimiento de vías en la Región de Puno, 2015)

estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes⁸.

En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su figuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa⁹.

Figura N° 9: Estructura del pavimento flexible



Fuente: Curso Pavimentos Universidad Continental

B. El pavimento rígido

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas¹⁰.

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su

⁸ (Ingeniería de Pavimentos, 2004)

⁹ (Ingeniería de Pavimentos, 2004)

¹⁰ (Mantenimiento de Pavimento Rígido de Hormigón, 2013)

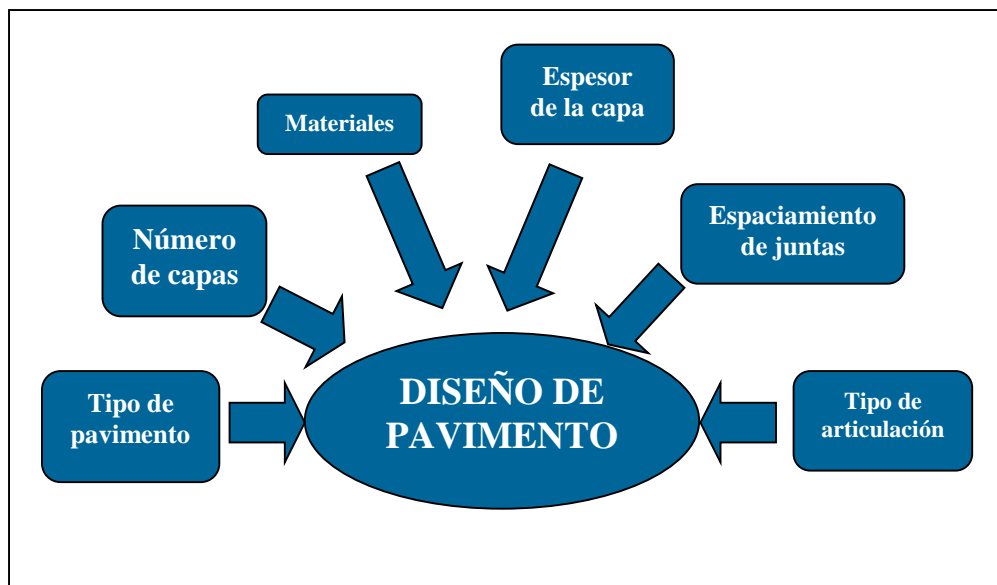
figuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada subbase, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles¹¹.

“Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera¹²”:

- Pavimentos de concreto simple.
 - ✓ Sin pasadores.
 - ✓ Con pasadores.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

2.2.4 Parámetros de diseño de un pavimento

Figura N° 10: Parámetros de diseño de pavimento



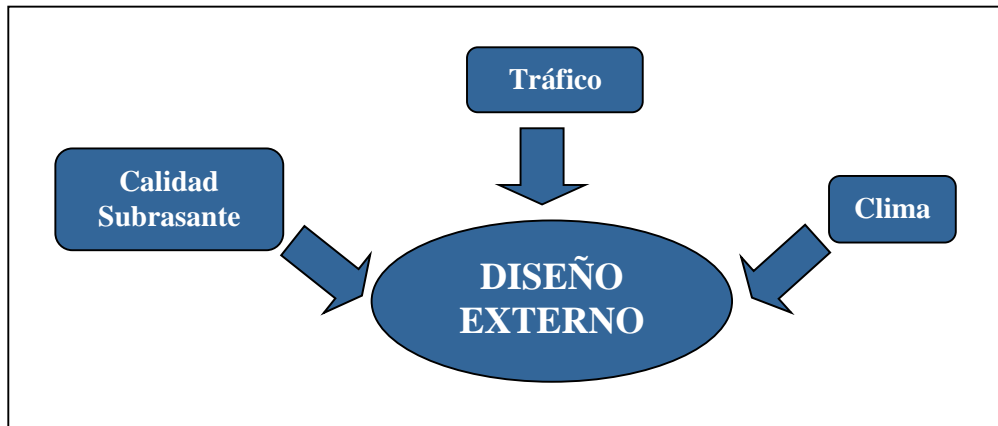
Fuente: Curso Pavimentos Universidad Continental

¹¹ (Mantenimiento de Pavimento Rígido de Hormigón, 2013)

¹² (Técnicas de Rehabilitación de Concreto Utilizando Sobrecapas de Refuerzo, 2004, pág. 5)

A. Parámetros externos

Figura N° 11: Parámetros externos de diseño de pavimentos



Fuente: Curso Pavimentos Universidad Continental

2.2.5 Desempeño del pavimento

A. Funcional

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debido a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas fallas se efectúa solo con regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con las capas asfálticas delgadas que poco aportan desde el punto de vista estructural en forma directa¹³.

B. Estructural

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es la falla en la estructura del pavimento, es decir en una o más de las capas constitutivas que deben de resistir el complejo juego de solicitaciones que impone el tránsito y las condiciones climatológicas existentes. En la corrección de este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito¹⁴.

2.2.6 Diseño de pavimentos

Proceso por medio del cual se determinan los componentes estructurales de un segmento vial, teniendo en cuenta la naturaleza de la subrasante, los

¹³ (Evaluación Superficial del Pavimento Flexible por el Método (PCI) , 2016)

¹⁴ (Evaluación Superficial del Pavimento Flexible por el Método (PCI) , 2016)

materiales disponibles, la composición del tránsito y las condiciones del entorno¹⁵.

A. Métodos de diseño de pavimentos

Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas. En el caso de los pavimentos flexibles estas deformaciones se producen en cada una de las capas. Los métodos de diseño de pavimentos descritos suponen que las deformaciones permanentes ocurren solamente en la subrasante. Sin embargo, en vías donde se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez las capas granulares soportan el esfuerzo aplicado casi en su totalidad y la magnitud de dichos esfuerzos puede llegar a generar valores altos de deformación permanente. Por lo tanto, las metodologías de diseño deben comenzar a tener en cuenta las deformaciones que se producen en estas capas, y los modelos para predecir dichas deformaciones, deben ser capaces de reproducir el comportamiento de estos materiales bajo diversas trayectorias de carga cíclica y condiciones del medio ambiente¹⁶.

1. Métodos de diseño empíricos

Las metodologías de diseño de pavimentos flexibles son generalmente de carácter empírico o mecánico–empíricas. En el caso de los métodos empíricos se correlaciona el comportamiento de los pavimentos in situ, a través de observaciones y mediciones de campo, con los factores que causan los mecanismos de degradación en estas estructuras. Los factores más importantes son las cargas impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales (principalmente temperatura y precipitación) a las cuales se encuentra sometida la estructura, el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante), la calidad de los materiales empleados y deficiencias durante el proceso constructivo. Todos estos factores son controlados y medidos durante las fases de estudio para

¹⁵ (Metodologías de pavimentos Flexibles: Tendencias Alcances y Limitaciones., 2007)

¹⁶ (Metodologías de pavimentos Flexibles: Tendencias Alcances y Limitaciones., 2007)

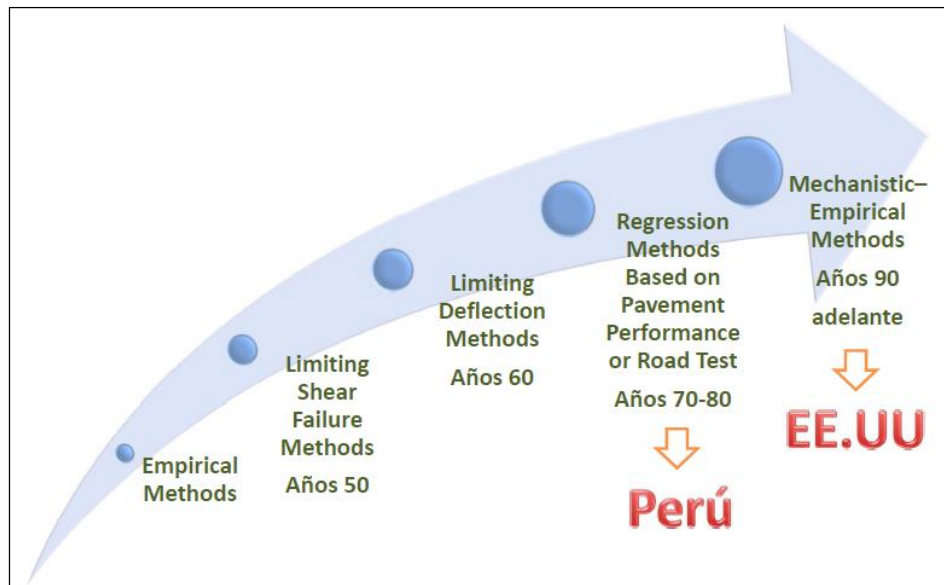
correlacionarlos con los mecanismos de degradación y crear así el método de diseño¹⁷.

2. Métodos de diseño analíticos, mecanicistas o racionales

A diferencia de los métodos empíricos, los analíticos tienen en cuenta como el estado de esfuerzo y deformación que experimentan las capas que conforman la estructura del pavimento influyen en el comportamiento del mismo. Para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, emplean programas de computador disponibles desde la década de los 60's¹⁸.

En estos programas se introducen la carga, la presión de contacto, las propiedades mecánicas de los materiales (por lo general el módulo elástico y la relación de Poisson) y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzo y deformación. Una vez calculados estos estados, se comparan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada, y en un procedimiento de ensayo y error (aumentando o disminuyendo por lo general los espesores de capas) se dimensionan las capas que conformarán la estructura de pavimento¹⁹.

Figura N° 12: Métodos de Diseño de Pavimentos



Fuente: Curso Pavimentos Universidad Continental

¹⁷ (Metodología de Pavimento Flexible: Tendencias, Alcances y Limitaciones, 2007)

¹⁸ (Metodología de Pavimento Flexible: Tendencias, Alcances y Limitaciones, 2007)

¹⁹ (Metodologías de pavimentos Flexibles: Tendencias Alcances y Limitaciones., 2007)

2.2.7 Análisis de pavimentos flexibles

El análisis de los pavimentos rígidos contempla el cálculo de los esfuerzos y deformaciones por tensión en las ubicaciones críticas de la estructura que son: en la parte superior de la carpeta donde los esfuerzos de compresión son máximos, en la parte inferior de la carpeta donde los esfuerzos de tensión y por ende las deformaciones son críticas, al interior de la base granular para verificar que no se produzcan esfuerzos de tensión y en la parte superior de la subrasante donde los esfuerzos de compresión son los que producirán deformaciones verticales no recuperables.

A. Fisuramiento por fatiga

Se conoce que el número de repeticiones que ocasiona la falla del pavimento en el campo es significativamente diferente al número de repeticiones que es obtenido en laboratorio, debido a las discrepancias entre las condiciones de carga del campo y del laboratorio. Estas discrepancias incluyen el zigzagueo lateral del tráfico en campo versus la carga sobre el mismo lugar en el laboratorio y los periodos de descanso en campo que son mucho más largos que los de laboratorio.

Comenta que en las últimas tres o cuatro décadas, en la tecnología del pavimento, ha sido común suponer que la fisuración por fatiga normalmente se inicia en la parte inferior de la capa de asfalto y se propaga a la superficie (grietas de abajo hacia arriba). Esto se debe a la acción de flexión de la capa de pavimento que da lugar a que se desarrollen tensiones de flexión en la parte inferior de la capa de asfalto. Sin embargo, numerosos estudios recientes en todo el mundo (Dauzats - 1987, Graus – 1994, Myers - 1998, Uhlmeier 2000) han demostrado claramente que las fisuras por fatiga también pueden ser iniciadas desde la parte superior y propagarse hacia abajo (*top-down cracking*). Este tipo de falla no está tan bien definida desde el punto de vista mecanicista como sí lo está el clásico tipo de falla por fatiga con fisuras que van de abajo hacia arriba. Sin embargo, es una suposición razonable de ingeniería, con el estado actual del conocimiento, que este daño puede deberse a la tensión crítica y/o a esfuerzos de corte desarrollados en la superficie del pavimento y, quizás, provocado por presiones

de contacto muy grandes en el borde de interface neumáticos-pavimento, junto con una alta edad - aumento de rigidez- y una capa delgada superficial que se ha oxidado²⁰.

La forma general matemática del número de repeticiones de carga utilizada en la literatura es la siguiente:

$$N_f = f_1 (E_t)^{-f_2} (E_1)^{-f_3}$$

Dónde: N_f = número de repeticiones para fatiga

f_1, f_2, f_3 = factores empíricos

e_t = deformación por tensión

E_1 = módulo de la carpeta asfáltica

B. Ahuellamiento o deformación permanente

La deformación permanente es el resultado de la repetición de cargas, lo que causa acumulación e incremento de las deformaciones permanentes. La deformación permanente se produce por la densificación–consolidación y la disminución en vacíos, que ocurre con el cambio del volumen y es solamente una deformación vertical (deformación permanente primaria), mientras que la deformación permanente bidimensional es causada por la falla de corte y es acompañado por movimientos laterales y verticales del material (deformación permanente secundaria y terciaria).

Comenta que actualmente existen dos grandes enfoques al problema de deformación permanente o deformaciones permanentes. Uno de los enfoques es el procedimiento de diseño basado en correlaciones empíricas de deformaciones excesivas relacionando una predicción de falla con la condición del pavimento. Este grupo puede subdividirse en procedimientos basados en pruebas empíricas utilizando la resistencia del material para la clasificación; y en procedimientos basados en el uso de límite de deformaciones (o esfuerzos) en la subrasante, utilizando el criterio de la teoría elástica multicapa. La principal ventaja de estos procedimientos es el hecho de que actualmente son herramientas viables para el análisis de pavimento. La principal desventaja de este enfoque es que no se

²⁰ (Factores de Equivalencias De Daño en Pavimentos Flexibles: Análisis Para condiciones Típicas de Argentina, 2016)

puede utilizar para predecir el valor de deformación, después de un determinado número de aplicaciones de carga. El segundo enfoque incluye procedimientos basados en la predicción de las deformaciones acumuladas en cada componente del sistema del pavimento. Obviamente es superior, para un método de diseño más avanzado o racional, debido a la capacidad para calcular las deformaciones acumuladas de cualquier sistema del pavimento²¹.

$$Nd = f_4 (Ec) - f_5$$

Dónde: Nd = número de repeticiones para deformación

f4, f5 = factores empíricos

Ec = deformación por compresión (vertical)

2.2.8 Diseño de pavimentos flexibles

A. Método del Instituto del Asfalto

Desde 1954 hasta el año 1969, el Instituto del Asfalto ha publicado ocho ediciones de la serie de manuales para el diseño del espesor de pavimentos asfálticos. Los procedimientos recomendados en estos manuales eran empíricos. La séptima y octava edición estuvieron basadas en datos del ensayo de carreteras de la AASHO, el ensayo de carreteras WASHO, y algunos ensayos de carretera británicos, así como comparaciones con los procedimientos de diseño del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos y algunas agencias de estado.

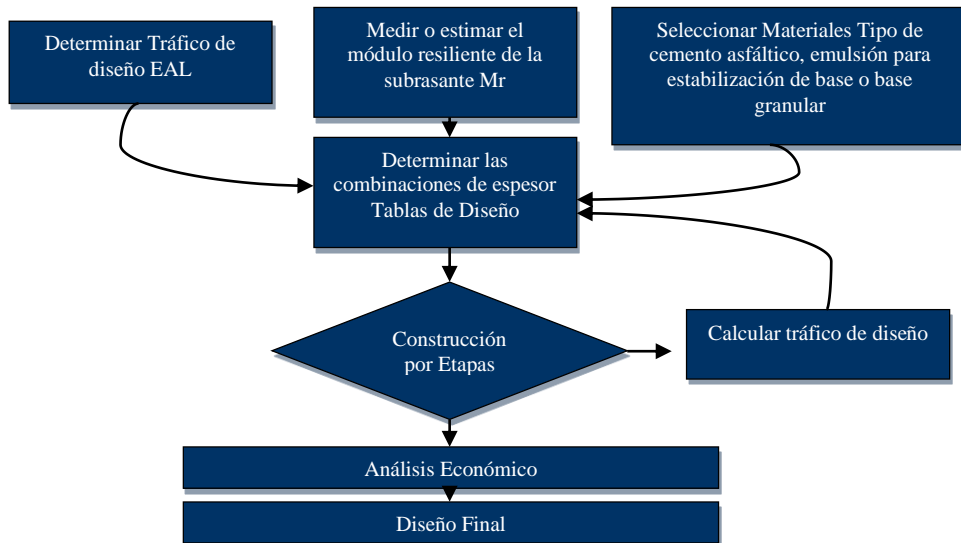
Procedimientos de diseño:

- Cálculo de tráfico para el periodo de diseño (EAL)
- Módulo resiliente de la subrasante (Mr)
- Tipo de base y superficie de rodadura
- Determinar los espesores de diseño
- Verificar los espesores mínimos
- Diseño por etapas
- Análisis económico de diferentes alternativas

²¹ (Factores de Equivalencias De Daño en Pavimentos Flexibles: Análisis Para condiciones Típicas de Argentina, 2016)

- Seleccionar el diseño final

Figura N° 13: Procedimiento de diseño Método Instituto del Asfalto



Fuente: Ingeniería de Pavimentos 3ra Edición

B. Método AASHTO 1993

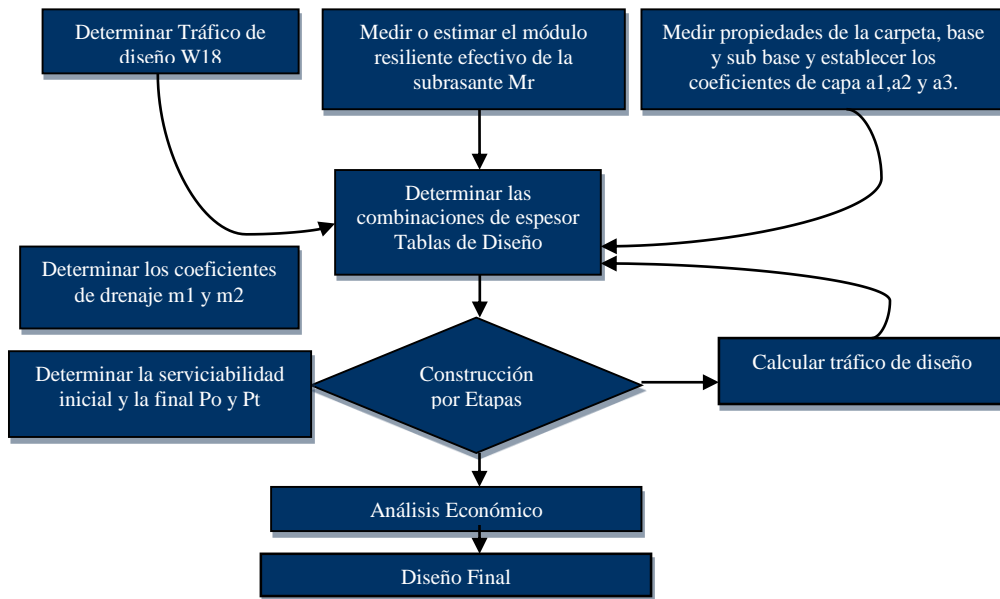
El procedimiento de diseño recomendado por la AASHTO está basado en los resultados de los extensivos ensayos de carretera AASHTO llevados a cabo en Ottawa, Illinois, a finales de los años 50's y a comienzos de los 60's. El comité de Diseño de la AASHTO publicó primero una guía de diseño provisional en 1961.

Procedimientos de diseño:

El objetivo principal es determinar los espesores de las capas de pavimento diferentes para satisfacer los objetivos de diseño, D1, D2 y D3. Suponiendo que el tramo de pavimento se compone de la superficie, base y subbase, se requiere el diseño de tres capas: D1, D2 y D3. El procedimiento de diseño se puede dividir en los pasos que se indican a continuación.

- Calcular el tráfico para el periodo de diseño (W18).
- Determinar la confiabilidad R y la desviación estándar total So.
- Establecer el módulo de resiliencia efectivo de la subrasante Mr.
- Determinar la pérdida de serviciabilidad de diseño.
- Obtener el número estructural SN
- Establecer los espesores que satisfagan SN.

Figura N° 14: Procedimiento de AASHTO (1993)



Fuente: Ingeniería de Pavimentos 3ra Edición

2.2.9 Diseño de pavimentos rígidos

A. Método PCA para pavimentos con refuerzo

El procedimiento de diseño de espesor de la Asociación de Cemento Portland (PCA) para carreteras y calles de concreto fue publicado en 1984, superando a la publicada en 1966. El procedimiento puede ser aplicado a pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP), pavimentos de concreto con juntas y con refuerzo (JRCP) y pavimentos de concreto con refuerzo continuo (CRCP).²²

Procedimiento de diseño:

- Establecer tipo de junta y berma
- Determinar el módulo de rotura de concreto a 28 días
- Determinar el módulo de reacción k de la subrasante
- Establecer el factor de seguridad de carga (LSF)
- Determinar la distribución de ejes de carga
- Calcular el número esperado de repeticiones de ejes de diseño

²² (Diseño de espesores para pavimentos de concreto en calles y carreteras, 2017)

B. Método AASHTO para pavimentos sin refuerzo

La guía de diseño para pavimentos rígidos fue desarrollada al mismo tiempo que para los pavimentos flexibles, y fue publicado en el mismo manual. El diseño está basado en ecuaciones empíricas obtenidas del ensayo de carreteras de la AASHTO con algunas modificaciones posteriores basadas en teoría y experiencia²³.

Procedimientos de diseño:

- Estimar el tráfico para el periodo de diseño (W18)
- Determinar la confiabilidad R y la desviación estándar
- Establecer el módulo de reacción efectiva de la subrasante k
- Determinar la pérdida de serviciabilidad de diseño
- Obtener el espesor de la losa D (ábaco o fórmula)
- Establecer los espesores que satisfagan SN

2.2.10 Procedimiento Método AASHTO (2008) en el Perú

Para el procedimiento de la Guía de diseño MEPDG del AASHTO 2008 se tiene que tener en cuenta diferentes factores en cuanto a la geografía, clima y tránsito.

A. Guía de diseño mecanístico–empírico de pavimentos

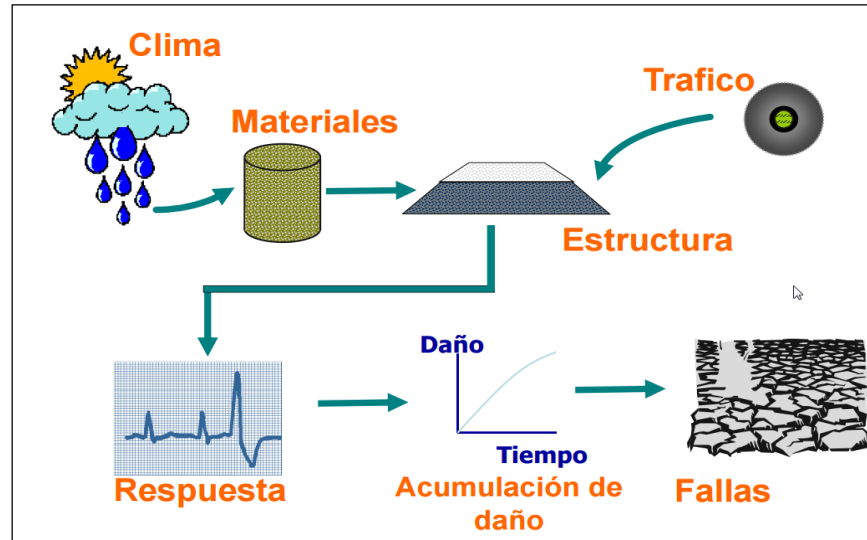
En el año 2008 la AASHTO (*American Association Of State Highway And Transportation Officials*) publica la guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos “*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide-MEPDG*”, siendo esta una de las herramientas más completas para realizar el diseño y evaluación de estructuras de pavimento.

MEPDG pronostica el desempeño de una estructura de pavimento con base a principios Mecánico–empíricos con los cuales se calcula la respuesta de dicha estructura (esfuerzos, deformaciones y deflexiones) frente a las diferentes variables que pueden afectarla. (Esquema funcionamiento método mecánico-empírico), teniendo en cuenta la experiencia que se obtuvo en las vías de diseño

²³ (Efectos de la Alta Compactación de la Capa de Base en Pavimentos Flexibles, 2009)

y pruebas de la AASHTO, se determina empíricamente el deterioro que las mencionadas respuestas causan en el pavimento²⁴.

Figura N° 15: Esquema Funcionamiento método mecánico-empírico



Fuente: Aplicabilidad del Método Mecánico-Empírico de Diseño de Pavimentos (MEPDG) AASHTO 2008 en Latinoamérica

B. Variables de entrada

1. Tránsito

A diferencia de AASHTO 93, método en el cual se trabaja por número de ejes equivalentes, la guía MEPDG evalúa el daño provocado por cada vehículo, esto lo hace calculando el espectro de carga generado por cada eje en particular, para esto es necesario conocer de forma individual el peso de cada vehículo que transite por la vía de diseño. Es razonable verificar el daño que puede generar las múltiples pasadas de cada uno de los ejes en particular que transitan por la vía de diseño y posteriormente hacer la suma de los daños provocados por estos, pues que la carga ejercida por un vehículo muy pesado puede ser mayor a la soportada por la estructura y con una simple pasada se puede generar daños irreversibles, los que no sucederían por el paso de miles o hasta millones de ejes patrón, por otra parte el cálculo de ejes equivalentes va perdiendo validez a medida que crece el tránsito de diseño²⁵.

²⁴ (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

²⁵ (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

Los datos de entrada solicitados por la guía MEDPG del AASHTO 2008 en cuanto a tránsito son los siguientes:

El volumen de tráfico-base de información del año:

- ✓ Tráfico promedio diario anual de camiones en ambos sentidos (AADTT)
- ✓ Número de carriles en la dirección de diseño
- ✓ Porcentaje de camiones en la dirección de diseño
- ✓ Porcentaje de camiones en el carril de diseño
- ✓ Velocidad de operación

Factores de ajuste de volumen de tráfico:

- ✓ Los factores de distribución de vehículos por clase
- ✓ Los factores de distribución mensual de camiones
- ✓ Los factores de distribución horaria de camiones
- ✓ Factores de crecimiento de tráfico²⁶

Los factores de distribución de carga del eje

Entradas generales de tráfico:

- ✓ Número de ejes por camión
- ✓ Configuración del eje
- ✓ Distancia entre ejes
- ✓ Desviación del tráfico lateral ²⁷













En la figura N° 16 se muestra la clasificación de vehículos según la FHWA que tendremos en cuenta para la caracterización del tránsito de vehículos pesados.

La clasificación de vehículos según FHWA es como muestra la tabla a continuación:

²⁶ (Caracterización del Tránsito de Vehículos Pesados Aplicando L a Metodología MEDPG-AASHTO 2008; Aplicación en Pavimento de Concreto Hidráulico - Lima, 2016)

²⁷ (Caracterización del Tránsito de Vehículos Pesados Aplicando L a Metodología MEDPG-AASHTO 2008; Aplicación en Pavimento de Concreto Hidráulico - Lima, 2016)

Figura N° 16: Clasificación de vehículos según *Federal Highway Administration* (FHWA)

CLASIFICACIÓN DE VEHICULOS SEGÚN LA FHWA			
CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
Motocicleta 2 ejes, 2 o 3 ruedas 	Carros pasajeros 2 ejes 	Camionetas, van, ambulancia 2 ejes, 4 ruedas simples 	Buses 2 o 3 ejes 
CLASE 5 Camión simple 2 ejes, 6 ruedas 		CLASE 6 Camión simple de 3 ejes 	CLASE 7 Camión simple, 4 o más ejes 
CLASE 9 Camión semirremolque, 5 ejes 		CLASE 10 Camión semirremolque, 6 o más ejes 	
CLASE 11 Camión semirremolque + acoplado, 5 o menos ejes 		CLASE 12 Camión semirremolque + acoplado, 6 ejes 	
CLASE 13 Camión semirremolque + acoplado, siete o más ejes 			

Fuente: ARA, Inc. Eres Consultants Division, NCHRP 1-37A, 2004.

Configuración vehicular peruana, según la clasificación del FHWA

Para aplicar el método mecánico-empírico que utiliza la metodología del MEPDG-AASHTO 2008 haciendo uso de su software, es necesario clasificar a los vehículos en el Perú según la FHWA (de la clase 4 a la 13) para poder introducir los parámetros de tráfico como datos de entrada al utilizar el software de la Guía de Diseño, pero la información de tráfico y de pesaje proporcionada por las unidades de pesajes que se tienen en el Perú, entrega información de conteo y pesaje de vehículos según la configuración vehicular peruana (DS N° 058-2003-MTC), por lo tanto es necesario agrupar a los camiones que transitan por las carreteras del Perú según su configuración dentro la clasificación establecida por la FHWA de los EE.UU.²⁸.

A continuación, se presenta en la tabla N° 4 la homologación de los tipos de vehículos con configuración vehicular peruana que circulan por las carreteras del

²⁸ (Caracterización del Tránsito de Vehículos Pesados Aplicando L a Metodología MEPDG-AASHTO 2008; Aplicación en Pavimento de Concreto Hidráulico - Lima, 2016)

país según la clasificación del FHWA para la caracterización del tránsito de vehículos pesados.

Tener en cuenta que los vehículos en la clasificación de la FHWA del 1 al 4 no contribuyen significativamente a los 80 kN (18 kips) de los Ejes Equivalentes (ESAL), por lo tanto, son generalmente ignorados en el proceso de cálculo simple de los ESAL en AASHTO 93 y que también serán ignorados en el cálculo de los espectros de carga para la caracterización del tráfico en MEPDG²⁹.

La configuración vehicular en el Perú se da de acuerdo a diferentes factores como son los tipos de ejes, es así como para poder aplicar la metodología mecanístico-empírica se tiene que clasificar y ordenar de acuerdo a las diferentes clases que exige la guía (13 clases).

Tabla N° 4: Configuración vehicular peruana según FHWA

Clasificación según FHWA (EEUU)		Clasificación según DS N° 058-2003, MTC (PERU)
Clase	Descripción	
1	Motocicletas	Motocicleta, Mototaxi
2	Vehículo para pasajeros	Auto, Tico, Station wagon
3	Camión simple, dos ejes, cuatro llantas	Camionetas, Combi, Van, Ambulancia
4	Buses	B2
		B3-1
		B4-1
		BA-1
5	Camión simple, dos ejes, seis llantas	C2
6	Camión simple, tres ejes	C3
7	Camión simple, cuatro o más ejes	C4
		8x4
8	Camión remolque simple, cuatro o menos ejes	T2S1
		T2S2
		T2Se2
		T3S1
9	Camión remolque simple, cinco ejes	T2S3
		T2Se3
		T3S2
		T3Se2
10	Camión remolque simple, seis o más ejes	T3S3
		T3Se3
11	Camión remolque múltiple, cinco o menos ejes	C2R2
		C2R3
		C3R2
12	Camión remolque múltiple, seis ejes	C3R3
		C4R2
		8x4R2
13	Camión remolque múltiple, siete o más ejes	C3R4
		C4R3
		8x4R3
		8x4R4
		T3S2S2
		T3Se2Se2
		T3S2S1S2
		T3Se2S1Se2

Fuente: elaboración propia

²⁹ (Caracterización del Tránsito de Vehículos Pesados Aplicando L a Metodología MEPDG-AASHTO 2008; Aplicación en Pavimento de Concreto Hidráulico - Lima, 2016)

2. Clima

Los datos climatológicos detallados son de gran importancia para la evaluación del deterioro de los pavimentos, estos datos indican las condiciones sobre las cuales van a estar sometidas cada una de las capas que conforman la estructura de la vía y así mismo el comportamiento que pueden llegar a tener las mismas. Las estructuras de pavimentos sufren deterioro con el simple hecho de existir y recibir sobre si las inclemencias del ambiente, una vía sin tránsito igualmente se dañará debido a las reacciones mecánicas sufridas por la afectación del ambiente. Un ejemplo de esto es la variación del módulo de la mezcla por los cambios en la temperatura, o el de la subrasante por efecto de las precipitaciones y/o la humedad. Por otra parte el conocimiento de la información climatológica, del lugar de ejecución del proyecto, es base fundamental para la toma de decisiones en cuanto a la estructura de drenaje, tipo de mezcla que se debe usar, acabado de la superficie de rodadura³⁰.

Los datos de entrada solicitados por la guía MEDPG del AASHTO 2008 en cuanto a clima son los siguientes:

- ✓ Temperatura del aire por hora
- ✓ Precipitación por hora
- ✓ Velocidad del viento por hora
- ✓ Porcentaje hora Sol
- ✓ Humedad relativa por hora

Los datos ambientales adicionales también necesarios son:

- ✓ Profundidad de nivel freático
- ✓ Propiedades drenantes / superficie

³⁰ (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

Los parámetros establecidos por la Guía de diseño MEPDG se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 5: Parámetros Establecidos para Clima diseño MEPDG.

Factor	Descripción	Unidades	Frecuencia
Factores Horarios	Precipitación	Pulg	Horaria
	Temperatura del aire	°F	Horaria
	nubosidad	%	Horaria
	viento	millas/h	Horaria
	Nivel Freático	Pie - Ft	Horaria
Otros Factores	Salida y puesta de Sol	Hora en Decimal	Diaria
	Humedad Relativa	%	Mensual
	Radiación Solar	But/(ft ² *dia)	Diaria
	Coordenadas Geodésicas	Altura en (ft)	-

Fuente: elaboración propia

3. Suelos de fundación y suelos subrasantes

Como en cualquier tipo de construcción las bases sobre las cuales se levanta una estructura son una variable determinante en el buen comportamiento de la obra terminada o ya en funcionamiento. El análisis del suelo de fundación o subrasante indica el estado del arte del lugar sobre el cual se va a cargar la estructura de pavimento, determinar en qué condiciones se encuentra un suelo y según estas condiciones cómo se comportará ante la construcción y operación de una vía, es el comienzo para la determinación del dimensionamiento de la estructura del pavimento. De un buen análisis, realizado con los ensayos adecuados, depende el hacer una estructura acta para las solicitudes de tránsito y clima que se requieren en el diseño, esto significa mitigar el mal uso de recursos innecesarios en el sobredimensionamiento de la vía, o por el contrario construir una estructura de pavimento deficiente³¹.

El estado de la fundación puede definir midiendo tres propiedades de básicas de la subrasante:

- Ensayos de clasificación

³¹ (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

- Ensayos volumétricos
- Ensayos de resistencia o de rigidez³².

4. Caracterización de los materiales

La caracterización de las propiedades de los materiales que serán usados para la construcción del diseño establecido indica el comportamiento que puede llegar a tener cada una de las capas que conforman la estructura ante las solicitudes, recién mencionadas, presentadas durante la operación de la vía³³.

C. Niveles jerárquicos de los datos de entrada

El nivel jerárquico de los datos que se ingresan en el MEPDG es un esquema que se utiliza para categorizar el conocimiento del diseñador acerca de los datos ingresados para análisis. Hay tres niveles disponibles para jerarquizar los valores que ingresan para la mayoría de los parámetros de materiales y tránsito³⁴.

1. Nivel de Entrada 1

El parámetro de entrada se mide directamente en forma específica para cada sitio o proyecto. Este nivel representa el mayor grado de conocimiento sobre el parámetro de entrada para un proyecto específico, pero tiene el más alto nivel de costos de recopilación de información y pruebas para determinar el valor de entrada. El Nivel 1 debe ser utilizado para diseños del pavimento en lugares con características inusuales, o bien para materiales o condiciones de tráfico que estén fuera del espacio de inferencia considerado para desarrollar las correlaciones y los valores por defecto para los Niveles de entrada 1 y 2³⁵.

2. Nivel de Entrada 2

El parámetro de entrada es calculado a partir de correlaciones o ecuaciones de regresión. En otras palabras, el valor de ingreso se calcula para datos específicos o parámetros que son menos costosos de medir. El nivel de entrada 2 también

³² (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

³³ (Matiz Flóres, 2015)

³⁴ (Matiz Flóres, 2015)

³⁵ (Matiz Flóres, 2015)

puede representar los valores regionales medidos que no son específicos del proyecto³⁶.

3. Nivel de Entrada 3

El parámetro de entrada está basado en valores por defecto o “mejor estimados”. Los datos de entrada nivel 3 están basados en valores globales o regionales por defecto, como por ejemplo el valor de la mediana estadística de un grupo de datos con características similares. Este nivel de entrada tiene el menor grado de conocimiento sobre el parámetro de entrada para el proyecto específico pero tiene los costos más bajos de ensayos y recopilación de datos³⁷.

2.2.11 Lanamme UCR

El Lanamme UCR busca brindar un aporte importante a la realidad nacional costarricense, en cuanto al desarrollo de información científica y el conocimiento integral de los pavimentos. Esto con el fin de generar una mejor dinámica en el desarrollo de la infraestructura vial costarricense y por ende en la calidad de vida de sus ciudadanos³⁸.

Conscientes de la relevancia que el tema reviste para nuestro país, desde el año 2004 se inició un proceso de evaluación de la red vial nacional pavimentada de Costa Rica mediante equipos con la capacidad de medir rugosidad superficial, capacidad de soporte y otros indicadores que se han venido implementando con los años. Este proceso se ha repetido cada dos años hasta la fecha.

Pero si bien es cierto la evaluación de la red es fundamental en la administración de la red vial nacional, no genera suficiente información para caracterizar detalladamente el deterioro de pavimentos costarricenses. Por tanto, desde el año 2005, y en busca de llenar la brecha de información científica necesaria para conocer el desempeño real de los pavimentos, y no solamente la condición mediante indicadores; se inicia el estudio de las

³⁶ (Matiz Flóres, 2015)

³⁷ (Aplicación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico de Pavimentos Diseñada por La AASHTO, una Opción de Crecimiento para Colombia, 2015)

³⁸ (Lanamme UCR, 2012)

metodologías disponibles para poder medir adecuadamente el desempeño real de las estructuras de pavimento a largo plazo³⁹.

El estudio identificó que son varios los países que habían realizado esfuerzos en cerrar esta brecha de información científica en cuanto al desempeño de los pavimentos. El monitoreo de desempeño se ha realizado de dos formas distintas, una de las cuales ha sido el monitoreo a largo plazo de secciones de pavimento, lo cual es altamente costoso, tanto desde el punto de vista económico como desde el punto de vista del tiempo necesario de monitoreo (estudios del deterioro de una estructura involucra monitorear la misma por más de 15 años). La opción al monitoreo a largo plazo corresponde a realizar ensayos de manera acelerada (paso repetido de cargas) sobre estructuras de pavimento a escala natural, donde el deterioro que sufriría la estructura de pavimento bajo uso normal se simula en períodos que van desde pocos meses hasta pocos años⁴⁰.

Es claro que el equipamiento es de gran importancia en un proyecto como este. Sin embargo, la presencia de personal capacitado en el uso de los equipos, la interpretación y análisis de los datos es fundamental. De tal forma, a partir del 2005 varios profesionales jóvenes del LANAMME UCR salieron del país a completar sus estudios de posgrado en el área de pavimentos, entendiéndose este proceso como una valiosa inversión que el país debía hacer. Actualmente estos profesionales se han incorporado nuevamente al LANAMME UCR e impulsan junto con los demás profesionales este ambicioso proyecto, contando entre los títulos académicos doctorados y maestrías en el campo de pavimentos, materiales y geotecnia⁴¹.

A. Pruebas preliminares

Capacitación en el Ensayo de Aceptación en Fábrica (*Factory Acceptance Test, FAT*): en esta etapa de capacitación de 5 días de duración se suministraron las herramientas básicas para verificar la operación y mantenimiento básico del HVS en la fábrica. Adicionalmente, se aseguró que el equipo se encuentre

³⁹ (Lanamme UCR, 2012)

⁴⁰ (Lanamme UCR, 2012)

⁴¹ (Lanamme UCR, 2012)

completamente funcional y que reúna las especificaciones físicas y operacionales en la fábrica de producción del equipo y antes de su envío⁴².

Fotografía N° 3: Equipo en lugar de fabricación



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html>

Capacitación en el Ensayo de Aceptación en Sitio (*Site Acceptance Test, SAT*): en esta segunda etapa de capacitación cuya duración es de 3 semanas, se profundizó más en los procedimientos de preparación de ensayos, programación, desarrollo y operación de ensayos con el HVS, además de las rutinas de mantenimiento del equipo. De igual manera, se aseguró que el equipo se encuentra completamente funcional y que no ha sufrido ningún deterioro o daño durante el envío⁴³.

Fotografía N° 4: Ensamblaje (HVS)



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html>

⁴² (Lanamme UCR, 2012)

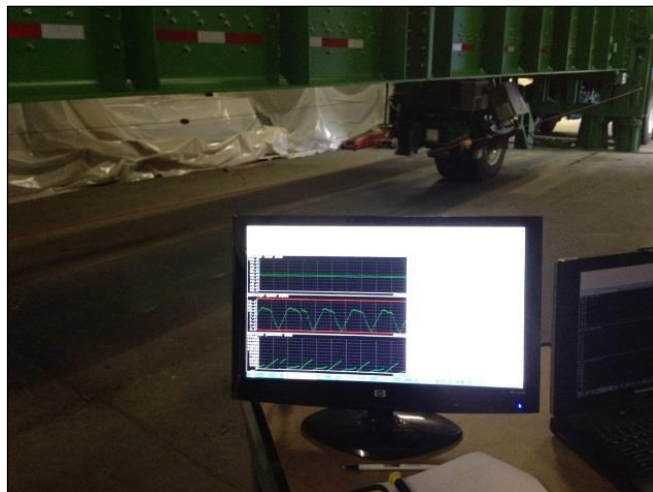
⁴³ (Lanamme UCR, 2012)

Fotografía N° 5: Calibración celda de carga (HVS)



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html>

Fotografía N° 6: Aceptación de fábrica (HVS)



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html>

B. Laboratorios de infraestructura vial

Los laboratorios de infraestructura vial del LANAMME UCR brindan servicios para la caracterización y diseño de materiales componentes de estructuras de pavimento, así como la evaluación funcional y estructural de pavimentos existentes. Nuestros servicios incluyen ensayos convencionales para la caracterización de asfaltos, emulsiones, pinturas de demarcación vial, mezclas asfálticas, bases, subbases y subrasantes; adicionalmente cuentan con equipos

de última generación para la caracterización mecánica y desempeño de materiales, y la evaluación y auscultación de pavimentos⁴⁴.

De manera general los ensayos convencionales se relacionan con la caracterización y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados; el diseño y control de mezclas asfálticas mediante la metodología Marshall y la caracterización físico-mecánica de bases, subbases y subrasantes, esto último en conjunto con los Laboratorios de Infraestructura Civil⁴⁵.

Sus equipos y servicios de última tecnología se enfocan en: la caracterización de asfaltos por medio del reómetro dinámico de corte (DSR) y su clasificación mediante la metodología del grado de desempeño (PG), el diseño de mezclas asfálticas por la metodología SUPERPAVE®, las evaluaciones del comportamiento y desempeño de mezclas asfálticas, bases, subbases y subrasantes mediante equipos dinámicos de ensayo donde se destacan ensayos como el de módulos resilientes y dinámicos en materiales asfálticos y granulares; ensayos de desempeño en mezclas asfálticas como el de fisuramiento por fatiga, deformación plástica permanente y daño por humedad donde cuentan con equipos como el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), la Rueda de Hamburgo, los equipos de Vigas a Flexotracción para fatiga y Máquinas Universales Dinámicas. Cuentan con equipos de alto rendimiento para la evaluación y auscultación estructural y funcional de pavimentos dentro de ellos los deflectómetros de impacto (FWD); perfilómetros laser (RSP) para evaluación de rugosidad, deformación permanente y macrotextura de pavimentos; evaluación de fricción (GripTester) y evaluación fotográfica para auscultación de pavimentos (GEO3D)⁴⁶.

⁴⁴ (Laboratorios de Infraestructura Vial, 2017)

⁴⁵ (Laboratorios de Infraestructura Vial, 2017)

⁴⁶ (Lanamme UCR, 2012)

Fotografía N° 7: Estructura del HVS modelo (Mark VI)



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html>

C. Ensayos de pavimentos a escala natural

El proceso que ha permitido la conceptualización y el desarrollo del PaveLab, es cuando se inician los análisis de prefactibilidad evaluando la posibilidad de realizar algún tipo de ensayo acelerado de pavimentos a escala natural en Costa Rica, ya que la opción de monitoreo a largo plazo no empezaría a solventar las necesidades del país hasta dentro de muchos años⁴⁷.

En algunos países se han desarrollado pistas o circuitos para hacer este tipo de estudios, variando siempre las dimensiones de la pista, los alcances del estudio y el dinero invertido. Cabe señalar que algunos de estos proyectos fueron temporales y otros han sido más duraderos en el tiempo⁴⁸.

La forma de aplicar las cargas que simulan el tránsito también ha sido desarrollada en varias maneras según el país encargado del estudio. Estando siempre asociado el nivel de inversión económica que se puede realizar, los objetivos del estudio y el plazo de desarrollo del proyecto⁴⁹.

Así, por ejemplo, existen países que han desarrollado sus estudios por medio de una pista circular, aplicando la carga mediante un elemento giratorio, tipo carrusel; el cual aplica la carga a la estructura colocada bajo él. Esta

⁴⁷ (Lanamme UCR, 2012)

⁴⁸ (Lanamme UCR, 2012)

⁴⁹ (Lanamme UCR, 2012)

metodología de ensayo es parte de la escuela europea, particularmente francesa, del estudio de los pavimentos⁵⁰.

El equipo más avanzado, y mayormente utilizado, en este campo lo ha desarrollado el *Council for Scientific and Industrial Research*, CSIR (Sudáfrica). El mismo se trata de un equipo que por medio de sistemas hidráulicos aplica una carga controlada, bajo las condiciones y número de repeticiones que sean necesarias para llevar una estructura de pavimento a la falla. Este dispositivo se ha denominado *Heavy Vehicle Simulator* (HVS)⁵¹.

Este equipo funciona en Sudáfrica desde 1978, fue desarrollado a partir de un prototipo de finales de los años sesenta; y actualmente es comercializado mediante la firma Dynatest; la cual es mundialmente reconocida en el campo de la ingeniería de pavimentos, tanto por sus equipos como por su software de análisis de diversos problemas de ingeniería vial.

Durante la última década, el uso del equipo ha tomado un importante impulso, principalmente debido al crecimiento en el número de usuarios de estos tipos de ensayos. Este impulso se ha fortalecido con la investigación y resultados obtenidos en los diferentes países alrededor del mundo que han implementado programas para la investigación y ensayo de pavimentos a escala natural. Ejemplo de esta tendencia son los equipos (HVS) que posee *Florida Department of Transportation* (FDOT), *University of California en Davis*, *California Department of Transportation* (CALTRANS), *Swedish National Road and Transport Research* (VTI), entre otros.

Los resultados de estas investigaciones se pueden resumir en la optimización del uso de los materiales disponibles en cada país, así como un ajuste a las condiciones de carga y climática particulares. Estos resultados han causado importantes ahorros a los diferentes administradores de las redes de carreteras alrededor del mundo⁵².

⁵⁰ (Lanamme UCR, 2012)

⁵¹ (Lanamme UCR, 2012)

⁵² (Lanamme UCR, 2012)

De tal forma, en el año 2007 inicia en el LANAMME UCR el estudio de factibilidad y presupuesto para la compra de un HVS, proceso que culmina durante el 2010 cuando se inicia el proceso de compra del equipo⁵³.

D. Proyecto de Implementación del PaveLab (HVS Costa Rica) para evaluación de desempeño

Implementación del Ensayo

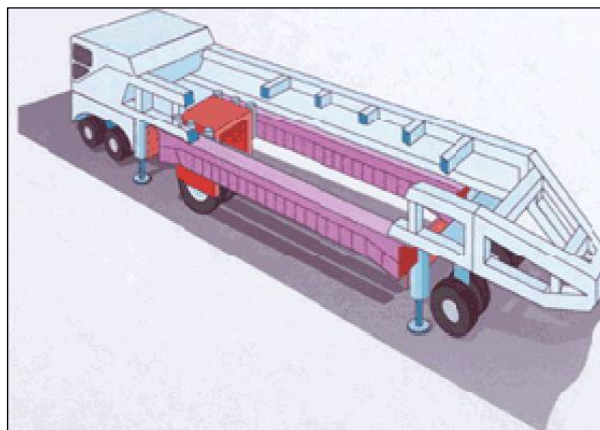
- Existen dos metodologías para evaluar pavimentos a escala real:
 - a) Ensayos en tiempo real
 - b) Ensayos acelerados

E. PaveLab's HVS

El equipo para ensayo acelerado de pavimentos (HVS) es un equipo capaz de reproducir de manera acelerada el efecto de los vehículos sobre las estructuras de pavimento.

- Se puede conocer el desempeño de los materiales
- Se pueden comparar distintas alternativas.
- Se pueden identificar deficiencias en las prácticas constructivas

Figura N° 17: Heavy Vehicule Simulator (Mark VI)



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/pavelab/images/presentaciones/presentacion-2.pdf>

⁵³ (Lanamme UCR, 2012)

1. Especificaciones del equipo

- 26.000 repeticiones bidireccionales de carga por día (13.000 en forma unidireccional).
- Velocidad máxima es de 12.8 km/h \pm 3 km/h.
- Las cargas de ensayo pueden estar entre 30 y 100 kN (hasta 200 kN con configuraciones especiales).
- Llantas de ensayo: doble neumático 11R22-5
- Rango de temperaturas de trabajo: -15°C a 40°C.
- Masa: 34.000 kg.
- Dimensiones: 23,0 m de largo x 3,3 m de alto.
- Nivel máximo de ruido generado: 90dBA a 3 metros.

Fotografía N° 8: Especificaciones del equipo



Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/pavelab/images/presentaciones/presentacion-2.pdf>

Fotografía N° 9: Especificaciones del equipo

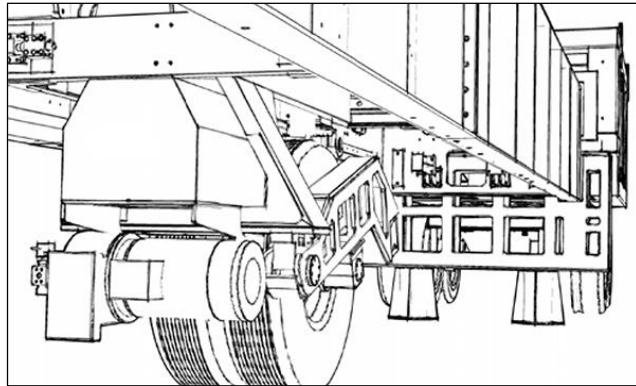


Fuente: <http://www.LANAMME.ucr.ac.cr/pavelab/images/presentaciones/presentacion-2.pdf>

2. Instrumentación y accesorios

- Equipo de carga dinámica
- Perfilómetro laser 3D automatizado
- Sistema de adquisición de datos
- Dynatest PAST II
- Dynatest SOPT
- Sensor de esfuerzos en movimiento
- Deflectómetro de profundidad múltiple
- Medidor de actividad de grietas

Figura N° 18: Modelo del Heavy Vehicle Simulator (Mark VI)



Fuente: Boletín técnico PITRA - LANAMME

3. Condiciones de ensayo

Cuando el equipo trabaja en laboratorio las condiciones de ensayo se pueden ajustar al ambiente que se desea reproducir. Algunas variables que se pueden controlar son:

- Temperatura
- Nivel freático
- Humedad superficial

El equipo puede ser llevado a un ambiente exterior, a una ubicación específica para ensayar un paquete estructural colocado.

Los ensayos de las estructuras a escala natural nos permiten diversidad de posibilidades. Una de las más relevantes es poder medir las deformaciones y

agrietamientos que ocurren a las estructuras; asociando estos deterioros con el número de repeticiones de carga que se han aplicado⁵⁴.

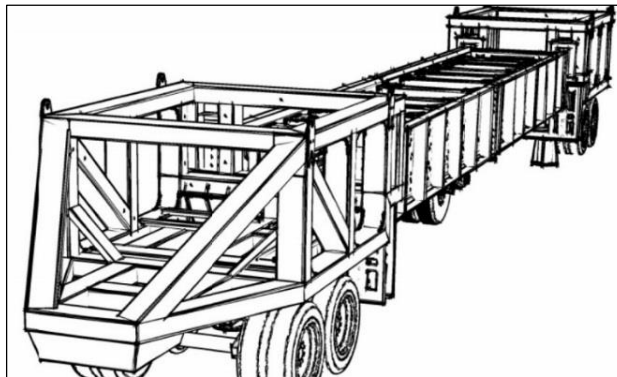
4. Objetivo del ensayo

Proponer modificaciones sustanciales al diseño y análisis de los materiales utilizados actualmente en la infraestructura vial costarricense.

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Modelación de comportamiento
2. Especificaciones de desempeño
3. Adaptación de métodos de análisis
4. Evaluación de nuevos materiales
5. Evaluación de pavimentos
6. Modelos de transferencia
7. Mejora gestión vial
8. Transferencia tecnológica

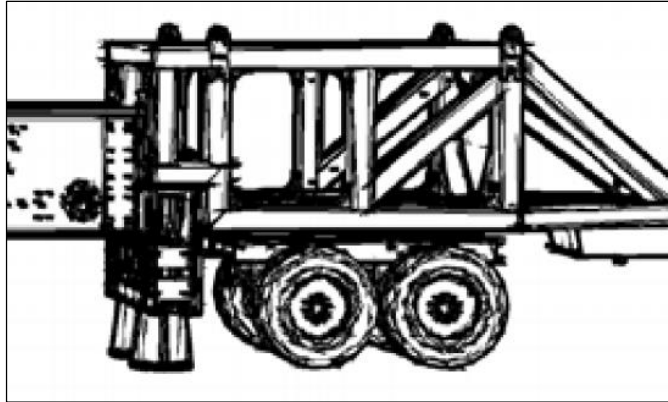
Figura N° 19: Modelo del Heavy Vehicle Simulator (Mark VI)



Fuente: Boletín técnico PITRA – LANAMME

⁵⁴ (Proyecto de Implementación del Pavelab HVS Costa Rica, 2012)

Figura N° 20: Modelo del Heavy Vehicle Simulator (Mark VI)



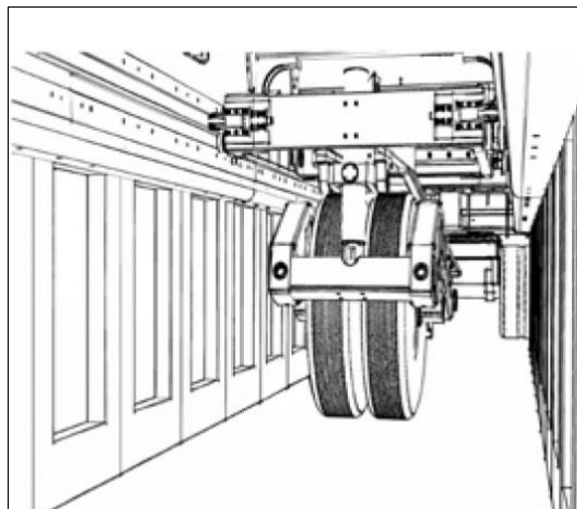
Fuente: Boletín técnico PITRA - LANAMME

5. Justificación

La implementación de los ensayos de pavimentos a escala natural permitirá:

1. El desarrollo de metodología de diseño mecánica-empírica de pavimentos.
2. Desarrollo de un software que permita la implementación de la metodología de diseño estructural.
3. Desarrollo de nuevas especificaciones de materiales que se basen en el desempeño real y aporte estructural de los materiales en campo.
4. Optimización de estructuras de pavimentos en uso en el país.
5. Posibilidad de evaluación de materiales mejorados o nuevos materiales.
6. Evaluación de pavimentos de alta importancia para el país previo a su apertura al tráfico vehicular.

Figura N° 21: Modelo del Heavy Vehicle Simulator (Mark VI)



Fuente: Boletín técnico PITRA - LANAMME

2.3 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS

Para poder comprender de una mejor forma los términos usados en el contexto de la Ingeniería de Pavimentos, es importante contar con definiciones precisas.

2.3.1 Agregado: es cualquier material duro o inerte formado por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezcla con un material cementante para formar concreto o un material similar.

2.3.2 Arena: es producto de la desintegración natural o artificial de rocas y minerales. El tamaño de los gránulos están 1/16 pulg. Hasta ¼ de pulg.

2.3.3 ASTM: Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (Arthur H. Nilson Diseño de estructuras de concreto. 1999).

2.3.4 AASHTO: *American Association State Highway and Transportation Officials.*

2.3.5 Cemento: es un material cementicio que es capaz de unir porciones de sustancias no adhesivas por sí mismas en un todo cohesivo.

2.3.6 Concreto: es una mezcla de arena, grava, piedra triturada u otro agregado que se mantiene unida por una pasta endurecida de cemento y agua.

2.3.7 Contracción: es el acortamiento en una medida de un material, por efecto del calor o del frío.

2.3.8 Curado: es un proceso mediante el cual se logra la conservación de la temperatura y humedad del concreto fresco colocado, durante algún periodo, para asegurar una hidratación adecuada y endurecimiento apropiado del concreto.

2.3.9 Deformación permanente: es el cambio en la longitud de un material plástico después de retirar la fuerza que ha producido su deformación.

2.3.10 Diseño de mezcla: es el procedimiento mediante el cual se calculan y estiman las proporciones que deben existir entre los materiales que componen la mezcla, para lograr las propiedades deseadas para el concreto.

2.3.11 Eje doble (Tándem): es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

2.3.12 ESAL: es el eje simple equivalente de carga.

2.3.13 Fraguado: es el fenómeno químico que consiste en el endurecimiento de cal, cemento y yeso, sin que puedan ablandarse nuevamente.

2.3.14 Guía De Diseño Aashto 2008: es conocida como MEPDG por sus siglas en inglés (*Mechanistic Empirical Pavement Design Guide*) y constituye un

cambio radical respecto de las metodologías tradicionales de diseño utilizados hasta ahora en nuestro país.

- 2.3.15 Guía de diseño Aashto 1993:** El método AASHTO, originalmente fue conocido como AASHO, que fue desarrollado en los años 60 en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real, denominado AASHO ROAD TEST, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.
- 2.3.16 IRI:** es el Índice de Rugosidad Internacional, ha sido un parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales que presentan los pavimentos.
- 2.3.17 Lanamme UCR:** es una entidad académica de investigación adscrita a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.
- 2.3.18 Materiales:** son los elementos que intervienen en una obra o en un conjunto, que tiene volumen y peso.
- 2.3.19 Método mecanístico-empírico:** se basa en la aplicación de la mecánica estructural, que permite determinar la respuesta de los elementos estructurales que compone el pavimento.
- 2.3.20 Mezcla:** es la unión de dos o más sustancias en proporciones variables; que conservan sus propiedades.
- 2.3.21 MEPDG:** es una herramienta de diseño que combina conceptos mecanicistas con la experiencia adquirida en el AASHO Road Test, y cuyo alcance es el de diseño y rehabilitación de pavimentos de asfalto y concreto.
- 2.3.22 Pavimento:** es la capa construida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado para aumentar su resistencia y servir para la circulación de vehículos.
- 2.3.23 Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI):** índice que establece el daño superficial esperado en un período de tiempo, que depende de la categoría de la carretera.
- 2.3.24 Resistencia:** es el grado de tensión que puede recibir un objeto antes de que se rompa.
- 2.3.25 Simulador de Vehículos Pesados (HVS):** es una instalación de carga acelerada y de escala completa que acelera la falla del pavimento simulando muchos años de tráfico de carga en unos pocos meses. Esto permite que una agencia evalúe rápidamente nuevos materiales, diseños de pavimentos y técnicas de construcción.

- 2.3.26 Sobrecarga vehicular:** es la suma del peso del vehículo o combinación de vehículos y la carga que transporta, incluido el peso del conductor y cualesquiera otras personas transportadas al mismo tiempo.
- 2.3.27 Superpave:** es un sistema que incluye nuevas especificaciones para los materiales (asfaltos y agregados), como así también nuevos ensayos de laboratorio y un renovado método de diseño para las mezclas asfálticas en caliente.
- 2.3.28 Trabajabilidad:** es aquella propiedad que determina el refuerzo requerido para manejar una cantidad de concreto recién mezclado con el mínimo de pérdida de homogeneidad al ser transportado y colocado.
- 2.3.29 Tránsito:** es el número de vehículos que circulan por una carretera en un período de tiempo dado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método de la investigación

A. Método general o teórico de la investigación

La metodología que se usará para abordar la investigación será el método científico, ya que mediante la interpretación de los datos obtenidos se analizarán los hechos y sucesos en forma metódica y secuencial, cumpliendo con la comprobación de las hipótesis, además de analizar, cada una de las variables para generar nuevos argumentos y criterios, para ello se pasará a describir cada uno de estos mediante los siguientes pasos:

- Observación
- Descripción
- Descomposición del fenómeno
- Ordenamiento
- Clasificación

B. Método específico de la investigación

Para la presente investigación se ha empleado el Método Experimental, debido a que se tuvo una muestra para luego realizar su respectiva observación.

3.1.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación de acuerdo a las variables propuestas y el objetivo general de la investigación es de tipo: aplicada

3.1.3 Nivel de la investigación

Por las características de las variables planteadas el nivel de la investigación es: explicativo.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se utilizó en el trabajo de investigación es: experimental.

GE: M → O

Donde:

G.E. Grupo Experimental.

M: Muestra

O: Observación

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Población

La población está constituida por todos los laboratorios a escala real acelerado que existen en el mundo que proveen de resultados que predicen el comportamiento de los pavimentos.

3.3.2 Muestra

Es la Universidad de Costa Rica LANAMME UCR con su Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Técnicas utilizados en la recolección de datos

La técnica de recolección de datos se realizó utilizando el método del fichaje para recolectar información más exacta del tema de investigación y las técnicas de análisis de documentos donde se determinó la información más óptima y confiable para desarrollar la presente investigación.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

El instrumento utilizado para la recolección de datos fue la entrevista por teléfono y correo. De esta manera se pudo obtener los datos del ensayo a escala real acelerado del laboratorio de Costa Rica de parte del encargado en jefe del área de pavimentos.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

El proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Ayacucho–Abancay, corresponde al tramo II: Km 50+000 – Km 98+800 en una longitud de 48.800 Km, perteneciente a la Ruta Nacional PE3S, ubicada entre las Regiones de Ayacucho y Apurímac.

4.1.1 Ubicación del proyecto

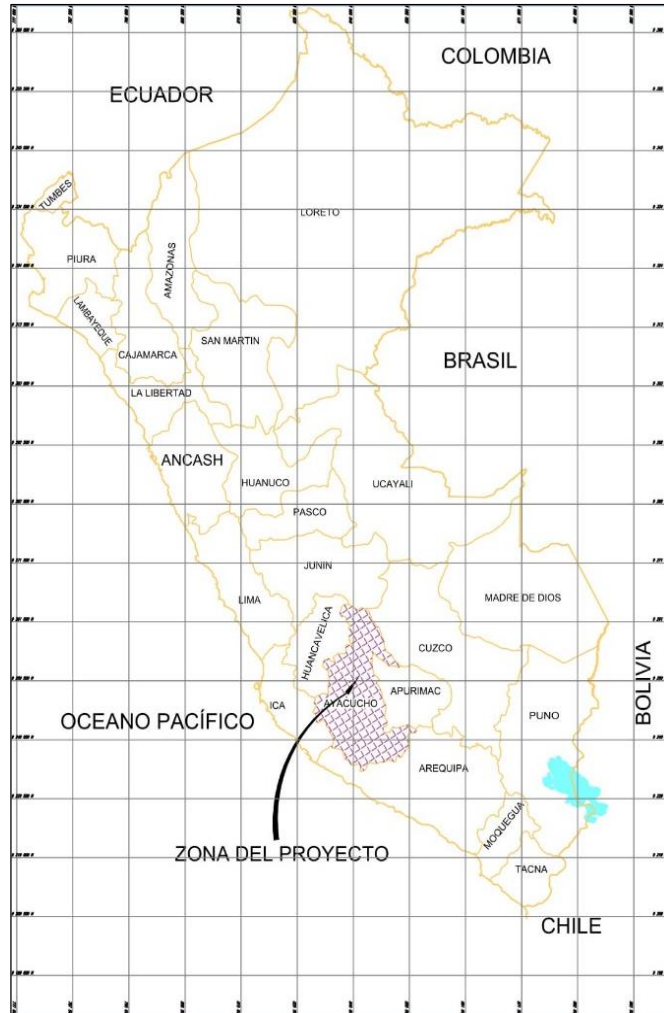
La ubicación de la carretera a caracterizar el tránsito de vehículos pesados comprende de Ayacucho – Abancay, el tramo de la carretera a analizar será de 3Km desde la progresiva 50+000 hasta el Km 53+000. Ver Figura N° 24.

La carretera nacional Ayacucho-Andahuaylas-Abancay (ruta 3S) se ubica en las regiones de Ayacucho y Apurímac, a una altitud que varía desde los 1,950 msnm hasta los 4,230 msnm, y tiene una longitud de 375.65 Km por el actual recorrido, la cual se ha dividido en cuatro tramos y sus sectores respectivos, así mismo se incorpora un quinto tramo que representa la variante de Huancarama como una alternativa a la actual ruta.

El presente estudio tiene importantes conexiones con la selva y sierra a través de las carreteras Lima-La Oroya-Huancayo-Ayacucho, carretera Pisco-Ayacucho y

carretera Nazca-Abancay-Cuzco, así como las vías anexas a estas, fortaleciendo así la red vial central del país.

Figura N° 22: Ubicación Departamental: Carretera Ayacucho - Abancay



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 23: Ubicación Provincial: Carretera Ayacucho - Abancay



Fuente: elaboración propia

Figura N° 24: Ubicación Provincial Carretera Ayacucho - Abancay



Fuente: elaboración propia

4.1.2 Rutas de acceso

El tramo de la carretera se inicia a 50 km de la ciudad de Ayacucho y culmina en el Km 98+800 cercano al poblado de Ocros.

El acceso a la zona de proyecto es a través de las siguientes vías:

A. Vía terrestre

Lima – Pisco – Huaytará – Ayacucho – Ocros

Lima – Ica – Nazca – Puquio – Chalhuanca – Abancay – Andahuaylas

Chincheros – Ocros

B. Vía Aérea

Lima – Ayacucho

Lima – Andahuaylas

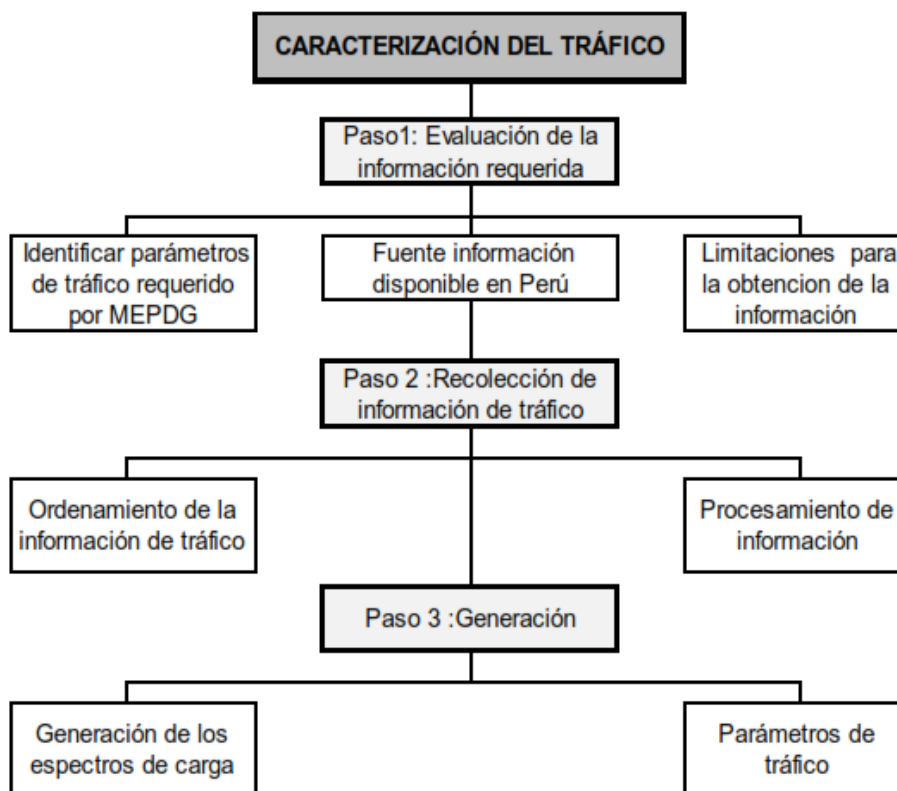
4.2 PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO PARA LA CARRETERA AYACUCHO – ABANCAY

La caracterización de tráfico generado para la carretera Ayacucho–Abancay se desarrolló con datos de tráfico reales obtenidos de la estación de peaje de SOCOS, ubicada en la provincia de Huamanga en la región de Ayacucho.

Se utilizó la propuesta de la tesis: “CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS PESADOS APLICANDO LA METODOLOGÍA MEPDG-AASHTO 2008; APLICACIÓN EN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO-LIMA” para el procedimiento teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Paso 1: Evaluación de información.
- Paso 2: Acopio de datos.
- Paso 3: Obtención de los espectros de carga y los otros parámetros de tráfico.

Figura N° 25: Procedimiento propuesto para la caracterización del tráfico



Fuente: Tesis caracterización del tránsito de vehículos pesados

4.2.1 Evaluación de información

Para realizar la generación de los espectros de carga y la caracterización del tráfico, se necesita para recabar información y requerimientos mínimos según el tipo de parámetro. El procesamiento de la información viene desde los conteos vehiculares y pesaje en movimiento para cada uno de los ejes de los vehículos.

A. Determinar parámetros requeridos por MEPDG

Los requisitos que pide la Guía de Diseño son 10 parámetros, a esto también podemos incluir a los espectros de carga (F.D. carga por eje) establecidos como así lo muestra en la Figura. N° 26. Para lograr obtener los parámetros de tráfico se necesitan gran cantidad información como: WIN (pesaje en movimiento) y AVC (clasificación automática de vehículos), provenientes del conteo vehicular.

Figura N° 26: Datos de tráfico necesario para obtención de los parámetros de tráfico

Parámetros	Datos
1. TMDAC	→ AVC
2. % Dirección de diseño	→ AVC
3. % Carril de diseño	→ AVC
4. Velocidad operación	→ Externo
5. F. A. Mensual	→ AVC
6. F.D. por tipo Vehículo	→ AVC
7. F.D. Horario	→ WIM
8. F. Crecimiento Tráfico	→ AVC
9. F. D. Carga por Eje	→ WIM
10. Entradas Generales de tránsito	→ Externo

Fuente: Tesis caracterización del tránsito de vehículos pesados

4.2.2 Recolección de información de tráfico

La metodología de los métodos mecanísticos empíricos (MEPDG) requiere de una amplia y precisa información. Los datos utilizados en la presente investigación fueron información a partir de flujo vehicular de los años 2013, 2014 y 2015 y datos horarios de pesaje, por lo que se tendrá mucho cuidado al momento de su recolección y procesamiento. En la Tabla N° 6 se muestra un cuadro de Conteo de Vehículos en un día del sentido de Ocos hacia Chincheros.

Tabla N° 06: Cuadro de Resumen de Volumen de Camiones por Hora en un Día

CUADRO DE RESUMEN DE VOLUMEN DE CAMIONES POR HORA DE UN DIA							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
TIPO	CANTIDAD DE VEHICULOS						
B2	89	78	75	63	45	103	0
B3-1	0	71	0	13	0	0	10
C2	123	71	143	113	165	117	172
C3	7	0	0	19	6	0	10
C4	0	0	0	0	0	0	0
T2S2	0	0	8	0	0	0	10
T2S3	0	6	0	0	6	7	0
T3S2	0	6	0	6	0	0	0
T3S3	0	0	0	6	0	0	10
C2R2	0	0	0	0	0	0	0
C2R3	0	0	0	0	0	0	0
C3R2	0	0	0	13	0	7	20
C3R3	14	0	8	0	11	0	0

Fuente: elaboración propia

4.2.3 Obtención de los espectros de carga y los otros parámetros de tráfico

La información del flujo vehicular fue proporcionada por Provías Nacional Ayacucho con información del Peaje “Socos” de la misma región para los años 2013–2015. Para la información de pesaje se realizó de acuerdo al expediente de la Carretera Ayacucho–Abancay tomando en cuenta la cantidad del flujo vehicular.

A. Tránsito medio diario anual de camiones (TMDAC)

Nivel 1: El cálculo del TMDAC se logró en base a la información que nos proporcionó del peaje de SOCOS de la Región de Ayacucho, clasificación y conteo de vehículos, por el cual se considera un nivel 1.

Para el cálculo del tráfico de camiones de ambos sentidos se consideró para 3 años como son del 2013–2015 tal y como se muestra en la tabla N° 7.

Tabla N° 7: Datos disponibles de pesaje vehicular

CONTEO VEHICULAR - AÑO 2013										
MES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	7 EJES	NC	TOTAL	CAMIONES	TMDAC/Día
ENERO	1885	1693	653	225	991	18	7330	12795	5465	176
FEBRERO	1792	1753	699	177	919	8	7984	13332	5348	173
MARZO	2244	2026	751	214	1045	9	10153	16442	6289	203
ABR	2245	1923	619	255	1137	11	7330	13520	6190	200
MAYO	2419	1986	622	242	1282	20	8415	14986	6571	212
JUNIO	2220	1971	683	249	1377	14	8062	14576	6514	210
JULIO	2292	2100	697	279	1502	26	9572	16468	6896	222
AGOSTO	2189	2241	751	306	1550	35	9792	16864	7072	228
SETIEMBRE	2078	2123	664	265	1503	9	8839	15481	6642	214
OCTUBRE	2157	2180	686	249	1809	18	8961	16060	7099	229
NOVIEMBRE	1885	2121	623	223	1591	16	8351	14810	6459	208
DICIEMBRE	1998	2293	644	169	1620	11	9136	15871	6735	217
									TMDAC	208

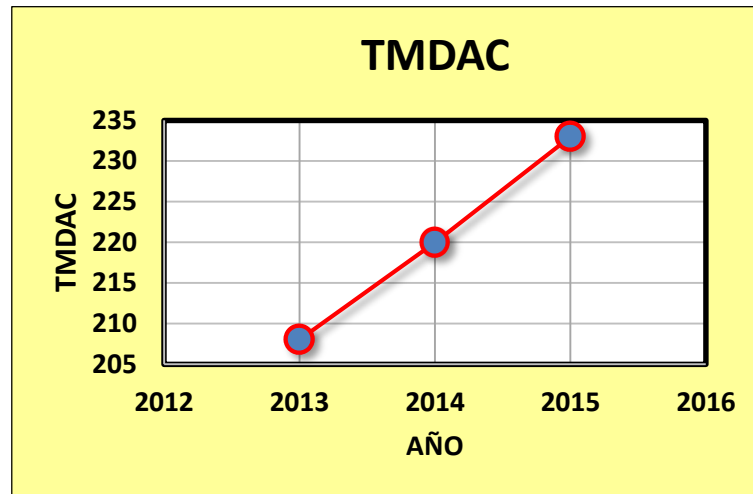
CONTEO VEHICULAR - AÑO 2014										
MES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	7 EJES	NC	TOTAL	CAMIONES	TMDAC/Día
ENERO	1882	2263	682	192	1451	8	8665	15143	6478	209
FEBRERO	1748	2288	659	188	1330	3	8588	14804	6216	201
MARZO	2018	2407	701	220	1519	7	9856	16728	6872	222
ABR	1997	2312	632	223	1477	8	11865	18514	6649	214
MAYO	1919	2284	612	245	1617	10	9307	15994	6687	216
JUNIO	1574	2204	590	217	1654	6	9027	15272	6245	201
JULIO	1961	2546	673	206	1607	8	11259	18260	7001	226
AGOSTO	2085	2706	695	237	1843	24	10875	18465	7590	245
SETIEMBRE	1917	2540	619	234	1771	14	9948	17043	7095	229
OCTUBRE	2095	2514	623	258	2002	16	10513	18021	7508	242
NOVIEMBRE	1630	2438	569	247	1907	13	9318	16122	6804	219
DICIEMBRE	1724	2442	588	258	1823	26	10682	17543	6861	221
									TMDAC	220

CONTEO VEHICULAR - AÑO 2015										
MES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	6 EJES	7 EJES	NC	TOTAL	CAMIONES	TMDAC/Día
ENERO	1565	2474	630	234	1643	8	10039	16593	6554	211
FEBRERO	1634	2466	658	205	1584	11	11147	17705	6558	212
MARZO	1896	2698	651	256	1711	19	10338	17569	7231	233
ABR	2014	2595	576	233	1729	25	13035	20207	7172	231
MAYO	1955	2664	595	241	1860	36	10907	18258	7351	237
JUNIO	1791	2429	567	210	1718	13	10000	16728	6728	217
JULIO	1961	2766	658	245	1964	28	12973	20595	7622	246
AGOSTO	1912	2927	691	259	2119	11	12043	19962	7919	255
SETIEMBRE	1640	2738	589	242	2093	10	10613	17925	7312	236
OCTUBRE	1787	2876	602	279	2317	10	11507	19378	7871	254
NOVIEMBRE	1502	2688	584	242	1974	11	10755	17756	7001	226
DICIEMBRE	1714	2848	618	250	1982	22	12332	19766	7434	240
									TMDAC	233

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la tabla N° 8 que el volumen del total de camiones de la Carretera Ayacucho–Abancay en ambos sentidos, tienden al aumento conforme avanzan los años (2013 – 2015).

Tabla N° 8: Evolución del TMDAC en el tiempo, estación de Peaje SOCOS - Huamanga



Fuente: elaboración propia

En la figura N° 8 podemos notar que hay un aumento constante en el tráfico de camiones del 2013 a 2015. Esto se debe al crecimiento económico de nuestro país y en particular en el departamento de Ayacucho, que a su vez ha causado este aumento en el tráfico de camiones.

B. Número de carriles en la dirección de diseño

La carretera Ayacucho–Abancay cuenta con 1 carril en cada dirección. La dirección de diseño será de Ocros hacia Chincheros.

C. Porcentaje de camiones en la dirección de diseño

Nivel 1: Los valores se lograron a partir de datos de volúmenes de tráfico recolectados en campo, en donde la dirección de diseño será en el sentido de Ocros a Chincheros.

Los datos de conteo y clasificación vehicular se agruparon de acuerdo al volumen de tráfico, tipo de vehículo y sentido del tráfico. Ver tabla N° 9.

Tabla N° 9: Volúmenes de tráfico por sentido

Tráfico 2015		
Tipo de vehículo	Vol. Tráfico	
	Sentido Ocos	Sentido Chincheros
C4	18360.8	14628.9
C5	20884.2	24347.9
C6	309.8	1600.8
C7	0.0	0.0
C8	295.1	344.3
C9	1097.9	708.8
C10	295.1	258.2
C11	1066.8	602.5
C12	1066.8	885.2
C13	0.0	0.0

Fuente: elaboración propia

Como se puede visualizar en la Tabla N° 10, los camiones más transitados son de la clase 4 y 5, en donde sus valores son correspondientes al porcentaje de camiones en la dirección de diseño.

Tabla N° 10: Porcentaje de camiones en la dirección de diseño

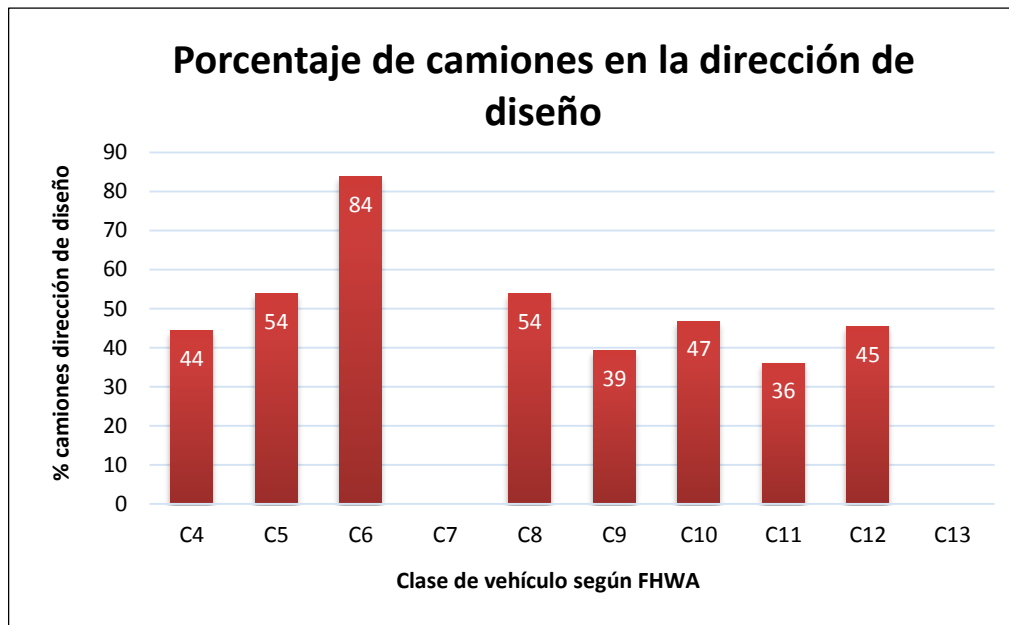
Tipo de vehículo	% Camiones en la dirección de diseño (Chincheros)
C4	44
C5	54
C6	84
C7	0
C8	54
C9	39
C10	47
C11	36
C12	45
C13	0

Fuente: Elaboración propia

Los camiones más comunes son de la clase 4 y 5, tal como se puede notar en la tabla N° 10. El valor del porcentaje de camiones en la dirección de diseño será de 54% que corresponde al camión de la Clase 5, por ser el valor del camión más común, tal como indica la Guía del MEPDG.

En el gráfico N° 3, se muestran los valores de la tabla N° 10.

Gráfico N° 3: Porcentaje de camiones en la dirección de diseño por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

D. Porcentaje de camiones en el carril de diseño

Nivel 3: El valor por defecto será de 90%, ya que según la guía del MEPDG para carreteras de 2 carriles o menos por dirección, todo esto debido a no tener información detallada del conteo y de la clasificación vehicular por carril. Solamente se tiene información por dirección del tráfico (sentido).

E. Velocidad de operación de los vehículos

Nivel 2: Será el valor de 60 Km/h (38 Millas/h), obtenido del Expediente Técnico. Ver anexo D (digital)

4.2.4 Factores de ajuste de volúmenes de tráfico

A. Factor de ajuste mensual

Nivel 1: Los valores correspondientes de los factores de ajuste mensual se consiguieron de los datos de conteo y clasificación vehicular.

Tabla N° 11: Factores de ajuste mensual por tipo de vehículo

Factores de Ajuste Mensual (FAM)										
Tipo de vehículo	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13
Enero	0.91	0.91	0.91	0.00	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.00
Febrero	0.91	0.91	0.91	0.00	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.00
Marzo	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Abril	0.99	0.99	0.99	0.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00
Mayo	1.02	1.02	1.02	0.00	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
Junio	0.93	0.93	0.93	0.00	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.00
Julio	1.05	1.05	1.05	0.00	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.00
Agosto	1.10	1.10	1.10	0.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.00
Septiembre	1.01	1.01	1.01	0.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0.00
Octubre	1.09	1.09	1.09	0.00	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	0.00
Noviembre	0.97	0.97	0.97	0.00	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.00
Diciembre	1.03	1.03	1.03	0.00	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	0.00
Total	12	12	12	0	12	12	12	12	12	0

Fuente: elaboración propia

B. Distribución de tipo de vehículo

Nivel 1: Los valores correspondientes de distribución por tipo de vehículo, se consiguieron de los datos de conteo y clasificación vehicular.

- **Paso 1:** recolección de la data del total de camiones diarios en ambas direcciones medidos en el lugar de los datos de conteo y clasificación vehicular.

Tabla N° 12: Distribución de vehículos para los años 2013,2014 y 2015

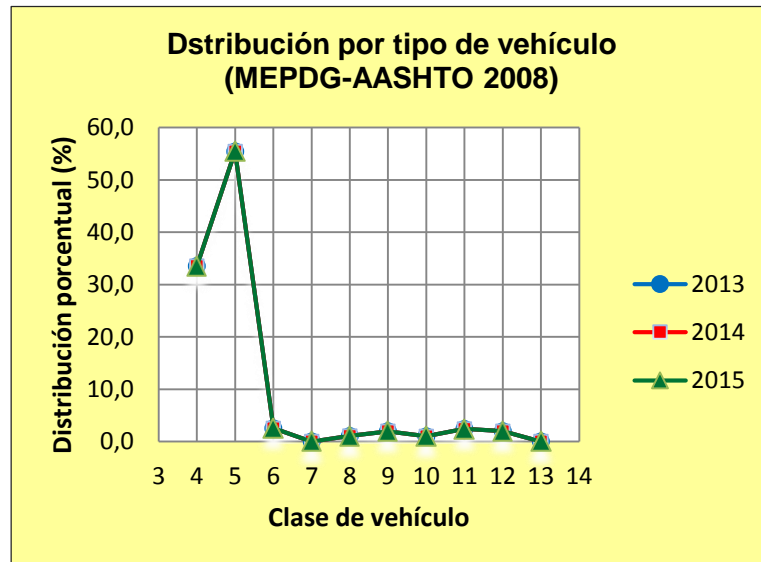
Tipo de vehículo	2013		2014		2015	
	Vol. Tráfico	Distribución (%)	Vol. tráfico	Distribución (%)	Vol. tráfico	Distribución (%)
4	23717.0	33.5	27506.3	33.5	29098.5	33.5
5	39201.1	55.4	45464.2	55.4	48095.9	55.4
6	1801.7	2.5	2089.5	2.5	2210.5	2.5
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	765.0	1.1	887.3	1.1	938.6	1.1
9	1377.7	1.9	1597.8	1.9	1690.3	1.9
10	712.2	1.0	826.0	1.0	873.8	1.0
11	1721.5	2.4	1996.5	2.4	2112.1	2.4
12	1412.8	2.0	1638.5	2.0	1733.4	2.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total camiones	70709.0	100.0	82006.0	100.0	86753.0	100.0
NC	103925	0.0	119903	0.0	135689	0.0
Total vehículos	174634.0	0.0	201909.0	0.0	222442.0	0.0

NC: Vehículos no contabilizados

Fuente: elaboración propia

- **Paso 2:** Los valores obtenidos de la distribución por tipo de vehículo se grafican a continuación, para ser comparados por cada año.

Gráfico N° 4: Distribución por tipo de vehículo. Años 2013, 2014 y 2015



Fuente: elaboración propia

- **Paso 3:** En base a los resultados obtenidos, se observa que los valores de los años 2013 y 2014 son muy similares y la del año 2015 difieren de los anteriores.

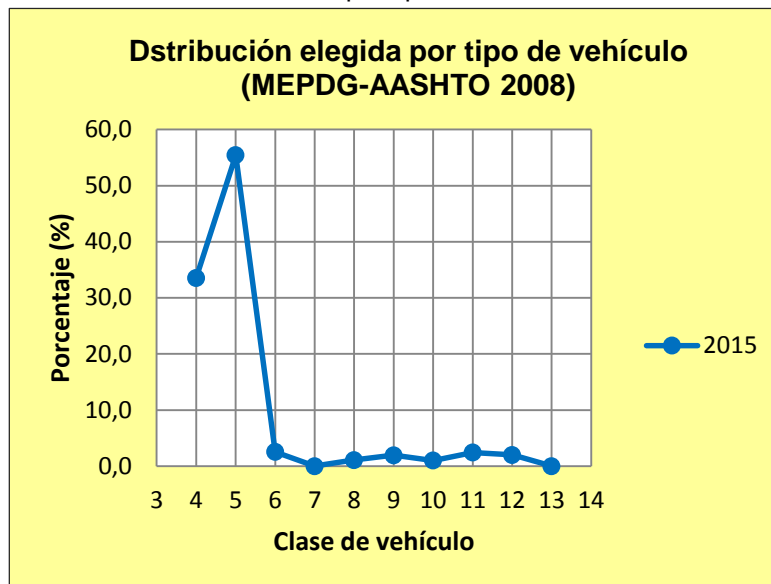
Tabla N° 13 Valores de distribución por tipo de vehículo del año 2015

Año 2015		
Tipo de vehículo	Vol. tráfico	Distrib. x tipo de vehículo (%)
4	29098.5	33.5
5	48095.9	55.4
6	2210.5	2.5
7	0.0	0.0
8	938.6	1.1
9	1690.3	1.9
10	873.8	1.0
11	2112.1	2.4
12	1733.4	2.0
13	0.0	0.0
Total camiones	86753.0	100.0

Fuente: elaboración propia

En la gráfica N° 5 se observa la distribución por tipo de vehículo gráficamente, en donde se puede indicar que los camiones de mayor incidencia son los de la clase 4 (Camión Tipo B2 y B3-1) y clase 5 (Camión Tipo C2).

Gráfico N° 5: Distribución por tipo de vehículo del año 2015



Fuente: elaboración propia

En la Tabla N° 14 se muestran los resultados de la distribución por tipo de camión según la clasificación del reglamento nacional de vehículos del Perú (RENAV), en donde observamos una mayor proporción de camiones con configuración B2 y B3-1 (Camión de 2 ejes) y camiones C2 (Camión de 2 ejes).

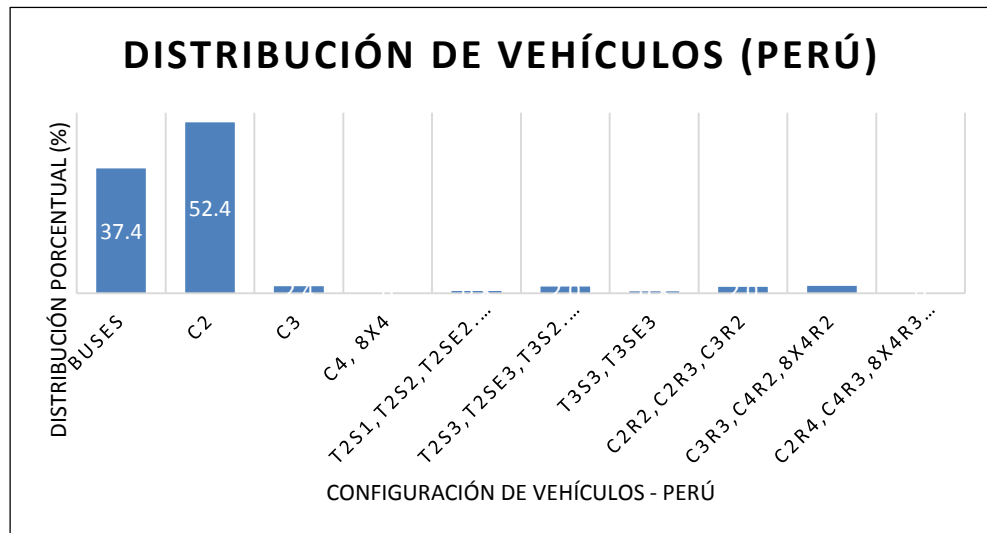
Tabla N° 14 Distribución de vehículos del año 2015, según el RENAV

Vehículo según FHWA (EE.UU)	Vehículo según Reglamento Nacional de Vehículos (Perú)	Vol. Tráfico	Distrib. X tipo de vehículo (%)
C4	Buses	32989.8	38.0
C5	C2	45232.0	52.1
C6	C3	1910.6	2.2
C7	C4, 8X4	0.0	0.0
C8	T2S1,T2S2,T2Se2.T3S1	639.3	0.7
C9	T2S3,T2Se3,T3S2.T3Se2	1806.6	2.1
C10	T3S3,T3Se3	553.3	0.6
C11	C2R2,C2R3,C3R2	1669.3	1.9
C12	C3R3,C4R2,8x4R2	1952.1	2.3
C13	C2R4,C4R3,8x4R3,T3S2S2	0.0	0.0
Total camiones	todos	86753.0	100.0

Fuente propia

Se puede concluir que aproximadamente el 89.8% de camiones que circulan en la carretera de Ayacucho–Abancay, son los camiones de configuración vehicular B2, B3-1 y C2. Ver Gráfica N° 6.

Gráfico N° 6: Distribución de vehículos del año 2015, según el RENAV



Fuente: Elaboración propia

C. Factor de distribución horaria de camiones (FDH)

Nivel 1: Los valores de FDH, se obtuvieron de los datos de pesaje de vehículos del Expediente Técnico actualizados al año 2015. Ver los valores en la tabla N° 15.

Tabla N° 15: Distribución de camiones por hora

Hora	Cantidad	Distribución de camiones por hora (%)
12:00 a. m. - 01:00 a. m.	4	6.3
01:00 a. m. - 02:00 a. m.	2	2.9
02:00 a. m. - 03:00 a. m.	1	2.2
03:00 a. m. - 04:00 a. m.	1	1.8
04:00 a. m. - 05:00 a. m.	1	1.1
05:00 a. m. - 06:00 a. m.	2	2.5
06:00 a. m. - 07:00 a. m.	2	2.7
07:00 a. m. - 08:00 a. m.	2	3.4
08:00 a. m. - 09:00 a. m.	4	6.7
09:00 a. m. - 10:00 a. m.	3	5.1
10:00 a. m. - 11:00 a. m.	4	5.8
11:00 a. m. - 12:00 p. m.	7	10.7

Hora	Cantidad	Distribución de camiones por hora (%)
12:00 p. m. - 01:00 p. m.	4	5.6
01:00 p. m. - 02:00 p. m.	5	7.2
02:00 p. m. - 03:00 p. m.	3	4.9
03:00 p. m. - 04:00 p. m.	3	4.3
04:00 p. m. - 05:00 p. m.	2	2.9
05:00 p. m. - 06:00 p. m.	3	4.7
06:00 p. m. - 07:00 p. m.	2	3.8
07:00 p. m. - 08:00 p. m.	2	3.1
08:00 p. m. - 09:00 p. m.	2	2.5
09:00 p. m. - 10:00 p. m.	3	4.5
10:00 p. m. - 11:00 p. m.	1	1.6
11:00 p. m. - 12:00 a. m.	2	3.7
total	64	100.0

Fuente: Elaboración propia

D. Factor de crecimiento de tráfico

El software “*Design Guide 2002*” de la Guía de Diseño solo permite a los usuarios utilizar tres funciones de crecimiento de tráfico y se elegirá el uso de la función de crecimiento compuesto por ser la función al cual más se asemeja el crecimiento del tráfico de TMDAC.

$$\text{TMDAC}(x) = \text{TMDAC}_{(\text{base})} * (\text{GR})^{(\text{AGE})}$$

Para el caso de la presente investigación de tesis se utilizó una tasa de crecimiento del 5.5% de acuerdo a datos de referencia de proyectos anteriores que oscilan un crecimiento que varía de 5% a 6% entre los años 2009 a 2014.

4.2.5 Entrada de datos generales de tráfico

Los valores de entrada de tráfico adoptados serán los valores por defecto que se encuentran en la Guía de Diseño (nivel 3), debido a que es una información muy precisa y al no poder tenerla disponible.

- Ubicación media de las ruedas Nivel 3: el valor por defecto será de 18 pulgadas, que se encuentra disponible en la Guía de Diseño.
- La desviación estándar de tránsito alejado de la trayectoria normal de la llanta en el pavimento será de un Nivel 3: se toma el valor por defecto de 10 pulgadas, que se encuentra disponible en la Guía de Diseño.
- Para el Ancho de carril el valor será de 3.6 m, igual a 12 pies
- El número de ejes por tipo de vehículo y por tipo de eje será Nivel 3: se tomarán los valores por defecto de la Guía de Diseño, presentados en la tabla N° 16.

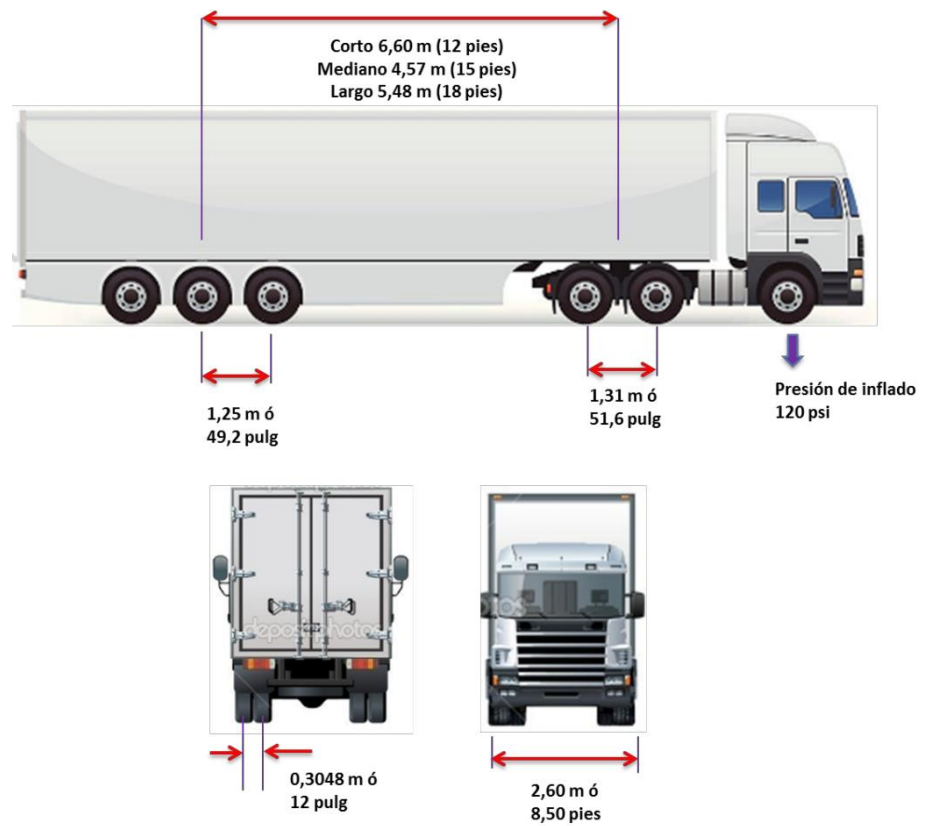
Tabla N° 16: Valores por defecto del número medio de ejes por vehículo

Clasificación de camiones FHWA	Número de ejes simples por camión	Número de ejes tandem por camión	Número de ejes tridem por camión
4	1.62	0.39	0.00
5	2.00	0.00	0.00
6	1.02	0.99	0.00
7	1.00	0.26	0.83
8	2.38	0.67	0.00
9	1.13	1.93	0.00
10	1.19	1.09	0.89
11	4.29	0.26	0.06
12	3.52	1.14	0.06
13	2.15	2.13	0.35

Fuente: ARA, Inc. Eres Consultants División, NCHRP 1-37A, 2004

- Configuración de eje
 - El ancho promedio de eje: se tomará el valor de 2.60 m, igual a 8.5 pies, por ser un valor de distancia entre ejes estándar de los camiones.
 - Espaciado de doble llanta: el valor típico será de 30.48 cm, que es igual a 12 pulgadas.
 - Espaciamiento entre ejes de un mismo sistema: 51.6 pulgadas (1.31 m) para eje tandem y 49.2 pulgadas (1.25 m) para eje tridem y cuádruple. Ver figura N° 27.

Figura N° 27: Configuración de ejes de camiones gráficamente



Fuente: Tesis Caracterización de Tráfico

- La distancia promedio que se tomará entre el sistema de ejes: como no se dispone de datos muy precisos de distancia entre ejes, se utilizarán los valores por defecto de la Guía de Diseño (Nivel 3).

- ✓ Corto: 3.60 m, igual a 12 pies
- ✓ Mediano: 4.57 m, igual a 15 pies
- ✓ Largo: 5.48 m, igual a 18 pies

Porcentaje de vehículos

- ✓ Corto: 34.0%
- ✓ Mediano: 33.0%
- ✓ Largo: 33.0%

- Presión de inflado de neumáticos: se utilizará el valor de 120 psi, tomando como referencia al estudio de tráfico del proyecto “Mejoramiento de la Av. Néstor Gambetta Callao” – Primera Etapa.

A continuación, se presentan un resumen de los niveles de entrada para cada uno de los parámetros de tráfico. Ver tabla N° 17.

Tabla N° 17: Resumen de parámetros de tráfico según su nivel de entrada

Cuadro Resumen			
Parámetros de Entrada de Tráfico	Nivel de Entrada		
	1	2	3
Información para el año base			
TMDAC para el año base	x		
Porcentaje de camiones en la dirección de diseño	x		
Porcentaje de camiones en el carril de diseño			x
Velocidad de operación			x
Factor de ajuste de volumen de tráfico			
Factor de Ajuste Mensual	x		
Distribución por tipo de vehículo	x		
Factor de distribución horaria	x		
Factor crecimiento de tráfico	x		
Factor de distribución de carga por eje	x		
Entrada de datos generales de tráfico			x

Fuente: elaboración propia

4.2.6 Procedimiento para la generación de espectros de carga por eje

En el Perú, no se dispone aún de información de tráfico procesada para poder utilizarlo directamente en el uso del MEPDG, por lo que todavía se deben de procesar la respectiva información para poder generar los distintos espectros de carga. Para esto se debe analizar y procesar la información de pesaje obtenida del expediente técnico de pesaje en movimiento, de clasificación automática de camiones y del conteo de vehículos. En la Tabla N° 18 se muestra la configuración de camiones según ejes para cada tipo de vehículo.

Tabla N° 18: Configuración de ejes de camiones evaluados

CONFIGURACIÓN DE EJES									
Clase	Configuración vehicular	Ejes				Tipos de ejes			
		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
4	B2	1S	1D			simple	simple		
	B3-1	1S	1D + 1S			simple	tandem		
	B4-1	2S	1D + 1S			tandem	tandem		
	BA-1	1S	1D	1S		simple	simple	simple	
5	C2	1S	1D			simple	simple		
6	C3	1S	2D			simple	tandem		
7	C4	1S	2D + 1S			simple	tridem		
	8x4	2S	2D			tandem	tandem		
8	T2S1	1S	1D	1D		simple	simple	simple	
	T2S2	1S	1D	2D		simple	simple	tandem	
	T2Se2	1S	1D	1D	1D	simple	simple	simple	simple
	T3S1	1S	2D	1D		simple	tandem	simple	
9	T2S3	1S	1D	3D		simple	simple	tridem	
	T2Se3	1S	1D	1D	2D	simple	simple	simple	tandem
	T3S2	1S	2D	2D		simple	tandem	tandem	
	T3Se2	1S	2D	1D	1D	simple	tandem	simple	simple
10	T3S3	1S	2D	3D		simple	tandem	tridem	
	T3Se3	1S	2D	1D	2D	simple	tandem	simple	tandem
11	C2R2	1S	1D	1D	1D	simple	simple	simple	simple
	C2R3	1S	1D	1D	2D	simple	simple	simple	tandem
	C3R2	1S	2D	1D	1D	simple	tandem	simple	simple
12	C3R3	1S	2D	1D	2D	simple	tandem	simple	tandem
	C4R2	1S	2D + 1S	1D	1D	simple	tridem	simple	simple
	8x4R2	2S	2D	1D	1D	tandem	tandem	simple	simple
13	C3R4	1S	2D	2D	2D	simple	tandem	tandem	tandem
	C4R3	1S	2D + 1S	1D	2D	simple	tridem	simple	tandem
	8x4R3	2S	2D	1D	2D	tandem	tandem	simple	tandem
	8x4R4	2S	2D	2D	2D	tandem	tandem	tandem	tandem
	T3S2S2	1S	2D	2D	2D	simple	tandem	tandem	tandem

Fuente: Elaboración propia

A. Gráfica de los espectros de carga por eje

Los espectros de carga por eje es una distribución normalizada, el cual indica el porcentaje de ejes controlados por cada rango de pesos (cargas) por tipo de eje (simple, tandem y tridem) y por cada tipo de vehículo (clase 4 a la 13).

Tabla N° 19: Valores de espectros de carga para eje simple

Carga por eje simple (ton)	Carga por eje simple (Lb)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,00 - 1,35		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1,35 - 1,80	3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0
1,80 - 2,25	4000	1.0	1.4	12.5	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
2,25 - 2,70	5000	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0
2,70 - 3,15	6000	1.0	0.7	12.5	0.0	33.3	0.0	33.3	0.0	12.5	0.0
3,15 - 3,60	7000	2.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3,60 - 4,05	8000	4.0	2.8	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4,05 - 4,50	9000	4.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4,50 - 4,95	10000	3.0	2.8	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	12.5	0.0
4,95 - 5,40	11000	5.0	4.1	12.5	0.0	0.0	0.0	33.3	20.0	0.0	0.0
5,40 - 5,85	12000	6.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
5,85 - 6,30	13000	4.0	4.8	25.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6,30 - 6,75	14000	2.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0
6,75 - 7,20	15000	5.0	4.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
7,20 - 7,65	16000	4.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7,65 - 8,10	17000	6.0	4.1	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
8,10 - 8,55	18000	7.0	2.8	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8,55 - 9,00	19000	8.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
9,00 - 9,45	20000	9.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9,45 - 9,90	21000	3.0	3.4	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0
9,90 - 10,35	22000	2.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10,35 - 10,80	23000	1.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10,80 - 11,25	24000	3.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11,25 - 11,70	25000	2.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11,70 - 12,15	26000	2.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12,15 - 12,60	27000	2.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12,60 - 13,05	28000	3.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13,05 - 13,50	29000	5.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13,50 - 13,95	30000	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0
13,95 - 14,40	31000	2.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14,40 - 14,85	32000	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14,85 - 15,30	33000	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15,30 - 15,75	34000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15,75 - 16,20	35000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16,20 - 16,65	36000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16,65 - 17,10	37000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17,10 - 17,55	38000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17,55 - 18,00	39000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18,00 - 18,45	40000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 20: Valores de espectros de carga para eje Tándem

Carga por eje tándem (ton)	Carga por eje tándem (Lb)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,00 - 2,70		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2,70 - 3,60	6000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3,60 - 4,50	8000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4,50 - 5,40	10000	1.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5,40 - 6,30	12000	3.7	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6,30 - 7,20	14000	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0
7,20 - 8,10	16000	4.9	7.6	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0
8,10 - 9,00	18000	1.2	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9,00 - 9,90	20000	6.2	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9,90 - 10,8	22000	8.6	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0
10,80 - 11,70	24000	3.7	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11,70 - 12,60	26000	7.4	2.5	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12,60 - 13,50	28000	7.4	7.6	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13,50 - 14,40	30000	6.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0
14,40 - 15,30	32000	4.9	2.5	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	25.0	0.0	0.0
15,30 - 16,20	34000	6.2	5.1	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16,20 - 17,10	36000	4.9	5.1	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17,10 - 18,00	38000	3.7	4.2	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18,00 - 18,90	40000	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
18,90 - 19,80	42000	6.2	5.1	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19,80 - 20,70	44000	1.2	7.6	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20,70 - 21,60	46000	3.7	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	14.3	0.0
21,60 - 22,50	48000	2.5	5.9	14.3	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	14.3	0.0
22,50 - 23,40	50000	6.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23,40 - 24,30	52000	3.7	3.4	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24,30 - 25,20	54000	2.5	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	14.3	0.0
25,20 - 26,10	56000	0.0	0.0	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0
26,10 - 27,00	58000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27,00 - 27,90	60000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27,90 - 28,80	62000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28,80 - 29,70	64000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29,70 - 30,60	66000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30,60 - 31,50	68000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31,50 - 32,40	70000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32,40 - 33,30	72000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33,30 - 34,20	74000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34,20 - 35,10	76000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35,10 - 36,00	78000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36,00 - 36,90	80000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 21: Valores de espectros de carga para eje tridem

Carga por eje tridem (ton)	Carga por eje tridem (Lb)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,00 - 5,40		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5,40 - 6,75	12000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6,75 - 8,10	15000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8,10 - 9,45	18000	4.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9,45 - 10,80	21000	4.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10,80 - 12,15	24000	4.2	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12,15 - 13,50	27000	8.3	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0
13,50 - 14,85	30000	6.3	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14,85 - 16,20	33000	4.2	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16,20 - 17,55	36000	8.3	6.5	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0
17,55 - 18,90	39000	8.3	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0
18,90 - 20,25	42000	8.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20,25 - 21,60	45000	10.4	6.5	25.0	0.0	100.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0
21,60 - 22,95	48000	6.3	5.2	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0
22,95 - 24,30	51000	4.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0
24,30 - 25,65	54000	8.3	3.9	25.0	0.0	0.0	0.0	100.0	33.3	0.0	0.0
25,65 - 27,00	57000	4.2	9.1	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0
27,00 - 28,35	60000	2.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28,35 - 29,70	63000	2.1	7.8	25.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0
29,70 - 31,05	66000	2.1	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31,05 - 32,40	69000	2.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32,40 - 33,75	72000	2.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33,75 - 35,10	75000	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
35,10 - 36,45	78000	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36,45 - 37,80	81000	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37,80 - 39,15	84000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
39,15 - 40,50	87000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
40,50 - 41,85	90000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41,85 - 43,20	93000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
43,20 - 44,55	96000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44,55 - 45,90	99000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45,90 - 47,25	102000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: elaboración propia

4.3 PROCESO PARA GENERAR EL MODELO CLIMÁTICO PARA LA CARRETERA AYACUCHO-ABANCAY

El objetivo de todo el proceso de generación de un modelo climático es para la posterior aplicación de un archivo electrónico (Archivo ICM) requerido por el software del AASHTO

2002 (NCHRP *Design Guide pavement, analysis & design system*), la cual integra los cálculos propios de la Guía de Diseño de Pavimento Mecánico-Empírico.

En la presente investigación, el período de registro para poder aplicar los datos climáticos es de dos años (24 meses), iniciándose en enero 2013 hasta diciembre 2014, la implementación de la metodología MEPDG en nuestro país es poca y no muy aplicable, por tal motivo que si se tiene que aplicar el modelo se opta por cumplir los requisitos mínimos (24 meses) de datos meteorológicos para fines de cálculos (*National Cooperative Highway Research Program - NCHRP 1-37A, 2003*)

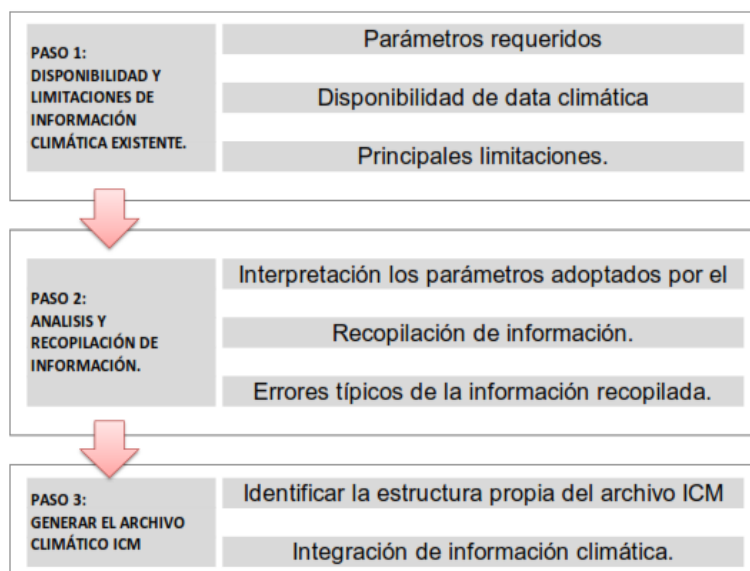
A continuación, se muestra un resumen del procedimiento a seguir durante este proceso, los cuales se ilustraN como un diagrama de flujo en la figura N° 28, de acuerdo a los siguientes pasos:

Paso 1: Verificar la información disponible.

Paso 2: Análisis y recopilación de información.

Paso 3: Generar el archivo climático ICM.

Figura N° 28: Proceso para la Generación de Archivo Climático ICM.



Fuente: elaboración propia

4.3.1 Verificación de la información disponible

A. Parámetros requeridos

La información requerida por el modelo EICM, contempla la recopilación variada de una extensa base de datos de información meteorológica relacionada con el área del proyecto, es así como de acuerdo al procesamiento de la información tratada se ingresa al software de la Guía de diseño M-E mediante un archivo virtual con extensión "ICM" al que denominamos como archivo climático ICM.

Los datos meteorológicos requeridos por el EICM son mostrados en la Tabla N° 22.

Tabla N° 22: Datos meteorológicos requeridos por la metodología MEPDG, según su frecuencia de medición y las unidades reconocidas por la MEPDG.

Factor	Descripción	Unidades	Frecuencia
Factores Horarios	Precipitación	Pulg.	Horaria
	Temperatura del aire	°F	Horaria
	Nubosidad	%	Horaria
	Viento	millas/h	Horaria
	Nivel Freático	Pie - Ft	Horaria
Otros factores	Salida y puesta de sol	Hora en Decimal	Diaria
	Humedad Relativa	%	Mensual
	Radiación solar	But/(ft ² *día)	Diaria
	Coordenadas Geodésicas	Altura en (ft)	-

Fuente: elaboración propia

B. Disponibilidad de data climática

Las principales agencias que proveen de información climática en Ayacucho, son el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) y la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (Corpac).

Los parámetros que se usan por el MEPDG cumplen variados requerimientos mínimos de acuerdo a la guía de diseño, entre observaciones mensuales, diaria y horaria. Para cumplir con los requisitos de la guía se realizó el proceso de obtención de la data climática de la región del Cusco, dado que Ayacucho no tiene

un sistema de estación meteorológica automática que toma datos horarios, y por tal motivo se utilizará la data de la Región Cusco.

Figura N°29: Clasificación de estaciones de observaciones meteorológicas, hidrológicas y agrometeorológicas según su finalidad.

	Clasificación de estaciones	Subclasificación
Finalidad	Meteorológicas Sinópticas Se efectúan observaciones para la elaboración del pronóstico del tiempo y se realiza en horas específicas del día, transmitiéndolas inmediatamente a los centros nacionales (SENAMHI), regionales (Buenos Aires) y mundiales (Washington).	a) Estaciones de superficie: Se realizan observaciones a nivel de la superficie del lugar. <ul style="list-style-type: none"> • Estaciones terrestres: <ul style="list-style-type: none"> • Estaciones convencionales (operadas) • Estaciones automáticas • Estaciones marítimas: <ul style="list-style-type: none"> • Estaciones marítimas fijas • Estaciones marítimas móviles • Estaciones marítimas automáticas b) Estaciones de altitud: <ul style="list-style-type: none"> • Las estaciones de radio sondeo • Las estaciones de radio sondas • Las estaciones de radio viento • Las estaciones de globo piloto
	Climatológicas Las observaciones se realizan en horas fijas entre 3 a 4 veces al día.	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones climatológicas principales • Estaciones climatológicas ordinarias • Estaciones climatológicas para propósitos específicos y • Estaciones pluviométricas
	Agrometeorológicas Las estaciones agrometeorológicas efectúan simultáneamente observaciones meteorológicas y biológicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones meteorológicas agrícolas principales • Estaciones meteorológicas agrícolas auxiliares • Estaciones meteorológicas agrícolas ordinarias • Estaciones meteorológicas agrícolas para propósitos específicos
	Hidrológicas Estaciones para las observaciones de los cursos de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones hidrométricas (limnimétricas, limnigráficas, aforos y calidad del agua) • Estaciones climatológicas para fines hidrológicos • Estaciones de agua subterránea • Estaciones hidrológicas para propósitos específicos
	Propósitos específicos Denominadas así por tener una finalidad de acuerdo al usuario.	<ul style="list-style-type: none"> • Subterráneas (hidrológicas): Instrumental dispuesto en el subsuelo para determinar la disponibilidad de los acuíferos • Estaciones para investigación y otros para fines especiales
	Estaciones Aéreas Las observaciones son realizadas por aeronaves en las rutas aéreas internacionales.	

Fuente: (OMM, 1981)

CORPAC es el proveedor del Servicio Meteorológico Aeronáutico elegido por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Es una corporación que está destinada a brindar el servicio meteorológico a la aviación en conformidad con la

OACI, este servicio meteorológico que se da a nivel nacional también cuenta con treinta y un (31) Estaciones Meteorológicas Aeronáuticas (EMA), dentro de los cuales solo cinco (5) cuentan con la instalación de Sistemas Automáticos de Observación Meteorológica - AWOS (Lima, Iquitos, Cuzco, Arequipa y Trujillo) (Corpac S.A., 2015).

Figura N° 30: Horarios de observación.

Fines	Horarios	Notas
<p>Meteorológicos Sinópticos</p> <p>Las horas de observación (H) están referidas al tiempo universal coordinado (UTC) La hora efectiva de las observaciones meteorológicas sinópticas en altitud, se deberá aproximar en lo posible a H-30 y no deberá salir de los límites H-45</p>	<p>En superficie:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas fijas principales 1900, 0100, 0700 y 1300 Hora Local (HL). (0000, 0600, 1200 y 1800 UTC); Las horas fijas intermedia 2200, 0400, 1000 y 1800 HL. (0300, 0900, 1500 y 2100 UTC). <p>En altitud:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas fijas en altitud 1900, 0100, 0700 y 1300 HL. (0000, 0600, 1200 y 1800 UTC). <p>Para dos (02) observaciones diarias: 1900 y 0700 HL. (0000 y 1200 UTC).</p>	<p>Las observaciones de la presión atmosférica, se deben efectuar a la hora fija y exacta de la observación meteorológica sinóptica de superficie. La observación de los elementos distintos de la presión atmosférica se deberá efectuar dentro de los 10 minutos que preceden a la hora fijada para la observación meteorológica sinóptica de superficie.</p>
Climatológicos	<p>Para las estaciones climatológicas principales y ordinarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas fijas son las siguientes: 0700, 1300 y 1900 HL (1200, 1800 y 0000 UTC). Sin embargo, se pueden incrementar observaciones de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación. Observaciones de precipitación: Las horas fijas: 0700 y 1900 HL. (1200 y 0000 UTC). 	
Agrometeorológicos	<p>Para las estaciones meteorológicas agrícolas principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas fijas son las siguientes: 0700, 1000, 1300, 1600, 1900 HL. (1200, 1500, 1800, 2100 y 0000 UTC). Sin embargo, se pueden incrementar observaciones a otras horas de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación. <p>Para las estaciones de propósitos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas son de acuerdo al programa del operador de la estación. 	
Hidrológicos	<p>En las estaciones hidrológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las horas fijas son las siguientes: 0600, 1000, 1400, 1800 HL (1100, 1500, 1900 y 2300 UTC). Sin embargo, se pueden incrementar observaciones a otras horas de acuerdo a los requerimientos del operador de la estación, según la época de estiaje o avenida. <p>Para efectuar aforos:</p> <ul style="list-style-type: none"> La hora fija: 08:00 HL, los días lunes, miércoles y viernes. O las horas y los días en que se observen variaciones importantes del nivel de agua. 	

Fuente: (OMM, 1981)

La figura N° 30 muestra las condiciones climatológicas, agrometeorológicas hidrológicas y meteorológicas, así como también las horas fijas con sus respectivas observaciones.

Tabla N° 23: Parámetros usados por el MEPDG, tipos de observaciones y número de observaciones mínimas diaria de acuerdo al SENAMHI y OMM N°364

PARÁMETRO	REQUERIMIENTO		N° de Observaciones de Superficie Diarias.			
	MEPDG (Frecuencia)	MEPDG (N° Observaciones)	Sinópticos	Climatológicas	Agrometeorológicos	Hidrológicos
Precipitación	Horario	24	8	2	5	-
Temperatura del aire	Horario	24	8	3	5	-
Porcentaje nubosidad	Horario	24	8	3		-
Velocidad del viento	Horario	24	8	3	5	-
Nivel Freática	Horario	24	-	-	-	-
Salida y Puesta de sol	Diario	1	-	-	-	-
Humedad Relativa	Mensual		8	3	5	-
Radiación Solar	Diario	1	-	3	5	-

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 24: Parámetros usados por el MEPDG, tipos de observaciones y número de observaciones mínimas diaria de acuerdo a CORPAC.

PARÁMETRO	REQUERIMIENTO		N° de Observaciones Aeronáuticas por día.	
	MEPDG (Frecuencia)	MEPDG (N° Observaciones Día)	OTRAS ESTACIONES	IQUITOS, PIURA, CHICLAYO, TRUJILLO, PUCALLPA, LIMA/CALLAO, CUSCO, PISCO, AREQUIPA, TACNA
Precipitación	Horario	2	9 a 16	24
Temperatura del aire	Horario	2	9 a 16	24
Porcentaje nubosidad	Horario	2	9 a 16	24
Velocidad del viento	Horario	2	9 a 16	24
Nivel Freática	Horario	2	-	-
Salida y Puesta de sol	Diario	1	-	-
Humedad Relativa	Mensu			
Radiación Solar	Diario	1	-	

Fuente: elaboración propia

Para la obtención de información climática fue elegida la estación ubicada en el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete del Cusco. Otra alternativa para la obtención de información de estaciones AWOS de forma indirecta aprovechando el avance tecnológico del internet, fue gracias a un proceso de extracción de información a partir de los informes **Meteorológicos de Rutina Aeronáutica – METAR**.

Tabla N° 25: Datos recopilados para la elaboración de los archivos ICM

PARÁMETRO	FRECUENCIA	PERIODO	NUMERO DE DATOS	INFORMACIÓN COMPLETA
PRECIPITACIÓN	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	SI
TEMPERATURA DEL AIRE	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	SI
PORCENTAJE NUBOSIDAD	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	SI
VELOCIDAD DEL VIENTO	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	SI
NIVEL FREÁTICO (*)	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	SI
SALIDA Y PUESTA DE SOL	DIARIO	ENE 2013 - DIC 2014	1460	SI
HUMEDAD RELATIVA	MENSUAL	ENE 2013 - DIC 2014	24	SI
RADIACIÓN SOLAR	DIARIO	ENE 2013 - DIC 2014	730	SI

Fuente: elaboración propia

C. Principales limitaciones

- El Senamhi, nos muestra que existe una densa red de estaciones meteorológicas en Ayacucho; sin embargo, estos no graban información de acuerdo a la frecuencia que es exigida de acuerdo a la metodología MEPDG, además también existen periodos que muestran falta de información.
- Los reportes aeronáuticos (METAR) también nos brinda una mayor información de forma libre y de alta calidad; sin embargo, dentro de las 31 estaciones mostradas en la Figura N° 31 se aprecia que solo 10 cuentan con mediciones de hasta 24 horas por cada día, los cuales son Iquitos, Piura, Chiclayo, Trujillo, Pucallpa, Lima/Callao, Cusco, Pisco, Arequipa y Tacna (Corpac S.A., 2015). Dado a esto y para poder aplicar en la Carretera Ayacucho–Abancay se utilizó la medición del Cusco (SPZO), debido a que cuenta con información que es requerida por la guía MEPDG.
- Los reportes METAR también usados para la recopilación de información climática, se tienen que extraer en archivos digitales y en formato de texto (.txt), por lo que se tiene que realizar un trabajo arduo para poder identificar, interpretar y por último ordenar todos los parámetros que exige la guía de diseño.

Figura N° 31: Estaciones Meteorológicas operadas por Corpac.



Fuente: (Corpac S.A., 2015)

4.3.2 Análisis y recopilación de información.

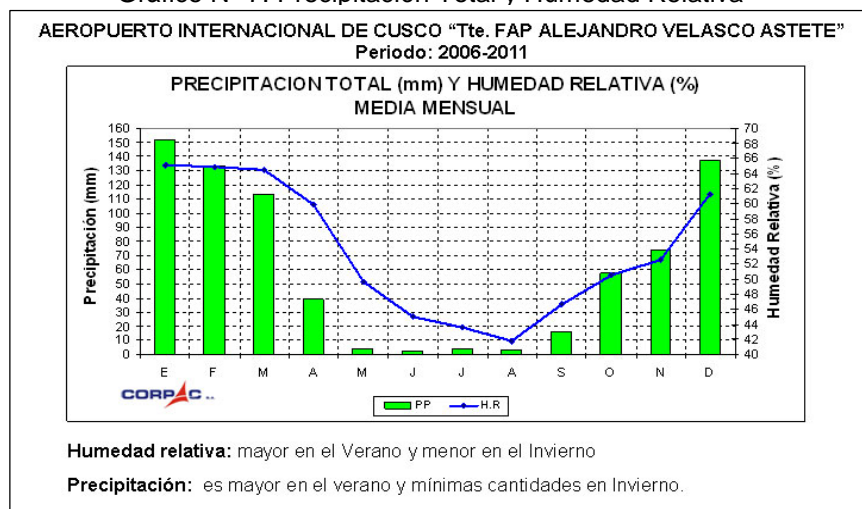
Para determinar los procesos como son: la recopilación y validación de información meteorológica requerida por la metodología MEPDG, se compara con la característica espacio-temporal que tiene cada parámetro para la región de Ayacucho, todo esto con la finalidad de adoptar los valores climáticos que se expresen de manera coherente a la zona del proyecto al cual se va a aplicar.

A. Interpretación de los parámetros adoptados por el MEPDG y análisis del entorno

1. Precipitación

La precipitación es una forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie de la tierra. Adopta diferentes formas, incluyendo a las heladas, el granizo la lluvia y también la llovizna. En el presente estudio se considera que la forma de precipitación en el modelo EICM es la lluvia. En el Gráfico N° 7 se muestran valores de precipitación tomados en el aeropuerto de la Ciudad del Cusco.

Gráfico N° 7: Precipitación Total y Humedad Relativa



Fuente: Corpac 2017

2. Temperatura

La temperatura viene siendo un elemento del clima que nos indica el grado del calentamiento del aire atmosférico. En la Guía de diseño MEPDG la unidad de la Temperatura es en "grados Fahrenheit", de forma horaria, en donde cuya medida se toma aproximadamente a dos metros sobre la superficie del suelo.

3. Nubosidad

La nubosidad es la parte de la cubierta del cielo que se atribuye a las nubes, medido generalmente en décimas u octavos de cielo cubierto (Wikipedia, La enciclopedia libre, s.f.).

Tabla N° 26: Escala de la nubosidad

OCTAS	PORCENTAJE (%)	DESCRIPCIÓN - CANTIDAD DE NUBES	METAR
0/	0	No hay nubes - Cielo despejado	(*)
1/	12	E	FEW
2/	2	E	FEW
3/	37	Disp	SCT
4/	5	Disp	SCT
5/	62	Nu	BKN
6/	7	Nu	BKN
7/	87	Nu	BKN
8/	1	Cubi	OVC

(*) Denominación de los porcentajes de nubosidad según los Informes METAR.
Fuente: Elaboración propia

4. Viento

El viento es la variación de estado del movimiento del aire causado por la diferencia de presión, producto del calentamiento de las diversas zonas de la tierra y de la atmósfera, el viento como tal tiene dos componentes de medición la dirección y velocidad (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 108).

5. Profundidad de nivel freático

Para calcular los diferentes valores de la profundidad del nivel freático se usó un nivel de entrada tres (3) según la metodología MEPDG, el cual hace referir que se utilizó estudios anteriores con la finalidad de obtener estimaciones.

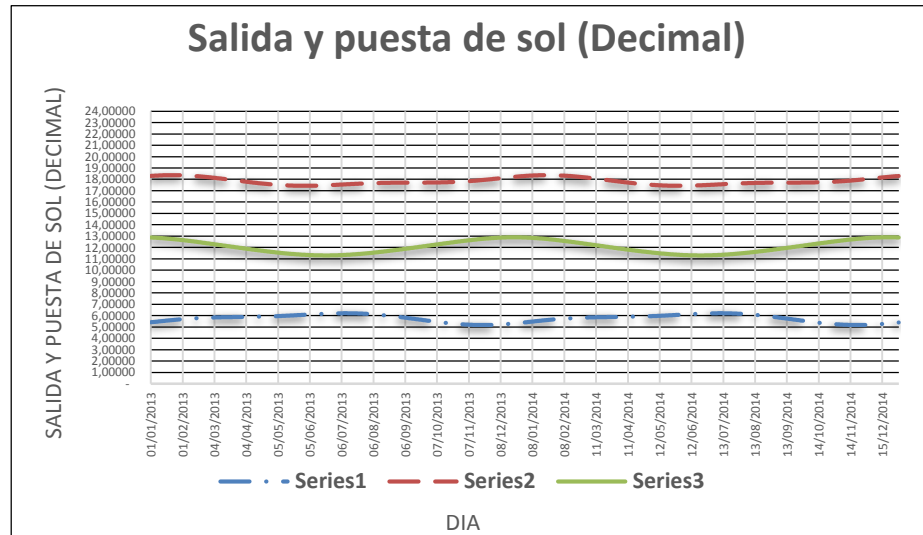
6. Salida y puesta de sol

El crepúsculo es el período después de la puesta del sol o antes del amanecer, cuando todo o parte del cielo está visiblemente brillante debido a la luz solar dispersada por nubes o el cielo claro, dos tipos de crepúsculos son diferenciados: crepúsculo matutino que ocurre antes de la puesta del sol también denominado amanecer, aurora; y el crepúsculo vespertino que ocurre tras la puesta del sol, también llamado atardecer u ocaso (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 112).

El parámetro indicado de salida y Puesta de Sol corresponde a todas las horas transcurridas desde que empiezan los crepúsculos matutinos hasta que termina el crepúsculo vespertino. Todas estas unidades en la metodología MEPDG requeridas son en horas decimales. En la gráfica N° 34, se presenta la información

de la salida y puesta de Sol de la ciudad del Cusco utilizada para la aplicación del modelo climático.

Gráfico N° 8: Grafica de Salida y Puesta del Sol

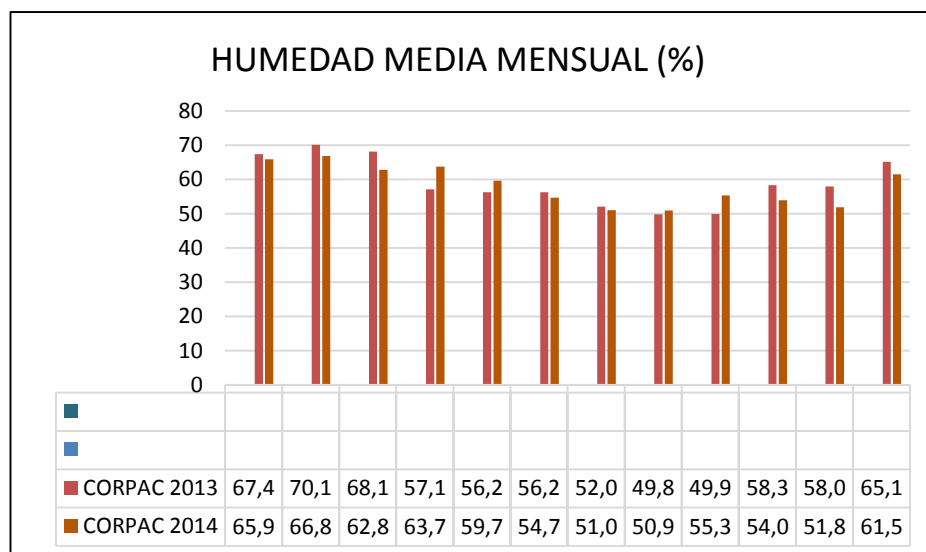


Fuente: elaboración propia

7. Humedad relativa

La humedad relativa es la relación de la presión de vapor del medio con respecto a la presión de vapor de saturación del agua. Esta cantidad se define alternativamente por la Organización Mundial de Meteorología como la relación del rango de mezcla a la relación de mezcla de saturación. Estas dos definiciones producen valores numéricos (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 113). En el Gráfico N° 9 se muestran los valores de Humedad media mensual de la ciudad del Cusco.

Gráfico N° 9: Gráfica de Humedad Media Mensual



Fuente: elaboración propia

8. Radiación solar

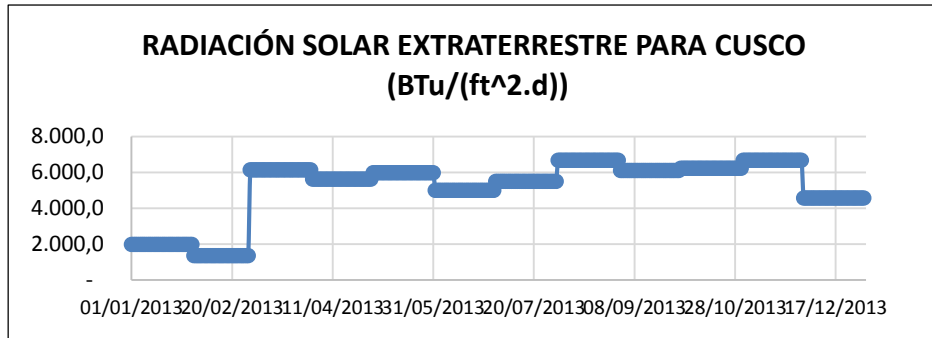
Los valores medidos por los instrumentos en realidad graban los datos de irradiación, la radiación es emitida por otro cuerpo que radia y la irradiación es la que llega al cuerpo expuesto por lo que son detectados, sin embargo, se suele usar el término “radiación” para referirse a la irradiación. La radiación es la energía solar incidente en una superficie por unidad de área. Es el resultado de integrar la irradiación en un período de tiempo (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Senamhi, 2003) (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 115). En la Tabla N° 27 se muestran los valores mensuales de radiación Solar de la Ciudad del Cusco.

Tabla N° 27: Gráfica de Radiación Solar

Latitud Sur	Und.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Radiación Solar (máx.)	kWH/(m2d)	6.00	4.00	19.10	17.50	18.60	15.50	17.10	20.80	19.00	19.40	20.80	21.80
Radiación Solar (min)	kWH/(m2d)	6.50	4.50	19.60	18.00	19.10	16.00	17.60	21.30	19.50	19.90	21.30	7.00
Radiación Solar (Promedio)	kWH/(m2d)	6.25	4.25	19.35	17.75	18.85	15.75	17.35	21.05	19.25	19.65	21.05	14.40
	Btu/(ft2d)	1,981.24	1,347.24	6,133.91	5,626.72	5,975.42	4,992.72	5,499.92	6,672.81	6,102.22	6,229.01	6,672.81	4,564.77

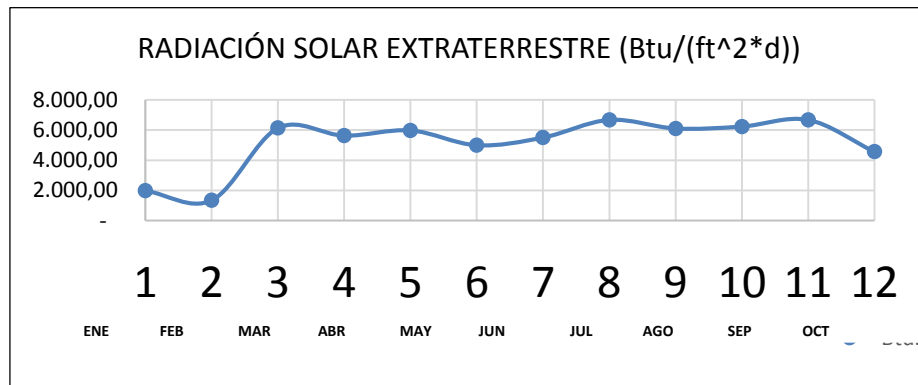
Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 10: Gráfico Radiación Solar Extraterrestre para Cusco



Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 11: Gráfico de Radiación Solar Extraterrestre



Fuente: elaboración propia

9. Coordenadas geodésicas

Las coordenadas geodésicas consisten en una descripción de un punto en el espacio tridimensional por medio de la longitud y latitud geodésicas y la altura geométrica, todas referidas a un elipsoide de referencia (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 120).

Tabla N° 28: Coordenadas Geodésicas de la ciudad del Cusco

Ciudad	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
CUSCO	13° 31' 21" S	71° 58' 02" O	3369 msnm

Fuente: elaboración propia

B. Recolección de información

1. Informes meteorológicos de rutina – METAR

Los parámetros recopilados pertenecen a una Estación Meteorológica Aeronáutica (EMA), los cuales generan observaciones meteorológicas y difunden los informes METAR, TAF y SPECI entre otros, siendo la estación elegida el Aeropuerto Alejandro Velasco Astete, administrada por Corpac S.A. (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 121).

Los reportes METAR, son informes de rutina que son emitidos en intervalos de una hora o cada media hora, describe los elementos meteorológicos observados en un aeropuerto a una hora específica en UTC y se difunden utilizando la forma clave BUFR (OMM-N° 306, 2010) de la OMM (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 121).

En la Figura N° 32 se muestra un reporte tipo METAR con su respectiva interpretación, así como también se muestran los procedimientos para obtener los informes METAR para cada tipo de mes correspondiente a los periodos de enero 2013 a diciembre 2014:

Figura N° 32: Ejemplo de un Reporte Metar

METAR SPIM 232200Z 18009KT CAVOK 26/20 Q1011 NOSIG RMK PP000=	
232200Z	Día y hora de la emisión del METAR, en este caso día 23, a las 22:00 Zulú (UTC+00.00) (*).
SPIM	Código ICAO del aeropuerto que emite el METAR, en este caso Lima-Callao/Aeropuerto Internacional Jorge Chávez
18009KT	Viento desde 180° a una <u>velocidad</u> de 09 kts (nudos).
CAVOK	Techo y Visibilidad OK = Cielo despejado y visibilidad horizontal mayor de 10.000 metros (<u>Nubosidad</u> = 0%).
26/20	<u>Temperatura</u> 26 Grados Celsius / Punto de rocío 20 Grados Celsius
Q1011	QNH. Calaje del altímetro a 1011 milibares
NOSIG	Tendencia: sin cambios significativos
PP000	<u>Precipitación</u> horaria 00.0 mm

Fuente: *Elaboración Propia*

Nota (*): El "tiempo Zulú" ("Z"); esta es la hora local en el Meridiano Primario o Meridiano de Greenwich (UTC±00:00), al intentar usar esta información se deberá

convertir de acuerdo a la latitud del Perú (UTC -05:00), por ejemplo cuando se habla de 18:30Z (06:30pm UTC) corresponde a las 13:00 hora local del Perú (1:00 pm) (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 122).

2. Obtención de los informes de las observaciones meteorológicas METAR

La principal fuente de información virtual donde se almacena la información climática en reportes METAR proviene de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA, también existen medios virtuales que comparten esta información que son de fácil acceso y descarga, por tanto para nuestros fines se usó la página web española Ogimet (<http://www.ogimet.com/>) (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 122).

Figura N° 33: Ubicación de la página web que contiene a los informes METAR.



Fuente: elaboración propia

Se ingresa a la dirección web y se selecciona la opción Metar/Taf para así obtener todos los informes con las diferentes características mostradas en Figura N° 33 y 34.

Figura N° 34: Procedimientos para extraer la información requerida

The screenshot shows the OGIMET website interface. The main search area is titled 'Selección de Mensajes Aeronáuticos Metar/Speci/Taf'. It features several dropdown menus and input fields: 'LUGAR o LUGARES' (set to SPIM), 'TIPO' (set to TODOS), 'ORDEN' (set to Reciente primero), 'PARTES NIL' (set to Incluir NIL), and 'FORMATO' (set to TXT). Below these are date selection fields for 'PERIODO' with 'INICIO' (2014, Enero, 01, 00) and 'FIN' (2014, Enero, 23, 23) set, and a 'Limpiar' button. A list of instructions is provided below the search fields, detailing how to use the various filters and options.

Debe introducir:

- Los indicativos OACI de los lugares a consultar separados por espacios o comas. Si no conoce el indicativo del observatorio puede consultar [esta página](#)
- El tipo de mensaje que quiere consultar
 - TODOS se consultarán los mensajes METAR, SPECI y TAF
 - SA METAR y SPECI.
 - SP Solamente SPECI.
 - FC Solamente TAF corto (9 H de validez).
 - FT Solamente TAF largo (18 ó 24 H de validez).
- Orden de presentación: Seleccionar si desea orden cronológico directo o inverso
- La inclusión o no de mensajes vacíos tipo NIL
 - HTML Página en formato HTML
 - TXT Página en texto plano tipo TXT
- Fechas del inicio y final del periodo de consulta. La hora es UTC

Fuente: www.ogimet.com

En la página web descrita anteriormente permite brindar información horaria por hasta 30 días consecutivos en una sola búsqueda.

Se requiere la siguiente información:

Lugar o lugares, los indicativos OACI de los lugares a consultar separados por espacios o comas, corresponde la denominación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez establecida como SPIM (Maximiliano Velasquez, 2016, pág. 124) (ver Tabla N° 35)

El tipo de mensaje, Todos se consultarán los mensajes METAR, SPECI y TAF

- ✓ SA METAR y SPECI.
- ✓ SP Solamente SPECI.
- ✓ FC Solamente TAF corto (9 H de validez).
- ✓ FT Solamente TAF largo (18 o 24 H de validez).

Orden de presentación. Seleccionar si desea orden cronológico directo o inverso.

Partes NIL, si se desea incluir o no mensajes vacíos tipo NIL

El formato de la salida,

- ✓ HTML Página en formato HTML
- ✓ TXT Página en texto plano tipo TXT

Periodo, fechas del inicio y final del periodo de consulta. La hora es UTC

Figura N° 35: Ingreso de las características de la data requerida.

LUGAR o LUGARES	TIPO	ORDEN	PARTES NIL	FORMATO
SPIM	SA	Antiguo primero	Incluir NIL	TXT
<p>PERIODO</p> <p>INICIO: Año: 2013 Mes: Enero Día: 01 Hora: 00</p> <p>FIN: Año: 2013 Mes: Enero Día: 31 Hora: 23</p> <p>Ver ← Limpia</p>				

Fuente: www.ogimet.com

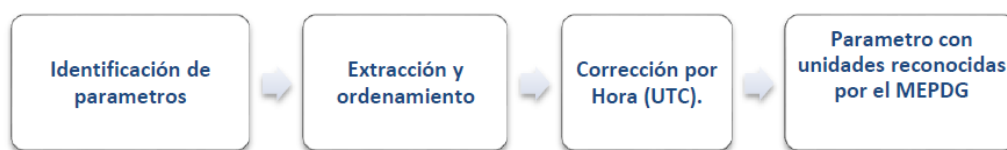
Tabla N° 29: Indicativo OACI para los Aeropuertos del Perú.

Ind.	OACI	Nombre	Latitu	Longitud	Altitud
84370	SPME	Tumbes	03-33S	080-24W	25
84377	SPQT	Iquitos	03-45S	073-15W	125
84390	SPYL	Talara	04-34S	081-15W	85
84401	SPUR	Piura	05-11S	080-36W	49
84425	SPMS	Yurimaguas	05-54S	076-05W	179
84440	SPJA	Rioja	06-03S	077-09W	792
84444	SPPY	Chachapoyas	06-13S	077-50W	2540
84452	SPHI	Chiclayo	06-47S	079-50W	29
84455	SPST	Tarapoto	06-27S	076-23W	281
84472	SPJR	Cajamarca	07-08S	078-28W	2620
84474	S	Juanjui	07-13S	076-43W	350
84501	SPRU	Trujillo	08-06S	079-02W	26
84515	SPCL	Pucallpa	08-25S	074-36W	148
84531	SPEO	Chimbote	09-10S	078-31W	20
84534	SPGM	Tingo María	09-08S	075-57W	664
84542	SPHZ	Anta Huaraz	09-21S	077-36W	2750
84564	SPNC	Huánuco	09-54S	075-45W	1859
84593	SPAY	Atalaya	10-44S	073-47W	450
84628	SPIM	Lima-Callao	12-00S	077-07W	12
84658	SPTU	Puerto M.	12-38S	069-12W	265
84673	SPHO	Ayacucho	13-08S	074-13W	2740
84686	SPZO	Cuzco	13-33S	071-59W	3248
84688	SPHY	Andahuaylas	13-43S	073-21W	3444
84691	SPSO	Pisco	13-45S	076-17W	8
84721	SPJN	San Juan	15-23S	075-10W	60
84735	SPJL	Juliaca	15-29S	070-09W	3826
84752	SPQU	Arequipa	16-19S	071-33W	2538
84782	SPTN	Tacna	18-04S	070-18W	468

Fuente: www.ogimet.com

La completa decodificación de todos los informes METAR se realizó con la ayuda del software Microsoft Excel 2013 y a continuación se observan los procedimientos mostrados en la Figura N° 36.

Figura N° 36: Procedimiento para la extracción de información y ordenamiento a los requerimientos por el MEPDG



Fuente: elaboración propia

Del ejemplo mostrado en la sección 4.3.2.B.1, se puede afirmar que ya teniendo identificado todos los parámetros dentro de los informes METAR como son: (precipitación, temperatura del aire, nubosidad, velocidad del viento); seguido a esto se realiza la extracción y ordenamiento riguroso en donde fue necesario el uso del Software Microsoft Excel 2013, las informaciones obtenidas son mostradas en el Anexo I.

Finalmente, los datos fueron corregidos y convertidos a unidades reconocidas por la metodología MEPDG siguiendo los cálculos mostrados en la Tabla N° 30.

Tabla N° 30: Procedimiento para obtener los parámetros requeridos por el MEPDG a partir de los archivos METAR

REPORTE METAR : 201301311500 METAR SPIM 311500Z 16006KT CAVOK 25/19 Q1012 NOSIG RMK PP000=					
PARAMETROS Y FECHA	EXTRACCIÓN	INTERPRETACIÓN	CORRECCIÓN UTC	FORMULAS CONVERSIÓN DE UNIDADES	DATOS CON UNIDADES RECONOCIDAD POR EL MEPDG
FECHA	201301311500	Año: 2013 Mes: 01 Día: 31 Hora: 15:00 Z	Hora: 10:00 (UTC -05:00)	-	Año: 2013 Mes: 01 Día: 31 Hora: 10:00 (UTC -05:00)
PRECIPITACIÓN	PP000=	000 mm	-	$1mm = \frac{1 \text{ in}}{25.4}$	000 in
TEMPERATURA DEL AIRE	25/19	25 °C	-	$1F = \frac{9}{5}C + 32$	77 °F
PORCENTAJE NUBOSIDAD	CAVOK	0%	-	-	0%
VELOCIDAD DEL VIENTO	16006KT	Dirección: 160° Velocidad: 06 KT	-	$1KT = 1.15078 \text{ mph}$	Velocidad: 6.90 mph

Fuente: elaboración propia

Los datos obtenidos para el periodo en estudio son mostrados en el Anexo F en formato “.xls”.

3. Otra fuente de información

El origen de la información para los requisitos mostrados en la Tabla N° 31, fueron detallados dentro de la interpretación de los parámetros adoptados de acuerdo a la Guía de diseño MEPDG, así como a manera de resumen es mostrado en la Tabla N° 31. Los datos diarios y mensuales son mostrados en el Anexo F.

Tabla N° 31: Resumen de datos obtenidos y su fuente de información detallado anteriormente

PARÁMETRO	FRECUENCIA	PERIODO	NUMERO DE DATOS	FUENTE	COMENTARIO
NIVEL FREÁTICO	HORARIO	ENE 2013 - DIC 2014	17520	Estudio similar	Nivel 3
SALIDA Y PUESTA DE SOL	DIARIO	ENE 2013 - DIC 2014	1460	Web: http://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/peru/c	Datos calculados
HUMEDAD RELATIVA	MENSUAL	ENE 2013 - DIC 2014	24	SENAMHI/ CORPAC	Obtenida directamente
RADIACIÓN SOLAR	DIARIO	ENE 2013 - DIC 2014	730	Recopilado del Proyecto PER/98/G31	Estudio similar

Fuente: *Elaboración Propia*

4.3.3 Generar el archivo climático ICM

La elaboración del archivo climático denominado “Cusco-PE.icm” se realizó mediante un análisis comparativo frente a otro archivo similar de acceso libre denominado archivo climático de “Dallas.icm”, el cual forma parte de la red de observatorios climáticos de EE.UU.

A. Identificar la estructura propia del archivo ICM

1. Datos informativos

Para la cabecera de datos informativos del archivo se describen las características de la Estación Meteorológica como origen de información. El Cuadro N° 3.12 muestra la descripción de los datos requeridos.

Tabla N° 32: Relación de variables de datos informativos según los archivos climáticos EI de DALLAS.icm versus CUSCO-PE.icm

Datos Promedios:						
-106.23,31.49,3945,55,-1,-1,-1,-1,65.4158,6.895,7.92693,45.1,42.0,35.2,29.2,26.1,31.6,43.4,46.1,44.3,46.7,46.6,48.4						
Descripción:						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	-106.23,31.49,3945,	55,-1,-1,-1,-1,	65.4158,	6.895,	7.92693,	45.1,42.0,35.2,29.2,26.1,31.6,43.4,46.1,44.3,46.7,46.6,48.4
(a)	-106.23,31.49,3945	Longitud (Grados. Minutos), Latitud (Grados. Minutos),				
(b)	55,-1,-1,-1,-1,-	Elevación(ft) Profundidad del Niel Freático (*)				
(c)		Temperatura Media				
(d)		anual (°F) Días bajo cero				
(e)	45.1,42.0,35.2,29.	(°F-día) Precipitación				
(f)	2	Anual (ola)				

Fuente: Elaboración Propia.

2. Datos promedio

Tabla N° 33: Describe la ubicación de cada uno de los elementos necesarios para generar el segundo componente del archivo ICM (datos promedio)

Descripción	Dallas.icm	Cusco-PE.icm
Estación/Station	DALLAS	CUSCO,PE
Elevación /Elevation	559 (ft)	11053 (ft)
Latitud/Latitude	32.24	13.52
Longitud/Longitude	-97.02	-71.96
Localización/Location	DALLAS INTERNATIONAL ARPT	CUSCO ARPT
Meses disponibles de información /Mont Available	116	24
Fecha de inicio y fin de registro	1996/07/01 2001/12/28	2013/01/01 2014/12/31

Fuente: elaboración propia

3. Datos horarios y diarios

La siguiente Figura N° 37 representa la parte principal del esquema de los archivos climáticos ICM debido a la densidad de información, que está comprendida principalmente por todos los componentes de frecuencia horaria, así como la precipitación, temperatura, viento y nubosidad.

Figura N° 37: Muestra la distribución de datos ordenados según los requerimientos del archivo ICM

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
1	1	2013	5.40000	18.2833	1981.24
0	55.4	0	6	50	10
1	55.4	0	6	50	10
2	55.4	0	6	50	10
3	55.4	0	6	50	10
4	55.4	0	6	50	10
5	55.4	0	6	50	10
6	55.4	0	6	50	10
7	55.4	0	6	50	10
8	55.4	0	6	50	10
9	55.4	0	6	50	10
10	55.4	0	6	50	10
11	55.4	0	6	50	10
12	55.4	0	6	50	10
13	55.4	0	6	50	10
14	55.4	0	6	50	10
15	55.4	0	6	50	10
16	55.4	0	6	50	10
17	55.4	0	6	50	10
18	55.4	0	6	50	10
19	55.4	0	6	50	10
20	55.4	0	6	50	10
21	55.4	0	6	50	10
22	55.4	0	6	50	10
23	55.4	0	6	50	10
1	2	2013	5.40000	18.3000	1981.24
0	80.1	0	0	25	10
1	78.1	0	0	25	10
2	73.9	0	0	25	10
↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	2	3	4	5	6

DATOS DE FRECUENCIA DIARIA	
(a)	MES
(b)	DÍA
(c)	AÑO
(d)	SALIDA DE SOL (DECIMAL)
(e)	PUESTA DE SOL (DECIMAL)
(f)	RADIACION SOLAR MAXIMA (Btu/ft2-dia)

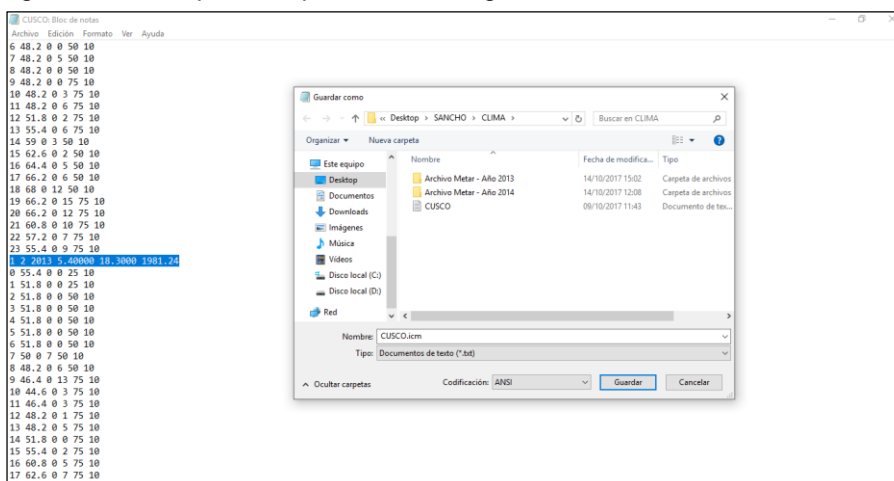
DATOS DE FRECUENCIA HORARIA	
1	HORA
2	TEMPERATURA (°F)
3	PRECIPITACION (PULG - in)
4	VELOCIDAD DEL VIENTO (mph)
5	NUBOSIDAD (%)
6	PROF. NIVEN FREATICO (PIE - ft)

Fuente: elaboración propia

B. Integración de información climática

En la integración completa de los datos horarios y diarios con los formatos indicados por el archivo ICM, se usó el programa Microsoft Excel 2013, Seguido al ordenamiento y con el fin de obtener el archivo climático se dispuso a guardar en la extensión indicada (.icm).

Figura N° 38: Captura de pantalla de integración de datos en Archivo ICM



Fuente: elaboración propia

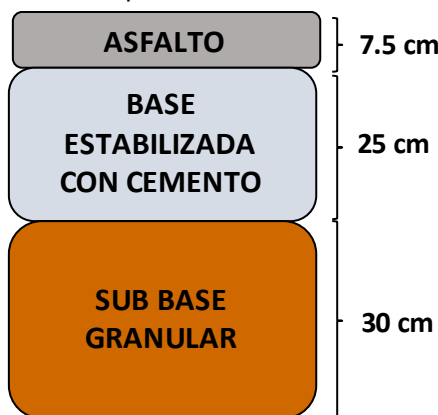
4.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS BAJO LA METODOLOGIA DEL ASSHTO 2008 PARA LOS ENSAYOS DEL LABORATORIO LANAMME UCR

Para iniciar el diseño de pavimentos de los ensayos del Laboratorio de LANAMME UCR de acuerdo a la metodología AASHTO 2008 se tuvieron en cuenta varios factores que se presentan a continuación.

4.4.1 Caso 1

El caso 1 tiene la siguiente composición estructural, la cual muestra una capa de asfalto de 7.5 centímetros de espesor, así como una base estabilizada con cemento de 25 centímetros y por último una subbase granular de 30 centímetros de espesor como muestra en la figura N° 39.

Figura N° 39: Composición Estructural CASO 1

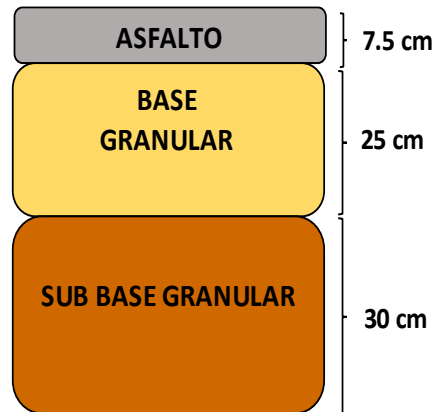


Fuente: elaboración propia

4.4.2 Caso 2

El caso 2 tiene la siguiente composición estructural, la cual muestra una capa de asfalto de 7.5 centímetros de espesor, así como una base granular de 25 centímetros y por último una subbase granular de 30 centímetros de espesor como se muestra en la figura N° 40.

Figura N° 40: Composición Estructural CASO 2

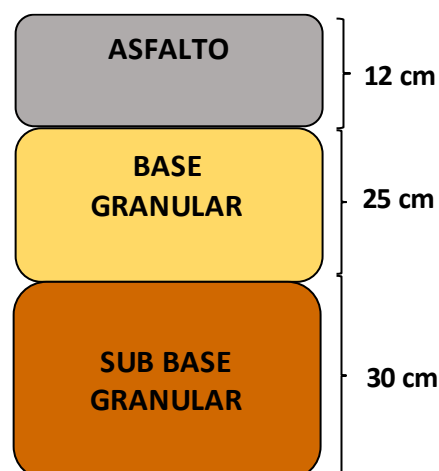


Fuente: elaboración propia

4.4.3 Caso 3

El caso 3 tiene la siguiente composición estructural, la cual muestra una capa de asfalto de 12 centímetros de espesor, así como una base granular de 25 centímetros y por último una subbase granular de 30 centímetros de espesor como se muestra en la figura N° 41.

Figura N° 41: Composición Estructural CASO 3

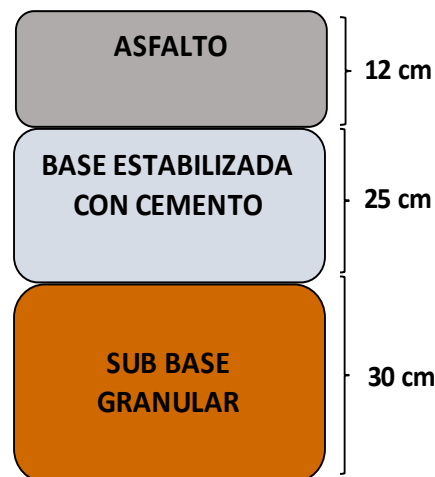


Fuente: elaboración propia

4.4.4 Caso 4

El caso 3 tiene la siguiente composición estructural, la cual muestra una capa de asfalto de 12 centímetros de espesor, así como una base estabilizada con cemento de 25 centímetros y por último una subbase granular de 30 centímetros de espesor como se muestra en la figura N° 42.

Figura N° 42: Composición Estructural CASO 4



Fuente: elaboración propia

4.4.5 Módulos (Psi)

Para la aplicación del diseño se llevó a cabo con cada módulo que se realizó de acuerdo a los ensayos de escala real acelerado de Costa Rica LANAMME UCR, por lo tanto, se procedió a utilizar los mismos para el proceso de diseño con el AASHTO 2008. En la Tabla N° 34 se muestran los diferentes módulos que se utilizaron en el diseño para cada tipo de ensayo.

Tabla N° 34: Módulos para cada tipo de Estrato

ESTRATO	MÓDULO (MPA)	MÓDULO (PSI)
HMA	3800	551000
CTB	1200	174000
Base	170	25000
Subbase	140	20000
Subrasante	70	10000

Fuente: elaboración propia

4.4.6 Conversión de ESALS vehículos por día

Para el cálculo de los vehículos por día a utilizar en cada ensayo para el diseño del AASHTO 2008, se determinó a través de los ESALS, el cual se tiene de los resultados de los ensayos a escala real acelerado de LANAMME UCR. En la Tabla N° 35 se muestran los vehículos por día que serán datos para el desarrollo del diseño en el software “*Design Guide 2002*”.

Tabla N° 35: Vehículos por día para cada caso

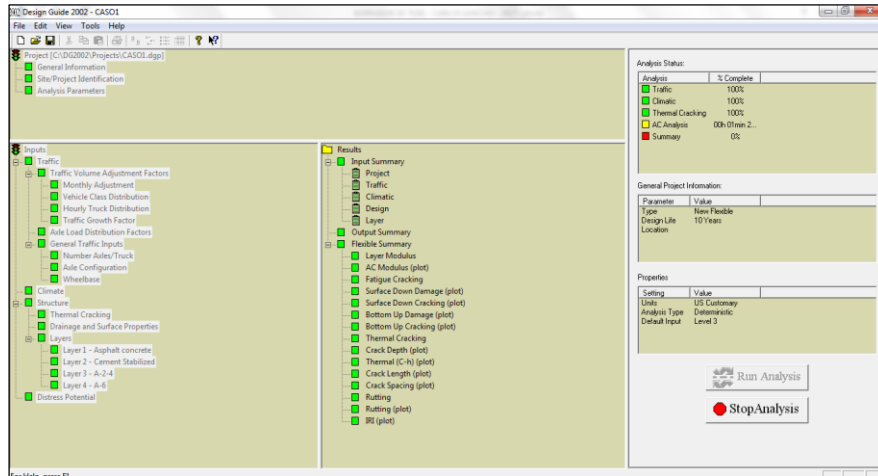
SECCIÓN	REPETICIONES	ESALS	Vel x Día
CASO 1	100,000.00	10,708,004.00	1467
CASO 2	1,000,000.00	9,350,541.00	1281
CASO 3	1,240,000.00	11,066,122.00	1516
CASO 4	1,500,000.00	21,550,195.00	2952

Fuente: elaboración propia

4.4.7 Procesar los datos mediante el Software “*Design Guide 2002*”.

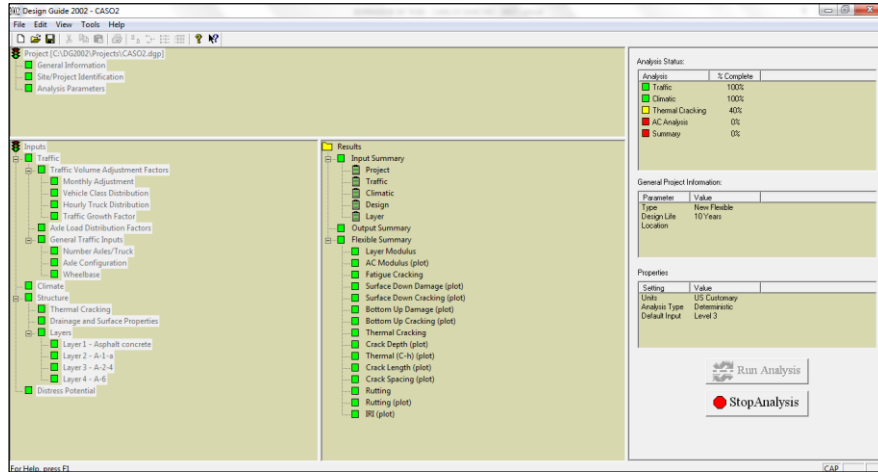
Para culminar con el diseño AASHTO 2008 se procesó la data mediante el software “*Design Guide 2002*”, para los cuatro casos diferentes con sus respectivos datos de tráfico y clima respectivamente. Para cargar los datos en el programa se tuvo que contar con información obtenida, en el tráfico se utilizaron los ESALS del ensayo a escala real acelerado convertidos a vehículos por día y a un 100% de porcentaje a la clase 5 vehicular, lo cual permitiría mostrar a un sistema uniforme del HVS. En relación al clima se utilizó la data climática de Florida (keywest.icm) muy parecida a la del lugar que se encuentra San José de Costa Rica. En las figuras 43, 44, 45 y 46 se puede observar cómo se realizó la corrida del programa para así obtener los resultados que nos permita obtener la calibración respectiva con los resultados del LANAMME UCR.

Figura N° 43: Caso 1 procesado por el programa MEPDG



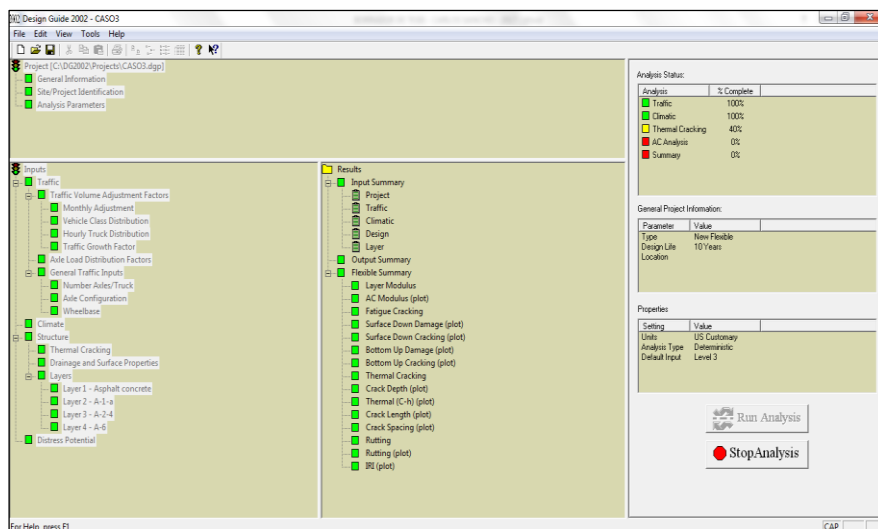
Fuente: elaboración propia

Figura N° 44: Caso 2 procesado por el programa MEPDG



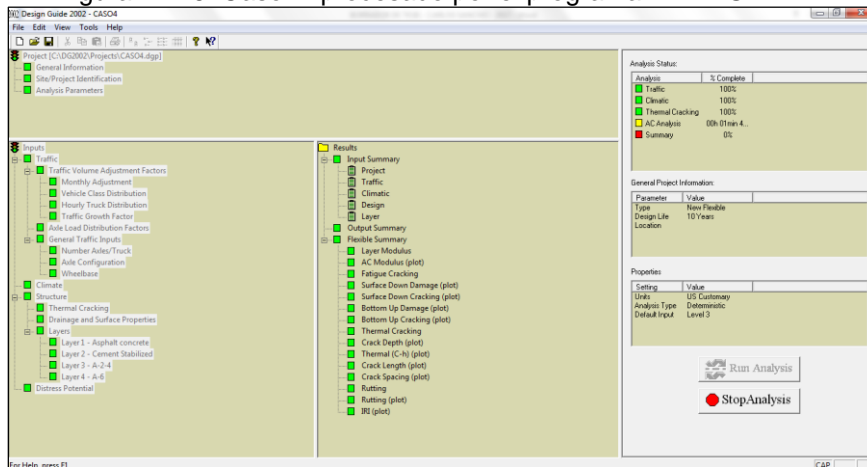
Fuente: elaboración propia

Figura N° 45: Caso 3 procesado por el programa MEPDG



Fuente: elaboración propia

Figura N° 46: Caso 4 procesado por el programa MEPDG



Fuente: elaboración propia

4.5 DISEÑO DE PAVIMENTOS BAJO LA METODOLOGÍA DEL ASSHTO 2008 PARA LA CARRETERA AYACUCHO – ABANCAY

Datos de entrada

Identificar y determinar los datos de entrada siguientes.

- Información general del proyecto
- Identificación del lugar del proyecto
- Criterio de desempeño
- Trafico
- Clima
- Propiedades de drenaje
- Estructura del pavimento

4.5.1 Información general del proyecto.

El periodo de diseño del pavimento a realizar será con una vida útil de 10 años. El pavimento tendrá un IRI inicial de 1.5 m/km (95 in/mile) y un IRI terminal de 3.5 m/km (222 in/mile). El tipo de pavimento es flexible.

4.5.2 Identificación del lugar del proyecto

El proyecto de la carretera Ayacucho - Abancay, cuenta con una longitud de 48 Km y estará ubicado en el departamento de Ayacucho, Perú. El tramo a diseñar será desde el Km 50+00 al Km 53+00. La fecha de evaluación es en setiembre del 2016.

4.5.3 Criterio de desempeño

Como se muestra en la Tabla N° 36, se espera que al final de los 10 años, el IRI sea no mayor a 222 pulg/milla (3.5 m/km), el límite para el Agrietamiento Longitudinal no sobrepase los 1000 pies/milla (133 m/km), Agrietamiento por Fatiga o piel de cocodrilo 20%, el Agrietamiento Térmico de 1000 pies/milla (133 m/km). La Deformación Permanente total en el pavimento no debe exceder de 0.75 pulg (19 mm) y el ahuellamiento en la carpeta asfáltica no debe sobrepasar los 0.25 pulg (6mm).

Se considera un análisis determinístico para los cálculos de los indicadores antes indicados y se hará uso del software “*Design Guide 2002*”.

Tabla N° 36: Criterio de desempeño límite

TIPO DE DETERIORO	LÍMITE
IRI Final. In/milla	222
Agrietamiento Longitudinal. Pies/milla (m/km)	1000 (133)
Agrietamiento por fatiga %	20
Agrietamiento Térmico. Pies/milla (m/km)	1000 (133)
Deformación Permanente – AC. Pulg (mm)	0.25 (6)
Deformación Permanente - total. Pulg (mm)	0.75 (19)

Fuente: elaboración propia

A. Tráfico

La información de tráfico se realizó mediante un procedimiento previo de recolección y análisis de datos de tráfico de Ayacucho, el cual incluye el conteo vehicular por tipo de vehículo, dirección y por carril. Los datos de tráfico usados se detallan en la sección 4.2.

B. Clima

Es cargado el Archivo virtual “Región Cusco-PE.icm” obtenido en la sección 4.3 de la presente investigación y mostrado en el Anexo I, con el objetivo de que el software de diseño pronostique los gradientes de temperatura y humedad en el diseño de pavimento.

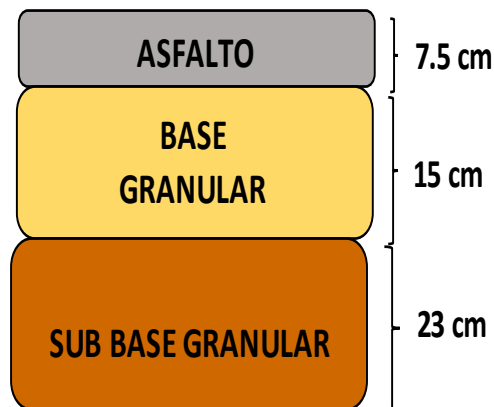
C. Propiedades de drenaje

El diseño geométrico de la carretera necesita una pendiente de 2%. La trayectoria del drenaje tendrá una longitud de 12 pies desde la línea central al borde del drenaje adyacente a la berma, y la infiltración depende del tipo de berma escogida. Asumir una absorción de 0.85.

D. Estructura del pavimento

El caso de la Carretera Ayacucho-Abancay tiene la siguiente composición estructural, la cual muestra una capa de asfalto de 7.5 centímetros de espesor, así como una base granular de 15 centímetros y por último una subbase granular de 23 centímetros de espesor como se muestra en la figura N° 47.

Figura N° 47: Estructura de Pavimento Carretera

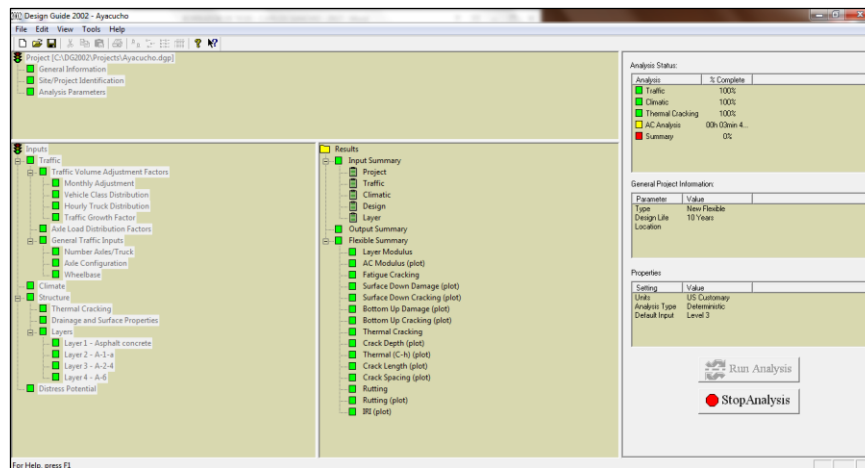


Fuente: elaboración propia

4.5.4 Procesar los datos mediante Software “Design Guide 2002”.

Para culminar con el diseño AASHTO 2008 se procesó la data mediante el software “Design Guide 2002”, para la Carretera Ayacucho–Abancay con datos de tráfico y clima desarrollados para su respectiva región. En la figura 43 se puede observar cómo se realizó la corrida del programa para así obtener los resultados que posteriormente serán analizados.

Figura N° 48: Carretera Ayacucho – Abancay procesado por el programa MEPDG



Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.1 RESULTADOS DE ENSAYO A ESCALA REAL ACELERADO – COSTA RICA

5.1.1 Índice de rugosidad internacional

Los datos proporcionados del Ensayo a Escala Real Acelerado de Lanamme Costa Rica en relación del Índice de Rugosidad Internacional y un periodo de años para los cuatro casos de diferentes estructuras de pavimento son las siguientes:

Tabla N° 37: Resultados Ensayo Escala Real Acelerado IRI

AÑO	AC1	AC2	AC3	AC4
0	1.75	1.10	0.98	1.18
0.4	1.73	1.12	0.98	1.18
0.8	1.76	1.20	0.99	1.18
1.2	1.80	1.30	0.99	1.19
1.6	1.87	1.59	1.00	1.19
2	1.96	1.80	1.01	1.19
2.4	2.00	1.97	1.02	1.19
2.8	2.05	2.00	1.02	1.19
3.2	2.09	2.05	1.03	1.20
3.6	2.12	2.10	1.04	1.20
4	2.12	2.15	1.10	1.20
4.4	2.14	2.18	1.13	1.20
4.8	2.16	2.20	1.15	1.20
5.2	2.18	2.24	1.20	1.21

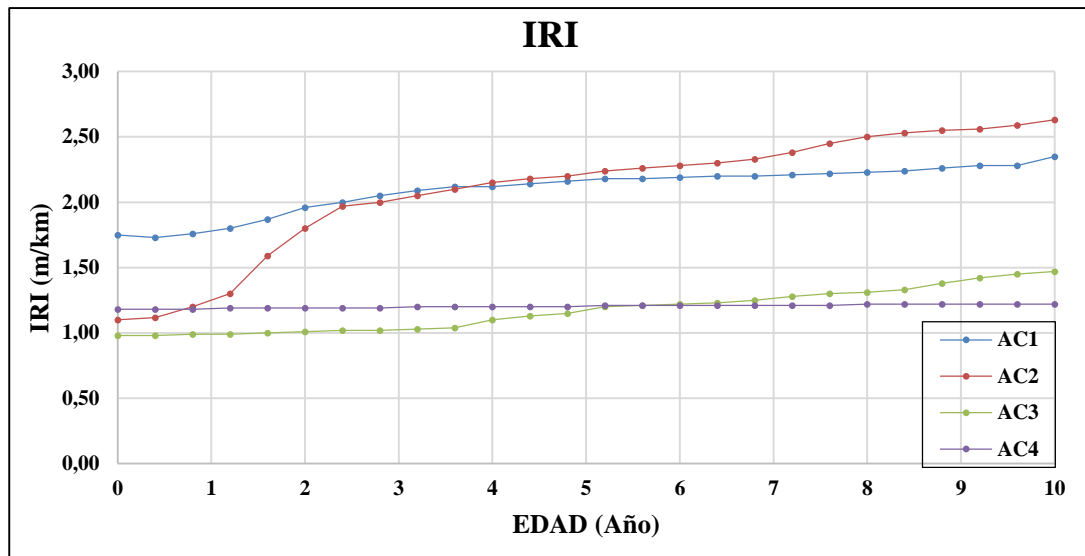
AÑO	AC1	AC2	AC3	AC4
5.6	2.18	2.26	1.21	1.21
6	2.19	2.28	1.22	1.21
6.4	2.20	2.30	1.23	1.21
6.8	2.20	2.33	1.25	1.21
7.2	2.21	2.38	1.28	1.21
7.6	2.22	2.45	1.30	1.21
8	2.23	2.50	1.31	1.22
8.4	2.24	2.53	1.33	1.22
8.8	2.26	2.55	1.38	1.22
9.2	2.28	2.56	1.42	1.22
9.6	2.28	2.59	1.45	1.22
10	2.35	2.63	1.47	1.22

Fuente: elaboración propia

Se puede observar que de este ensayo de IRI se realizó para un periodo de diseño de 10 años, tomados a una distancia de un cuarto de año para cada dato tomado. También se puede apreciar que de los cuatro ensayos que se realizaron, el que más sufrió espectro de daño de IRI fue el Caso 2 con 2.63 metros sobre kilómetros con una estructura de pavimento que consta de una capa de asfalto de 7.5 cm, una base granular de 25 cm y una subbase de 30 cm.

También se puede apreciar que de los cuatro casos ensayados el que tuvo menos daño fue el Caso 4 con 1.22 metros sobre kilómetros con una estructura de pavimento que consta de una capa de asfalto de 12 cm, una base estabilizada con cemento de 25 cm y una subbase granular de 30 cm.

Gráfico N° 12: Resultados IRI - Lanamme Costa Rica



Fuente: elaboración propia

5.1.2 Deformación permanente

Los datos proporcionados del Ensayo a Escala Real Acelerado de Lanamme Costa Rica en relación de la deformación permanente y un periodo de años para los cuatro casos de diferentes estructuras de pavimento son las siguientes:

Tabla N° 38: Resultados Ensayo Escala Real Acelerado de la deformación permanente

AÑO	AC1	AC2	AC3	AC4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	1.57	2.03	1.60	1.20
0.8	2.46	4.04	2.20	1.45
1.2	2.82	5.50	2.50	1.67
1.6	3.30	6.50	2.70	1.69
2	3.83	7.52	3.00	1.70
2.4	4.22	8.50	3.21	1.80
2.8	4.81	8.94	3.34	1.86
3.2	5.10	9.37	3.45	1.87
3.6	5.36	9.63	3.57	1.94
4	5.60	9.98	3.76	2.01
4.4	5.90	10.30	3.83	2.02
4.8	6.28	10.52	3.88	2.03
5.2	6.56	10.70	4.06	2.05
5.6	6.92	10.80	4.25	2.05
6	7.27	10.93	4.42	2.05
6.4	7.40	11.00	4.65	2.06

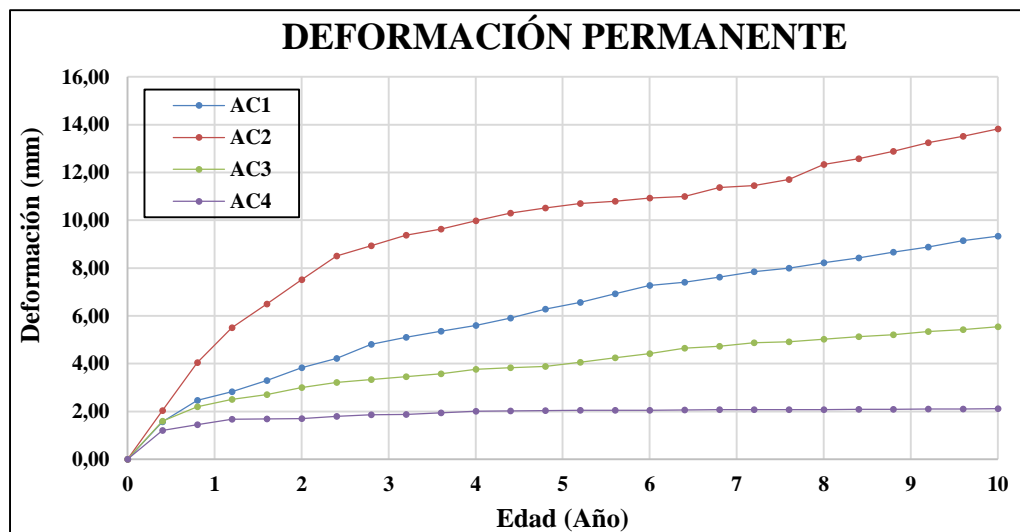
6.8	7.62	11.37	4.73	2.07
7.2	7.85	11.45	4.87	2.07
7.6	8.00	11.70	4.91	2.08
8	8.23	12.34	5.02	2.08
8.4	8.42	12.58	5.13	2.09
8.8	8.66	12.89	5.21	2.09
9.2	8.88	13.24	5.35	2.10
9.6	9.15	13.51	5.43	2.10
10	9.34	13.83	5.54	2.11

Fuente: elaboración propia

Se puede observar que de este ensayo de deformación permanente se realizó para un periodo de diseño de 10 años, tomados a una distancia de un cuarto de año para cada dato tomado. También se puede apreciar que de los cuatro ensayos que se realizaron, el que más sufrió espectro de daño de IRI fue el Caso 2 con 13.83 milímetros con una estructura de pavimento que consta de una capa de asfalto de 7.5 cm, una base granular de 25 cm y una subbase de 30 cm.

También se puede apreciar que de los cuatro casos ensayados el que tuvo menos daño fue el Caso 4 con 2.11 milímetros con una estructura de pavimento que consta de una capa de asfalto de 12 cm, una base estabilizada con cemento de 25 cm y una subbase granular de 30 cm.

Gráfico N° 13: Resultados IRI - LANAMME Costa Rica



Fuente: elaboración propia

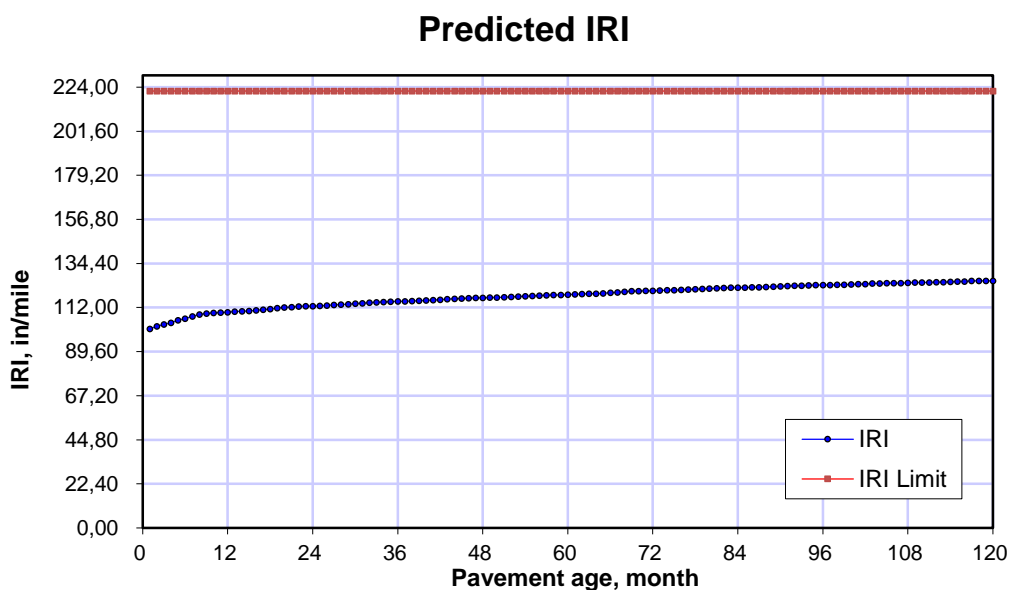
5.2 RESULTADOS DE CASOS TRATADOS APLICANDO EL DISEÑO AASHTO 2008

5.2.1 Resultados del caso 1 de Lanamme UCR con el método AASHTO 2008

A. Índice de rugosidad internacional

Los resultados de IRI bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 1 en un periodo de 10 años se presentan en el gráfico N° 14.

Gráfico N° 14: Predicción de IRI

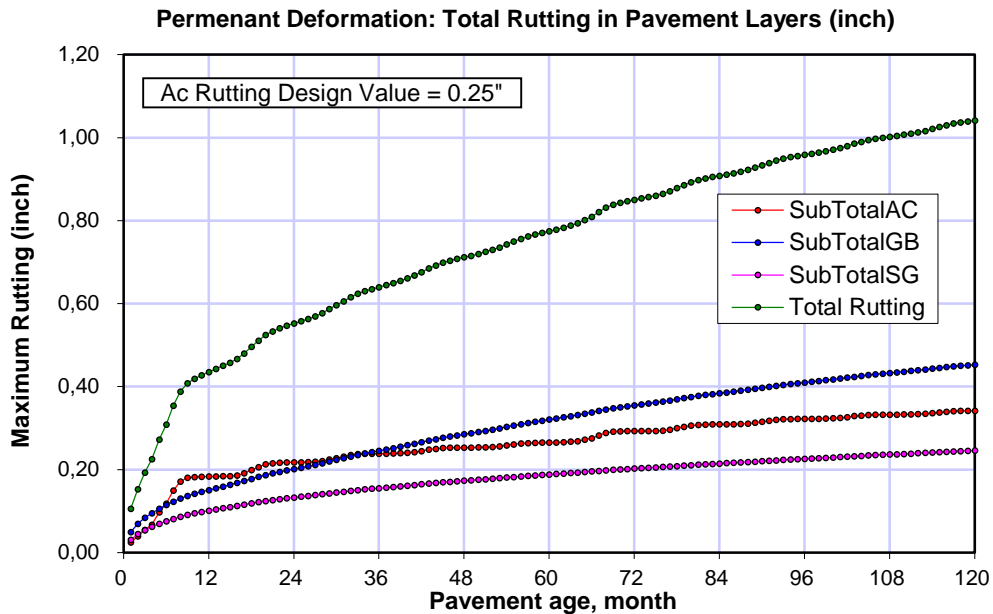


Fuente: elaboración propia

B. Deformación permanente

Los resultados de deformación permanente bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el CASO 1 en un periodo de 10 años se presentan en el gráfico N° 15.

Gráfico N° 15: Predicción de deformación permanente (pulg)



Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 40, se muestra un resumen de los indicadores de desempeño obtenidos una vez realizada la corrida del software, y con los criterios de deterioro límite durante el periodo de diseño.

Tabla N° 39: Valores finales para los parámetros finales de desempeño

Tipo de deterioro	Daño Límite	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
IRI Final. In/milla	222	125.6	Si
Agrietamiento Longitudinal. (ft/500 ft)	100	52.35	Si
Agrietamiento por fatiga (ft' 2/500 ft)	500	15.21	Si
Agrietamiento Térmico (ft/500 ft)	100	00.0	Si
Deformación Permanente - AC (in)	0.25	0.34	No
Deformación Permanente - total. (in)	0.75	1.04	No

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 14, se puede apreciar el progreso del **IRI** a medida que pasa el tiempo en meses (120 meses), donde las ordenadas indican los valores de IRI siendo un valor máximo aceptable 222 pulg/milla (3.5 m/km) (Línea horizontal rojo) y la predicción determinada alcanza un valor máximo de 125.6 pulg/milla (1.98 m/km) (Línea azul), esto quiere decir que en base al

cálculo determinístico el pavimento no presentará deterioros por encima de la rugosidad permitida durante 10 años de vida útil.

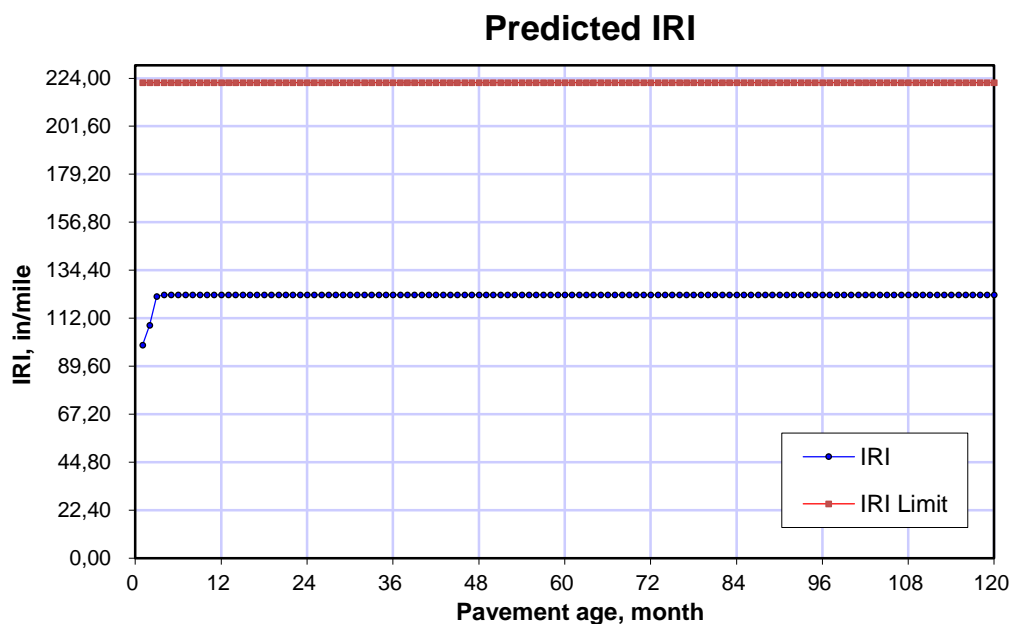
Según la tabla N° 40 se pueden apreciar los valores obtenidos al final del periodo de diseño, en el caso de Ahuellamiento Total alcanzó 1.04 pulg (26.4 mm) y la deformación permanente en el revestimiento asfáltico fue de 0.34 pulg (9 mm).

5.2.2 Resultados del Caso 2 de Lanamme UCR con el método AASHTO 2008

A. Índice de rugosidad internacional

Los resultados de IRI bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 2 en un periodo de 10 años se presentan en el gráfico N° 16.

Gráfico N° 16: Predicción de IRI

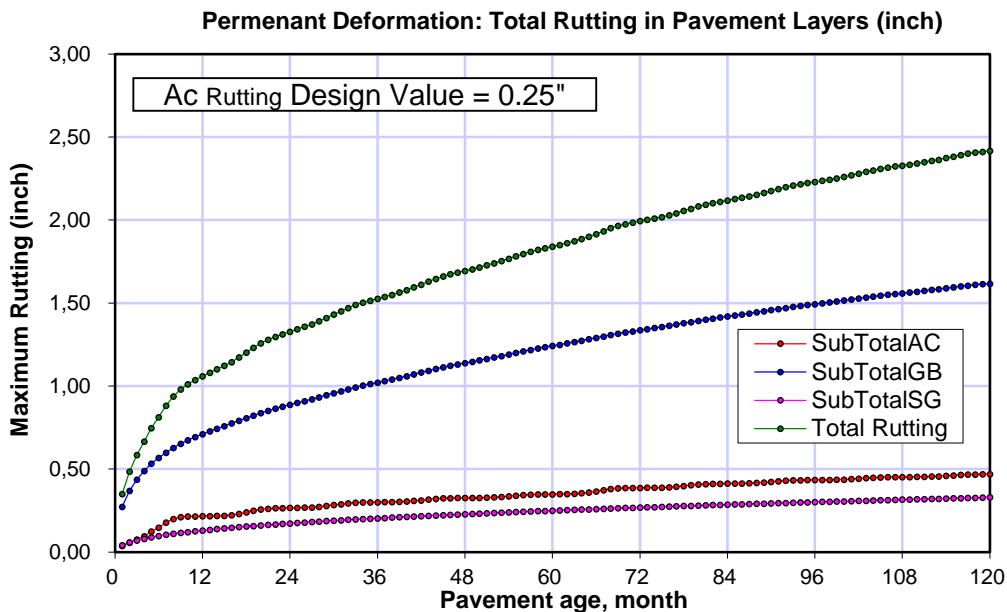


Fuente: elaboración propia

B. Deformación permanente

Los resultados de deformación permanente bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 2 en un periodo de 10 años se presentan en el gráfico N° 17.

Gráfico N° 17: Predicción de deformación permanente (pulg)



Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 40, se muestra un resumen de los indicadores de desempeño obtenidos una vez realizada la corrida del software, y con los criterios de deterioro límite durante el periodo de diseño.

Tabla N°40: Valores finales para los parámetros finales de desempeño

Tipo de deterioro	Daño Límite	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
IRI Final. In/milla	222	123	Si
Agrietamiento Longitudinal. (ft/500 ft)	100	52.52	Si
Agrietamiento por fatiga (ft' 2/500 ft)	500	100	Si
Agrietamiento Térmico (ft/500 ft)	100	0	Si
Deformación Permanente - AC (in)	0.25	0.47	No
Deformación Permanente - total. (in)	0.75	2.42	No

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 16, se puede apreciar el progreso del IRI a medida que pasa el tiempo en meses (120 meses), donde las ordenadas indican los valores de IRI siendo un valor máximo aceptable 222 pulg/milla (3.5 m/km) (Línea horizontal rojo) y la predicción determinada alcanza un valor máximo de 123 pulg/milla (1.9 m/km) (Línea azul), esto quiere decir que en base al

cálculo determinístico el pavimento no presentará deterioros por encima de la rugosidad permitida durante 10 años de vida útil.

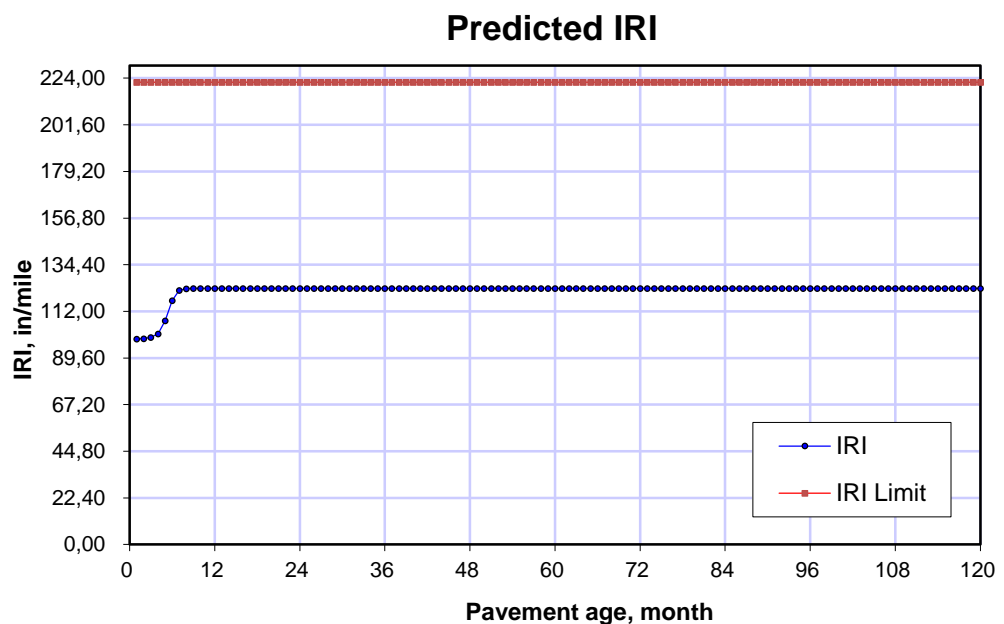
Según la tabla N° 40 se pueden apreciar los valores obtenidos al final del periodo de diseño, en el caso de Ahuellamiento Total alcanzó 2.42 pulg (61.4 mm) y la deformación permanente en el revestimiento asfáltico fue de 0.47 pulg (11.9 mm).

5.2.3 Resultados del Caso 3 de Lanamme UCR con el método AASHTO 2008

A. Índice de rugosidad internacional

Los resultados de IRI bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 3 en un periodo de 10 años se presentan en el gráfico N° 18.

Gráfico N° 18: Predicción de IRI

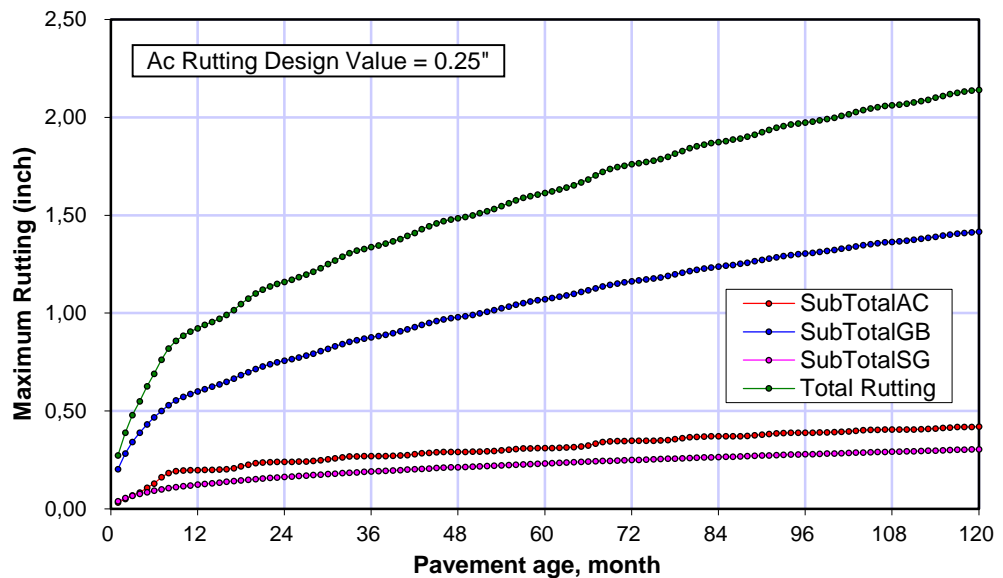


Fuente: elaboración propia

B. Deformación permanente

Los resultados de deformación permanente bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 3 en un periodo de 10 años se presentan en el Gráfico N° 19.

Gráfico N° 19: Predicción de deformación permanente (pulg)
Permenant Deformation: Total Rutting in Pavement Layers (inch)



Fuente: elaboración propia

En la Tabla N° 41, se muestra un resumen de los indicadores de desempeño obtenidos una vez realizada la corrida del software, y con los criterios de deterioro límite durante el periodo de diseño.

Tabla N° 41: Valores finales para los parámetros finales de desempeño

Tipo de deterioro	Daño Límite	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
IRI Final. In/milla	222	123	Si
Agrietamiento Longitudinal. (ft/500 ft)	100	52.36	Si
Agrietamiento por fatiga (ft' 2/500 ft)	500	100	Si
Agrietamiento Térmico (ft/500 ft)	100	0	Si
Deformación Permanente - AC (in)	0.25	0.42	No
Deformación Permanente - total. (in)	0.75	2.14	No

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 18, se puede apreciar el progreso del **IRI** a medida que pasa el tiempo en meses (120 meses), donde las ordenadas indican los valores de IRI siendo un valor máximo aceptable 222 pulg/milla (3.5 m/km) (Línea horizontal rojo) y la predicción determinada alcanza un valor máximo de 123 pulg/milla (1.9 m/km) (Línea azul), esto quiere decir que en base al cálculo determinístico el pavimento no presentará deterioros por encima de la rugosidad permitida durante 10 años de vida útil.

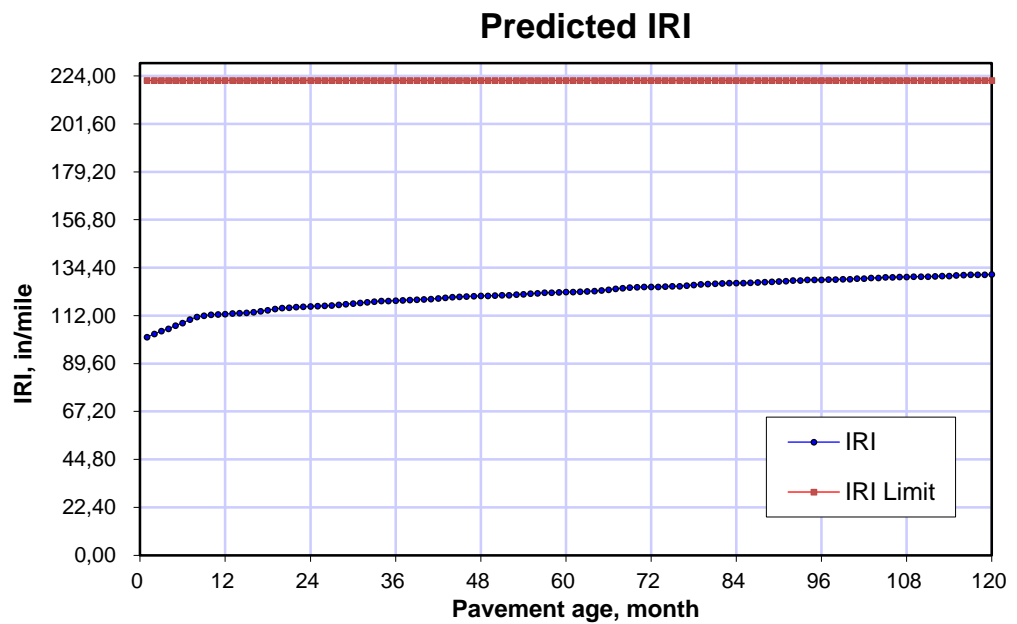
Según la Tabla N° 41 se pueden apreciar los valores obtenidos al final del periodo de diseño, en el caso de Ahuellamiento Total alcanzó 2.14 pulg (54.4 mm) y la deformación permanente en el revestimiento asfáltico fue de 0.42 pulg (10.67 mm).

5.2.4 Resultados del Caso 4 de Lanamme UCR con el método AASHTO 2008

A. Índice de rugosidad internacional

Los resultados de IRI bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 4 en un periodo de 10 años se presentan en el Gráfico N° 20.

Gráfico N° 20: Predicción de IRI

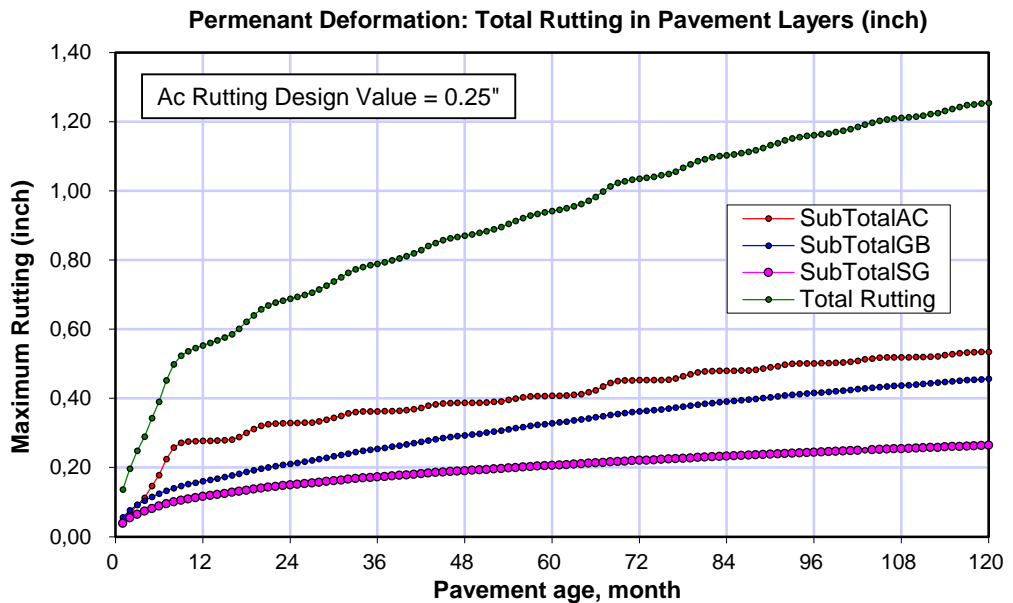


Fuente: elaboración propia

B. Deformación permanente

Los resultados de deformación permanente bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el Caso 4 en un periodo de 10 años se presentan en el Gráfico N° 21.

Gráfico N° 21: Predicción de deformación permanente (pulg)



Fuente: elaboración propia

En la Tabla N° 42, se muestra un resumen de los indicadores de desempeño obtenidos una vez realizada la corrida del software, y con los criterios de deterioro límite durante el periodo de diseño.

Tabla N° 42: Valores finales para los parámetros finales de desempeño

Tipo de deterioro	Daño Límite	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
IRI Final. In/milla	222	131.3	Si
Agrietamiento Longitudinal. (ft/500 ft)	100	52.35	Si
Agrietamiento por fatiga (ft' 2/500 ft)	500	15.21	Si
Agrietamiento Térmico (ft/500 ft)	100	0	Si
Deformación Permanente - AC (in)	0.25	0.53	No
Deformación Permanente - total. (in)	0.75	1.26	No

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 20, se puede apreciar el progreso del **IRI** a medida que pasa el tiempo en meses (120 meses), donde las ordenadas indican los

valores de IRI siendo un valor máximo aceptable 222 pulg/milla (3.5 m/km) (Línea horizontal rojo) y la predicción determinada alcanza un valor máximo de 131.3 pulg/milla (2.1 m/km) (Línea azul), esto quiere decir que en base al cálculo determinístico el pavimento no presentará deterioros por encima de la rugosidad permitida durante 10 años de vida útil.

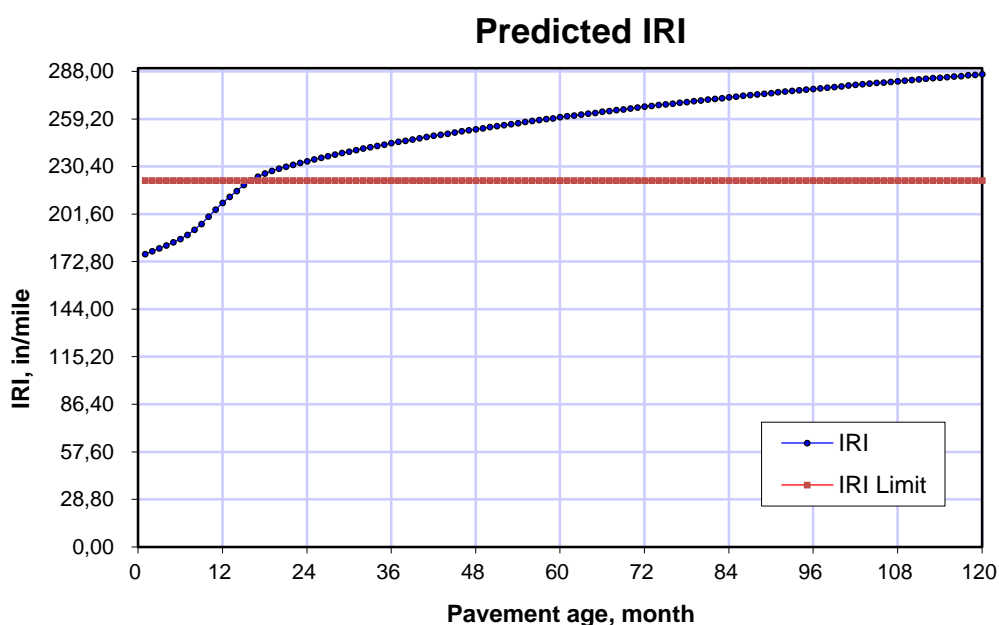
Según la Tabla N° 42 se pueden apreciar los valores obtenidos al final del periodo de diseño, en el caso de Ahuellamiento Total alcanzó 1.26 pulg (32.00 mm) y la deformación permanente en el revestimiento asfáltico fue de 0.53 pulg (13.46 mm).

5.3 RESULTADOS DEL CASO AYACUCHO – ABANCAY APLICANDO AASHTO 2008

5.3.1 Índice de Rugosidad Internacional

Los resultados de IRI bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el caso de la carretera Ayacucho-Abancay para un periodo de 10 años se presentan en el Gráfico N° 22.

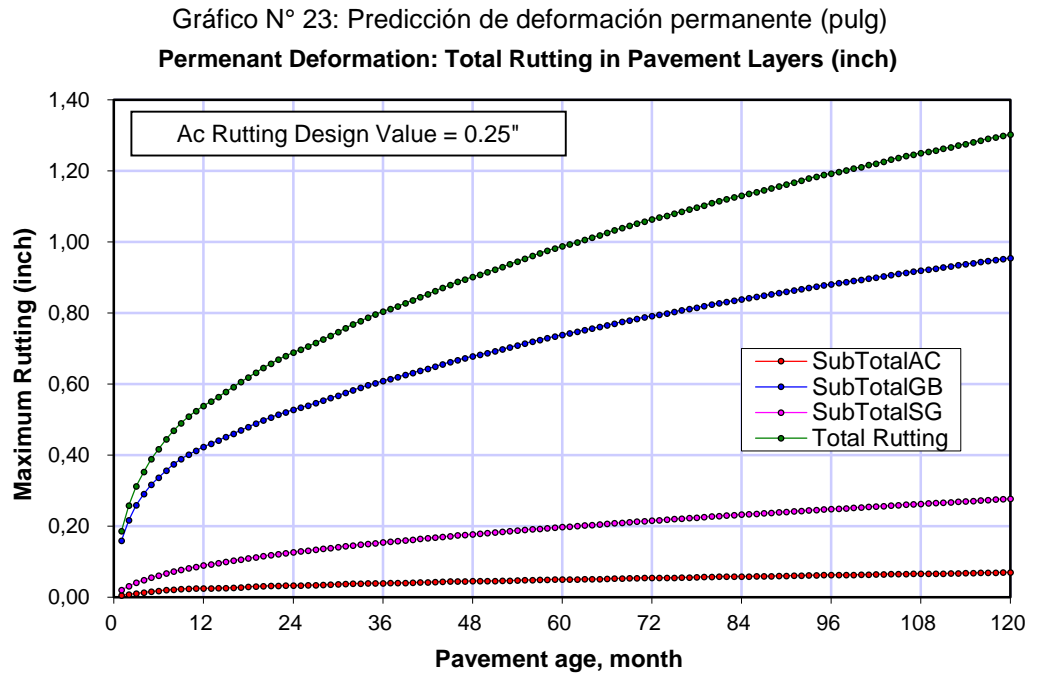
Gráfico N° 22: Predicción de IRI



Fuente: elaboración propia

5.3.2 Deformación permanente

Los resultados de deformación permanente bajo el procedimiento de diseño del método AASHTO 2008 para el caso Ayacucho–Abancay para un periodo de 10 años se presentan en el Gráfico N° 23.



Fuente: elaboración propia

En la Tabla N° 43, se muestra un resumen de los indicadores de desempeño obtenidos una vez realizada la corrida del software, y con los criterios de deterioro límite durante el periodo de diseño.

Tabla N° 43: Valores finales para los parámetros finales de desempeño

Tipo de deterioro	Daño Límite	Daño Pronosticado	¿Aceptable?
IRI Final. In/milla	222	286.2	No
Agrietamiento Longitudinal. (ft/500 ft)	100	52.37	Si
Agrietamiento por fatiga (ft' 2/500 ft)	500	100	Si
Agrietamiento Térmico (ft/500 ft)	100	0	Si
Deformación Permanente - AC (in)	0.25	0.07	Si
Deformación Permanente - total. (in)	0.75	1.303	No

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 22, se puede apreciar el progreso del IRI a medida que pasa el tiempo en meses (120 meses), donde las ordenadas indican los valores de IRI siendo un valor máximo aceptable 222 pulg/milla (3.5 m/km) (Línea horizontal rojo) y la predicción determinada alcanza un valor máximo de 286.2 pulg/milla (4.5 m/km) (Línea azul), esto quiere decir que en base al cálculo determinístico el pavimento presentará deterioros por encima de la rugosidad permitida durante 10 años de vida útil.

Según la Tabla N° 43 se pueden apreciar los valores obtenidos al final del periodo de diseño, en el caso de Ahuellamiento Total alcanzó 1.303 pulg (33.09 mm) y la deformación permanente en el revestimiento asfáltico fue de 0.07 pulg (1.778 mm).

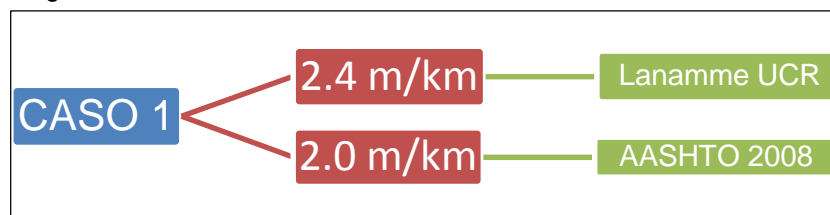
5.4 CONSTANTE DE CALIBRACIÓN ENTRE RESULTADOS IRI LANAMME UCR – AASHTO 2008

5.4.1 Constante de Calibración de IRI de Costa Rica y AASHTO 2008

De acuerdo a los resultados de IRI se procedió a la obtención de las constantes β_r para cada tipo de Casos entre Lanamme UCR y el Diseño AASHTO 2008.

A. Constante para el Caso 1

Figura N° 49: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 1



Fuente: elaboración propia

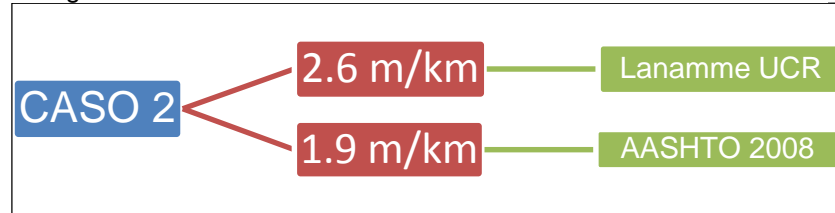
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un β_r como muestra la siguiente operación:

$$\beta_r = \frac{2.4}{2.0} = 1.20 \text{ m/km}$$

La constante β_r para el Caso 1 de IRI entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 1.20 m/km.

B. Constante para el Caso 2

Figura N° 50: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 2



Fuente: elaboración propia

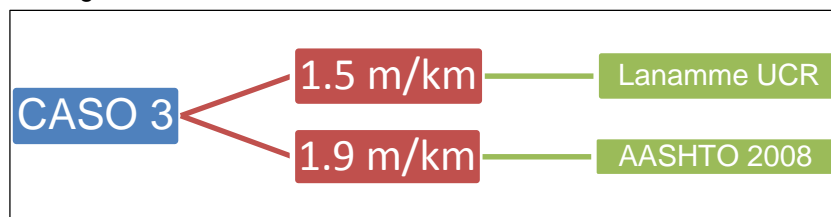
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{2.6}{1.9} = 1.37 \text{ m/km}$$

La constante βr para el Caso 2 de IRI entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 1.37 m/km.

C. Constante para el Caso 3

Figura N° 51: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 3



Fuente: elaboración propia

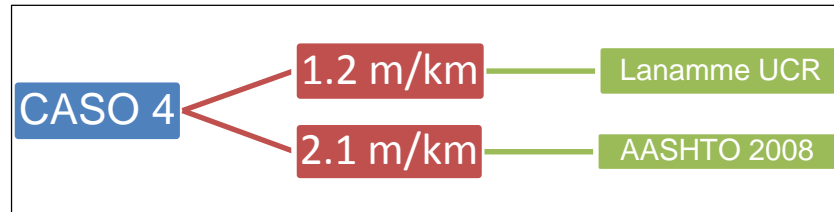
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{1.5}{1.9} = 0.79 \text{ m/km}$$

La constante βr para el Caso 3 de IRI entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 0.79 m/km.

D. Constante para el Caso 4

Figura N° 52: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 4



Fuente: elaboración propia

- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{1.2}{2.1} = 0.57 \text{ m/km}$$

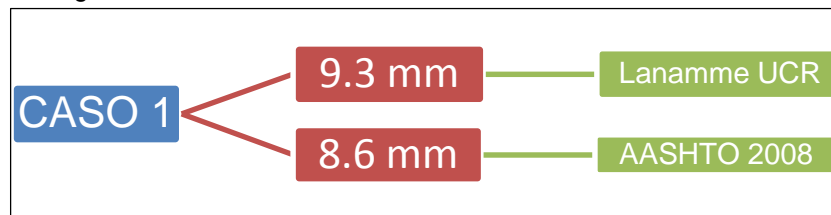
La constante βr para el Caso 4 de IRI entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 0.57 m/km.

5.4.2 Constante de calibración de deformación permanente de Costa Rica y AASHTO 2008

De acuerdo a los resultados de Deformación Permanente se procedió a la obtención de las constantes βr para cada tipo de Casos entre Lanamme UCR y el Diseño AASHTO 2008.

A. Constante para el Caso 1

Figura N° 53: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 1



Fuente: elaboración propia

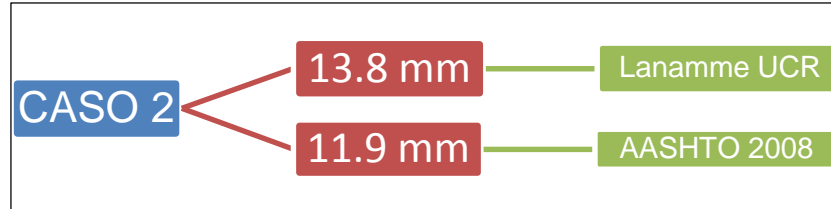
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{9.3}{8.6} = 1.08 \text{ mm}$$

La constante βr para el Caso 1 de Deformación Permanente entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 1.08 mm.

B. Constante para el Caso 2

Figura N° 54: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 2



Fuente: elaboración propia

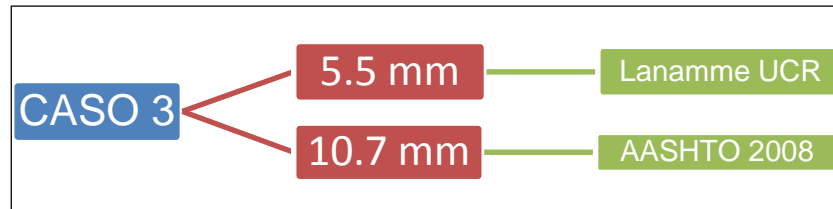
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{13.8}{11.9} = 1.16 \text{ mm}$$

La constante βr para el Caso 2 de Deformación Permanente entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 1.16 mm.

C. Constante para el Caso 3

Figura N° 55: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 3



Fuente: elaboración propia

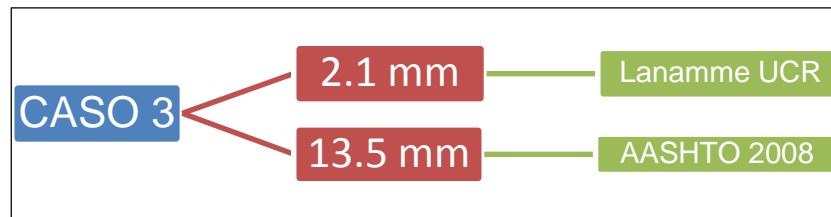
- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{5.5}{10.7} = 0.51 \text{ mm}$$

La constante βr para el Caso 3 de Deformación Permanente entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 0.51 mm.

D. Constante para el Caso 4

Figura N° 56: Relación LANAMME UCR vs AASHTO 2008 Caso 4



Fuente: elaboración propia

- De la relación de resultados anteriores se obtiene un βr como muestra la siguiente operación:

$$\beta r = \frac{2.1}{13.5} = 0.16 \text{ mm}$$

La constante βr para el Caso 4 de Deformación Permanente entre los resultados de Lanamme UCR y el diseño AASHTO 2008 es de 0.16 mm.

5.4.3 Resultados de las Constantes de Calibración

Los resultados tanto de IRI como la deformación permanente según los resultados del ensayo a escala real acelerado y AASHTO 2008 para cada caso se muestran en la Tabla N° 44 y en el Gráfico N°24 Y 25.

Tabla N° 44: Resultados IRI y Deformación Permanente

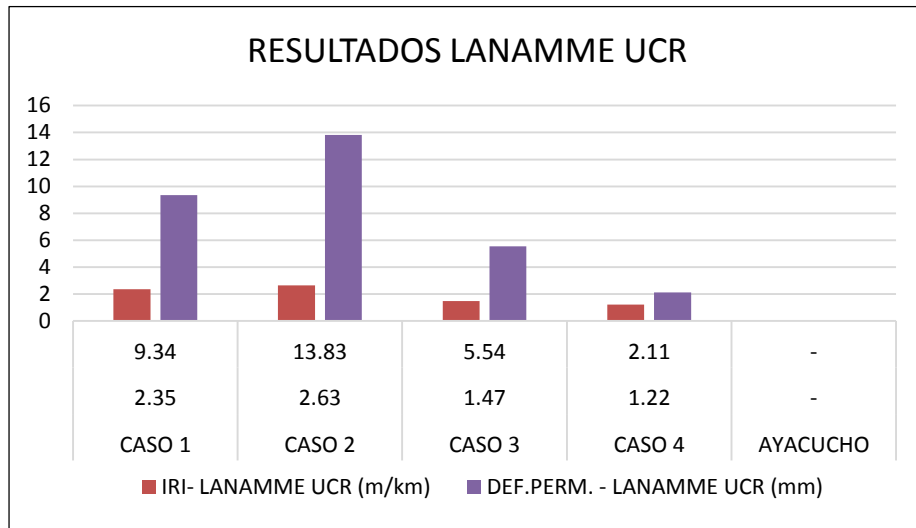
ENSAYOS	IRI- LANAMME UCR (m/km)	DEF.PERM. - LANAMME UCR (mm)	IRI - AASHTO 2008 (m/km)	DEF.PER. - AASHTO 2008 (mm)
CASO 1	2.35	9.34	1.98	8.64
CASO 2	2.63	13.83	1.94	11.93
CASO 3	1.47	5.54	1.94	10.67
CASO 4	1.22	2.11	2.07	13.46
AYACUCHO	-	-	4.52	1.78

Fuente: elaboración propia

De la Tabla N° 44 se puede apreciar que el IRI de la carretera Ayacucho–Abancay es de 4.52 m/km, siendo este el mayor valor con respecto a todos los casos tratados. En el caso de la deformación permanente el Caso 2 tiene el valor más

alto a diferencia de los resultados con el diseño AASHTO 2008. La deformación de la carretera Ayacucho–Abancay es de 1.78 (mm) con el menor valor conseguido a diferencia del resto.

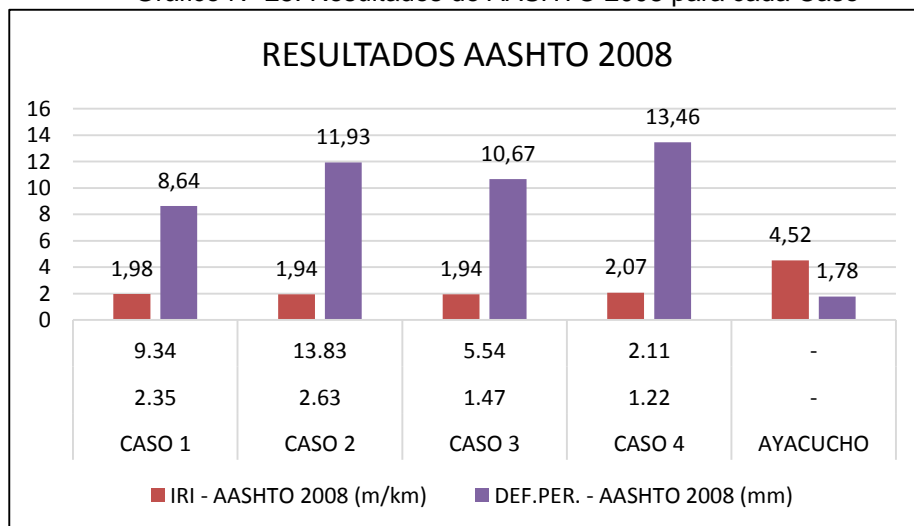
Gráfico N° 24: Resultados de LANAMME UCR para cada Caso



Fuente: elaboración propia

Del Gráfico N° 24, se puede decir que el Caso 1 tiene un valor de 2.35 m/km, siendo este el valor más alto con respecto al resto de los casos. Para el caso 2 que tiene un valor de 13.83 mm. es el que más deformación permanente alcanza con relación a los demás.

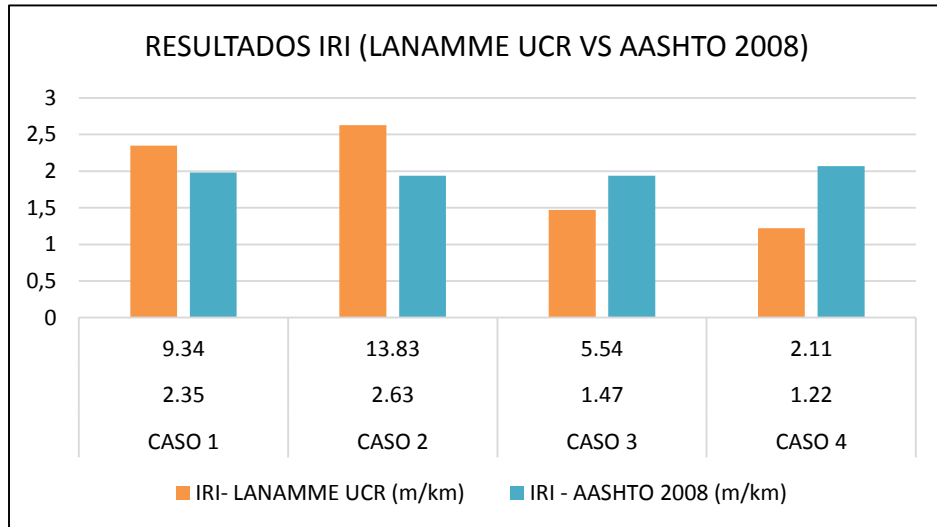
Gráfico N° 25: Resultados de AASHTO 2008 para cada Caso



Fuente: elaboración propia

Del Gráfico N° 25, se puede decir que el Caso 4 tiene un valor de 2.07 m/km, siendo este el valor más alto con respecto al resto de los casos. Para el Caso 4 que tiene un valor de 13.46 mm. es el que más deformación permanente alcanza con relación a los demás.

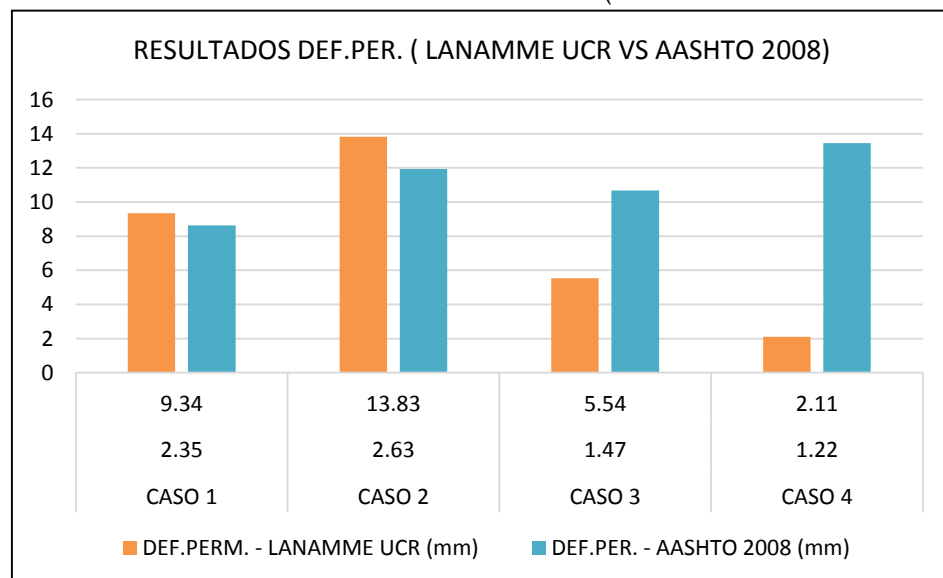
Gráfico N° 26: Resultados de IRI (LANAMME UCR vs AASHTO 2008)



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al gráfico N° 26, se muestra la comparación de resultados entre LANAMME UCR y el AASHTO 2008 para el comportamiento estructural de IRI. De los resultados salta a la vista que para todos los casos los resultados son proporcionales, no habiendo una diferencia cómoda entre los casos se puede decir que todos son constantes.

Gráfico N° 27: Resultados de Deformación Permanente (LANAMME UCR vs AASHTO 2008)



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al Gráfico N° 27, se muestra la comparación de resultados entre LANAMME UCR y el AASHTO 2008 para el comportamiento estructural de deformación permanente. De los resultados salta a la vista que para dos de los casos los resultados son diferentes, habiendo una diferencia notoria entre los Casos 3 y 4 con deformaciones variadas.

Los resultados de la calibración respectiva de acuerdo entre LANAMME UCR Y AASHTO 2008 para cada tipo de caso según los resultados de IRI y deformación permanente se muestran en la Tabla N° 45.

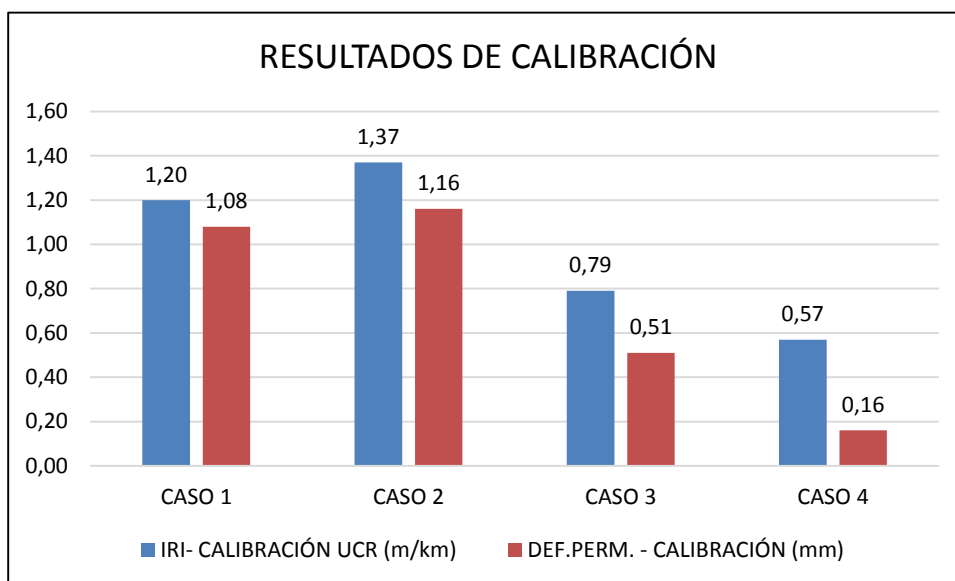
Tabla N° 45: Resultados de la Constante de Calibración

ENSAYOS	IRI- CALIBRACIÓN UCR	DEF.PERM. - CALIBRACIÓN
CASO 1	1.20	1.08
CASO 2	1.37	1.16
CASO 3	0.79	0.51
CASO 4	0.57	0.16

Fuente: elaboración propia

De la Tabla N° 45 se puede apreciar que la constante de IRI Calibrado mayor es el del Caso 2 con un valor de 1.37, siendo este el valor más alto con respecto al resto de un periodo de diseño de 10 años. También podemos apreciar que el Caso 2 tiene la mayor deformación permanente calibrada con un valor de 1.16, que es el valor que sobrepasa el límite total de diseño.

Gráfico N° 28: Resultados de la Constante de Calibración



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al gráfico N° 28, se muestra la comparación de resultados calibrados entre LANAMME UCR y el AASHTO 2008, donde también se puede apreciar las constantes de calibración de IRI y la deformación permanente de un periodo de 10 años. De los resultados se observa que el Caso 2 tiene el más alto valor de 1.37 en IRI y 1.16 para la deformación permanente a diferencia del Caso 4 que tiene un valor de 0.57 de IRI y 0.16 de deformación permanente, siendo así debido a sus espesores mayores que los demás y a su base estabilizada con cemento que tienen esos resultados de calibración.

5.5 PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.5.1 Comprobación de hipótesis general

La implementación de los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

a. Formulación de las hipótesis:

Ho: La implementación de los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica permite obtener una media poblacional de la

calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_0: \mu = 1$$

Ha: La implementación de los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica no permite obtener una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_a: \mu \neq 1$$

b. Nivel de significación:

$\alpha = 0,01$ a un 99% de nivel de confianza.

c. Determinación de la prueba:

El estadístico de prueba adecuado, para la comparación de medias del mismo grupo fue el análisis de Prueba de T de Student para una muestra.

d. Software utilizado:

El cálculo estadístico se realizó con la ayuda del Software SPSS V. 24 IBM.

e. Obtención de resultados de datos por el software:

Se determinó el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula o estadística, según el valor de la significancia estadística bilateral, mostrándose esta en la siguiente tabla:

Tabla N° 46: Estadísticas de muestras únicas

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Constantes Calibradas	8	,8550	,41669	,14732

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

Tabla N° 47: Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 1					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	99% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Constantes Calibradas	-,984	7	,358	-,14500	-,6605	,3705

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

f. Decisión estadística:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechaza la Ho (Se acepta Ha)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechaza la Ho (Se acepta Ho)

P- valor = 0.358	>	$\alpha = 0.01$
-------------------------	-------------	-----------------------------------

g. Conclusión estadística:

Se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna, ya que la significancia bilateral es mayor que 0.01.

La influencia no es significativa estadísticamente a un 99% de nivel de confianza, demostrándose que después de implementar los resultados del sistema de ensayo a escala real acelerado se permite la calibración de los métodos mecánicos empíricos a partir de la media poblacional de resultados con un p – valor 0.358)

5.5.2 Comprobación de hipótesis específicas

La implementación de los resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

a. Formulación de las hipótesis:

Ho: La implementación de los resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica permite obtener una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_0: \mu = 1$$

Ha: La implementación de los resultados del IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica no permite obtener una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_a: \mu \neq 1$$

b. Nivel de significación:

$\alpha = 0,01$ a un 99% de nivel de confianza.

c. Determinación de la prueba:

El estadístico de prueba adecuado, para la comparación de medias del mismo grupo fue el análisis de Prueba de T de Student para una muestra.

d. Software utilizado:

El cálculo estadístico se realizó con la ayuda del Software SPSS V. 24 IBM.

e. Obtención de resultados de datos por el software:

Se determinó el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula o estadística, según el valor de la significancia estadística bilateral, mostrándose esta en la siguiente tabla:

Tabla N° 48. Estadística de muestra única evaluado para IRI

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
IRI_Calibración	4	,9825	,36728	,18364

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

Tabla N° 49: Prueba de muestra única evaluado para IRI

	Valor de prueba = 1					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	99% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
IRI_Calibración	-,095	3	,930	-,01750	-1,0901	1,0551

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

f. Decisión estadística:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechaza la Ho (Se acepta Ha)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechaza la Ho (Se acepta Ho)

P- valor = 0.930	>	$\alpha = 0.01$
-------------------------	-------------	-----------------------------------

g. Conclusión estadística:

Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna, ya que la significancia bilateral es menor que 0.05 para la Deformación Permanente.

Se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna, ya que la significancia bilateral es mayor que 0.01.

La influencia no es significativa estadísticamente a un 99% de nivel de confianza, demostrándose que después de implementar los resultados de IRI del sistema de ensayo a escala real acelerado se permite la calibración de los métodos mecánicos empíricos a partir de la media poblacional de los resultados con un p – valor 0.930).

5.5.3 Comprobación de hipótesis específicas

La implementación de los resultados de la deformación permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica es factible para la calibración de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

a. Formulación de las hipótesis:

Ho: La implementación de los resultados de la Deformación Permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica permite obtener una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_0: \mu = 1$$

Ha: La implementación de los resultados de la Deformación Permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado de Costa Rica no permite obtener una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos adaptando al diseño de pavimentos en el Perú.

$$H_a: \mu \neq 1$$

b. Nivel de significación:

$\alpha = 0,01$ a un 99% de nivel de confianza.

c. Determinación de la prueba:

El estadístico de prueba adecuado, para la comparación de medias del mismo grupo fue el análisis de Prueba de T de Student para una muestra.

d. Software utilizado:

El cálculo estadístico se realizó con la ayuda del Software SPSS V. 24 IBM.

e. Obtención de resultados de datos por el software:

Se determinó el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula o estadística, según el valor de la significancia estadística bilateral, mostrándose esta en la siguiente tabla:

Tabla N° 50: Estadística de muestra única evaluada para Deformación Permanente

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Def.Pem_Calibración	4	,7275	,47633	,23817

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

Tabla N° 51: Prueba de muestra única evaluado para Deformación Permanente

	Valor de prueba = 1					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	99% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Def.Pem_Calibración	-1,144	3	,336	-,27250	-1,6636	1,1186

Fuente: elaboración propia – Spss v.24

f. Decisión Estadística:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechaza la Ho (Se acepta Ha)

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, no rechaza la Ho (Se acepta Ho)

P- valor = 0.336	>	$\alpha = 0.01$
-------------------------	-------------	-----------------------------------

g. Conclusión estadística:

Se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna, ya que la significancia bilateral es menor que 0.05 para la Deformación Permanente.

Se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna, ya que la significancia bilateral es mayor que 0.01.

La influencia no es significativa estadísticamente a un 99% de nivel de confianza, demostrándose que después de implementar los resultados de la deformación permanente del sistema de ensayo a escala real acelerado se permite la calibración de los métodos mecanísticos empíricos a partir de la media poblacional de los resultados con un p – valor 0.336).

CONCLUSIONES

- El resultado a escala real acelerado influye significativamente en la calibración de los resultados de la MEPDG para no esperar a datos de campo en tiempo normal, así lo demuestra el análisis estadístico obteniendo una media poblacional de la calibración igual a 1 de los métodos mecánicos empíricos en la prueba T de Student de una sola muestra, encontrándose para el IRI ($p=0.930$), deformación permanente ($p= 0.336$).
- Se compararon resultados de campo con los obtenidos por el software del MEPDG en otras realidades para realizar las calibraciones respectivas y con esta experiencia tratar de realizar el mismo ejercicio con la Carretera Ayacucho–Abancay con todas las limitaciones que esto conlleva.
- Con la evaluación realizada a los resultados del Ensayo a escala real acelerado de LANAMME UCR y los resultados de los casos tratados mediante la guía de diseño mecánico empírico MEPDG se obtuvieron las respectivas calibraciones tanto para IRI, así como para la Deformación Permanente de un periodo de diseño de 10 años.

ENSAYOS	IRI- CALIBRACIÓN UCR (m/km)	DEF.PERM. - CALIBRACIÓN (mm)
CASO 1	1.20	1.08
CASO 2	1.37	1.16
CASO 3	0.79	0.51
CASO 4	0.57	0.16

- Se logró desarrollar el espectro de carga de la Carretera Ayacucho–Abancay que exige la guía de diseño (MEPDG), para así tener una data de tráfico más exacta para poder aplicar en el diseño AASHTO 2008, que sirva de referencia para la aplicación en las diferentes carreteras en el Perú.
- Con la información climática requerida por el EICM y recopilada principalmente de la estación Corpac del Aeropuerto Internacional Velasco Astete Región Cusco mediante los reportes aeronáuticos METAR, se logró generar el archivo climático “Región Cusco-PE.icm”, para su posterior aplicación en el diseño de la Carretera Ayacucho–Abancay.
- Del análisis de los resultados de la calibración se concluye que es muy importante la implementación de un sistema de ensayos a escala real acelerado, porque así en nuestro país se pueden aplicar los métodos mecánicos empíricos a menor tiempo y no esperar a los datos de campo en tiempo normal.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para poder realizar la calibración de los resultados entre LANAMME UCR y los del AASHTO 2008, se cuente con información detallada y procesada del tráfico y clima de acuerdo a los requerimientos que exige la guía MEPDG.
- Es recomendable la implementación de un sistema a escala real acelerado como lo tiene el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica (UCR) en nuestro país, para poder aplicar los métodos mecanísticos empíricos de la guía MEPDG.
- Se recomienda que se implemente un sistema de medición horaria para cada región del nuestro país, que cuente con mediciones exactas haciendo más fácil la creación de nuevos archivos climáticos que permitan mejorar el diseño de pavimentos en el Perú.
- Se debe dar a conocer la guía de diseños mecanísticos empíricos MEPDG en nuestro país, para así obtener mejores calibraciones que permitan predecir el comportamiento de las estructuras al largo de su vida útil para lo cual fueron diseñadas.
- Tener en cuenta que todavía existe mucha más información que procesar para desarrollar en el país, como los espectros de carga y climas regionales que todavía no se cuenta con la información respectiva y esto nos lleva a no poder mejorar nuestras vías terrestres a lo largo de todo nuestro territorio.
- Uno de los inconvenientes más comunes en la búsqueda de información para el desarrollo de la guía MEPDG es la información, debido a la gran cantidad de data que se necesita y que no es de fácil acceso. Se recomienda a las instituciones como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Sutran y Provías Nacional distribuya de manera accesible los recursos que se tiene a disposición.

REFERENCIAS

1. Aguado. (2010). Manual para el proyecto y gestión de pavimentos bicapa de hormigón.
2. Becerra, M. (2012). Topicos de pavimentos de concreto. Lima.
3. Bórquez B, M. E. (2014). Diseño de la estructura de pavimento de la pista del aeródromo de Panguipulli. Chile.
4. Camacho Garita, E., Loría Salazar, L., & Quirós Orosco, R. (2012). Conceptualización y desarrollo del laboratorio a escala natural de pavimentos del laboratorio nacional de materiales de la Universidad de Costa Rica: El Pavelab. 13(1).
5. Camacho, Loría, & Quirós. (2012). Conceptualización y desarrollo del laboratorio a escala natural de pavimentos del Laboratorio Nacional de Materiales de la Universidad de Costa Rica: El Pavelab (Vol. 13).
6. Diaz, R., Echaveguren, T., & Vargas. (2012). Camiones de alto tonelaje y su impacto en ciclo de vida de pavimentos asfálticos. 11(1).
7. Ezequiel Ulla, F. (2013). Mantenimiento de pavimento rígido de hormigón. En F. Ezequiel Ulla, Mantenimiento pavimento rígido de hormigón.
8. Gartia, C. (2012). Lanamme Ucr. En I. E. Garita, Pitra Programa de infraestructura del transporte conceptualización y desarrollo del Pavelab (Pág. 2).
9. Gonzales, A., Cubrinovski, M., Pidwerbesky, B., & Alabaster, D. (2012). Desempeño de pavimentos estabilizado con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada.
10. Hernández D, B., & Martínez LI, O. (2014). Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. Cartagena.
11. Hugo Alexander, R. Q. (2007). Metodologías de pavimentos flexibles: tendencias alcances y limitaciones.
12. Humpiri Pineda, K. (2015). Analisis Superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno. En K. Humpiri Pineda, Analisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno. Juliaca.
13. Leguía Loarte, P. B., & Pacheco Risco, H. F. (2016). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método (Pci) .
14. Lima, M. M. (2006). Estudio de mecanica de suelos con fines de pavimentación. Lima.

15. Loría Salazar, L. G. (2014). Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica. 3.
16. Loría Salazar, L. G., & Aguiar Moya, J. P. (2012). Proyecto de implementación del Pavelab Hvs Costa Rica. En L. G. Loría Salazar, & J. P. Aguiar Moya, Proyecto de implementación del Pavelab Hvs Costa Rica.
17. Mateos A, A. (2003). Modelación numérica de la respuesta estructural de los firmes flexibles a partir de medidas experimentales en pista de ensayo a escala real. Madrid.
18. Matiz Flóres, N. O. (2015). Aplicación de la guía de diseño mecanístico - empírico de pavimentos diseñada por la AASHTO, una opción de crecimiento para Colombia. Bogota.
19. Maximiliano Velasquez, E. J. (2016). Implementación del modelo climático Eicm con fines de diseño para pavimento de concreto asfáltico aplicando la metodología MEPDG.
20. Morales C, P., Chávez A, O., & López P, L. (2009). Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles.
21. Morales, J. (2004). Técnicas de rehabilitación de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo.
22. Nacional, P. (2013). Infraestructura vial departamental. en p. nacional, infraestructura vial departamental.
23. Rivas O, B. G., & Mercado E, K. U. (2015). Propuesta de diseño de estructura de pavimento flexible del tramo comprendido del Km 2.3 Al Km 2.8 de la carretera Panamericana Sur, aplicando el método de la Aashto 93. Nicaragua.
24. Rodriguez. (2004). Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje. El Salvador.
25. Ronderos. (2005). Las siete causas de los problemas de la Autopista Norte. Colombia.
26. Rondon Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. A. (2007). Metodología de pavimento flexible: tendencias, alcances y limitaciones. 17(2).
27. Ucr, L. (2017). Laboratorios de infraestructura vial. Obtenido de [Http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/nba-latest-news.html)
28. Umss. (2004). Ingeniería de Pavimentos.
29. Vasquez M, C. J. (2016). Factores de equivalencias de daño en pavimentos flexibles: análisis para condiciones típicas de Argentina. Argentina.

30. Vásquez V, L. R. (2017). Diseño de espesores para pavimentos de concreto en calles y carreteras.
31. Vivanco. (2016). Caracterización del tránsito de vehículos pesados aplicando la metodología Mepdg . Lima.
32. Vivanco Cahuana, E. R. (2016). Caracterización del tránsito de vehículos pesados aplicando la metodología Mepdg-Aashto 2008; Aplicación en pavimento de concreto hidráulico - Lima. Lima.

ANEXOS

ANEXO A: Requerimiento de propiedades de materiales para HMA definido por la metodología MEPDG para pavimentos nuevos.

ANEXO B: Requerimiento de propiedades de materiales para base granular y subrasante definido por la metodología MEPDG para pavimentos nuevos.

ANEXO C: Factores de ajuste de nivel de nodo según el EICM.

ANEXO D: Estaciones Meteorológicas Aeronáuticas de Corpac S.A.

ANEXO E: Presupuesto por información meteorológica – Senamhi.

ANEXO F: Requerimientos Mínimos de Información climática, mensual, diario y horario.

ANEXO G: Resultados del Ensayo a Escala Real Acelerado Lanamme UCR.

ANEXO H: Estructura METAR.

ANEXO I: Datos para el Archivo climático virtual “Región Cusco-PE.icm”.

ANEXO J: Datos recolectados de tráfico.

ANEXO K: Memoria de Cálculo con del Software “*Desing Guide 2002*” de los cuatro casos y de la carretera Ayacucho – Abancay.

ANEXO A

Requerimiento de propiedades de materiales para HMA
definido por la metodología MEPDG para pavimentos
nuevos.

Table 11-2. Asphalt materials and the Test Protocols for Measuring the Material Property Inputs for New and Existing HMA Layers

Design Type	Measured Property	Source of Data		Recommended Test Protocol and/or Data Source
		Test	Estimate	
New HMA (New pavement and overlay mixtures), as built properties prior to opening to truck traffic	Dynamic Modulus	X		AASHTO TP 62
	Tensile strength	X		AASHTO T 322
	Creep Compliance	X		AASHTO T 322
	Poisson's ratio		X	National test protocol unavailable. Select MEPDG default relationship
	Surface shortwave absorptivity		X	National test protocol unavailable. Use MEPDG value
	Thermal conductivity	X		ASTM E 1952
	Heat capacity	X		ASTM D 2766
	Coefficient of thermal contraction		X	National test protocol unavailable. Use MEPDG default values.
	Effective asphalt content by volume	X		AASHTO T 308
	Air voids	X		AASHTO T 166
	Aggregate specific gravity	X		AASHTO T 84 and T 85
	Gradation	X		AASHTO T 27
	Unit Weight	X		AASHTO T 166
	Voids filled with asphalt (VFA)	X		AASHTO T 209
Existing HMA mixtures, in-place properties at time of pavement evaluation	FWD backcalculated layer modulus	X		AASHTO T 256 and ASTM D 5858
	Poisson's ratio		X	National test protocol unavailable. Use MEPDG default values.
	Unit weight	X		AASHTO T 166 (cores)
	Asphalt content	X		AASHTO T 164 (cores)
	Gradation	X		AASHTO T 27 (cores or blocks)
	Air voids	X		AASHTO T 209 (cores)
Asphalt (new, overlay, and existing mixtures)	Asphalt recovery	X		AASHTO T 164/T 170/T 319 (cores)
	Asphalt Performance Grade (PG), OR	X		AASHTO T 315
	Asphalt binder complex shear modulus (G^*) and phase angle (δ), OR	X		AASHTO T 49
	Penetration, OR	X		AASHTO T 53
	Ring and Ball Softening Point			AASHTO T 202
	Absolute Viscosity	X		AASHTO T 201
Specific Gravity, OR			AASHTO T 228	
Brookfield Viscosity	X		AASHTO T 316	

Note: The global calibration factors included in version 1.0 of the MEPDG software for HMA pavements were determined using the NCHRP 1-37 viscosity based predictive model for dynamic modulus (E_{HMA}^*).
 "Source: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, AASHTO July 2008".

Table 11-3. Recommended Input Parameters and Values; Limited or No Testing Capabilities for HMA (Input Levels 2 or 3)

Measure property	Input Levels 2 or 3
Dynamic modulus, E_{HMA} (new HMA layers)	No dynamic modulus, E_{HMA} , laboratory testing required: <ul style="list-style-type: none"> Use E_{HMA} predictive equation; either the NCHRP 1-37A viscosity base model or 1-40D G^* base model. Both predictive equations are included in the software help screens. Inputs are gradation, bitumen viscosity or dynamic shear modulus and phase angle, loading frequency, air void content, and effective bitumen content by volume. Input variables may be obtained through testing of laboratory prepared mixture and asphalt samples or from agency historical records. Use default $A-VTS$ values included in the software based on asphalt binder grade (PG, viscosity, or penetration grades), as shown below. $\text{Loglog}\eta = A + VTS(\text{Log}T_R)$ where: η = Viscosity, cP; T_R = Temperature, Rankine; and A and VTS are the intercept and slope resulting from a regression of the asphalt viscosity-temperature susceptibility relationship, respectively.
Dynamic modulus, E_{HMA} (new HMA layers)	No dynamic modulus, E_{HMA} , laboratory testing required: <ul style="list-style-type: none"> Use E_{HMA} predictive equation, as noted above. Inputs are gradation, bitumen viscosity or dynamic shear modulus and phase angle, loading frequency, air void content, and effective bitumen content by volume. Input variables may be obtained through testing of cores and asphalt extracted from field samples, or from agency historical records. Use default $A-VTS$ values based on age-hardened asphalt binder grade (PG, or viscosity, or penetration grades). Determine existing pavement condition rating (excellent, good, fair, poor, very poor); calculate the modulus from deflection basins.
Tensile strength, TS (new HMA surface; not required for existing HMA layers)	Use MEPDG regression equation: $TS(\text{psi}) = 7416.712 - 114.016 * Va - 0.304 * Va^2 - 122.592 * VFA + 0.704 * VFA^2 + 405.71 * \text{Log}10(\text{Pen}77) - 2039.296 * \text{log}10(A)$ where: TS = Indirect tensile strength at 14°F, psi. Va = HMA air voids, as-constructed, percent VFA = Voids filled with asphalt, as-constructed, percent Pen77 = Asphalt penetration at 77°F, mm/10. A = Asphalt viscosity-temperature susceptibility intercept. Input variables may be obtained through testing of lab-prepared mix samples, extracted cores (for existing pavements), or from agency historical records.
Creep compliance, $D(t)$ (new HMA surface; not required for existing HMA layers)	Use MEPDG regression equation: $D(t) = D_1 * t^m$ $\text{Log}(D_1) = -8.524 + 0.01306 * T + 0.7957 * \text{log}10(Va) + 2.0103 * \text{log}10(VFA) - 1.923 * \text{log}10(A)$ $m = 1.1628 - 0.00185 * T - 0.04596 * Va - 0.01126 * VFA + 0.00247 * \text{Pen}77 + 0.001683 * T * \text{Pen}77^{0.0015}$ where: t = Time, months T = Temperature at which creep compliance is measured, °F. Va = HMA air voids, as-constructed, % VFA = Voids filled with asphalt, as-constructed, % Pen77 = Asphalt penetration at 77°F, mm/10. Input variables may be obtained through testing of lab-prepared mix samples, extracted cores (for existing pavements), or from agency historical records.

Note: The MEPDG computers input Level 2 and 3 dynamic modulus, tensile strength, creep compliance, etc. internally once; all the required input variables required by the various equation are provided.

"Source: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, AASHTO July 2008".

Table 11-3 continued on next page.

Table 11-3. Recommended Input Parameters and Values; Limited or No Testing Capabilities for HMA (Input Levels 2 or 3) –Continued

Measured Property	Recommended Level 3 Input																					
Air Voids	Use as-constructed mix type specific values available from previous construction records.																					
Volumetric asphalt content	Use as-constructed mix type specific values available from previous construction records.																					
Total unit weight	Use as-constructed mix type specific values available from previous construction records.																					
Poisson's ratio	Use predictive equation base on the temperature included in the PEPDG for new HMA mixes; For existing, age hardened HMA layers, use the typical values listed below: <table border="1" data-bbox="598 607 1190 808"> <thead> <tr> <th>Reference Temperature °F</th> <th>Dense-Grade HMA (Level 3) μ typical</th> <th>Open-Graded HMA (Level 3) μ typical</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0°F</td> <td>0.15</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>0-40°F</td> <td>0.20</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>41-70°F</td> <td>0.25</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>71-100°F</td> <td>0.35</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>101-130°F</td> <td>0.45</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>>130°F</td> <td>0.48</td> <td>0.45</td> </tr> </tbody> </table>	Reference Temperature °F	Dense-Grade HMA (Level 3) μ typical	Open-Graded HMA (Level 3) μ typical	<0°F	0.15	0.35	0-40°F	0.20	0.35	41-70°F	0.25	0.40	71-100°F	0.35	0.40	101-130°F	0.45	0.45	>130°F	0.48	0.45
Reference Temperature °F	Dense-Grade HMA (Level 3) μ typical	Open-Graded HMA (Level 3) μ typical																				
<0°F	0.15	0.35																				
0-40°F	0.20	0.35																				
41-70°F	0.25	0.40																				
71-100°F	0.35	0.40																				
101-130°F	0.45	0.45																				
>130°F	0.48	0.45																				
Surface shortwave absorptivity	Use MEPDG default of 0.85, which was used in the global calibration process (refer to Table 11-2).																					
Thermal conductivity	Typical Values for HMA range from 0.44 to 0.81 Btu/(ft)(hr)(°F). Use default value set in program -0.67 BTU/(ft)(hr)(°F)																					
Heat capacity	Typical values for HMA range from 0.22 to 0.40 Btu/(lb)(°F). Use default value set in program -0.23BTU/lb.-F																					
Coefficient of thermal contraction	Use MEPDG predictive equation shown below; $L_{MIX} = \frac{VMA * B_{AC} + V_{AGG} * B_{AGG}}{3 * V_{TOTAL}}$ <p>where:</p> <ul style="list-style-type: none"> L_{MIX} – Linear coefficient of thermal contraction of the asphalt concrete mixture (1/°C). B_{AC} – Volumetric coefficient of thermal contraction of the asphalt cement in the solid state (1/°C). B_{AGG} – Volumetric Coefficient of thermal contraction of the aggregate (1/°C). VMA – Percent volume of voids in the mineral aggregate (equals percent volume of air voids plus percent volume of asphalt cement minus percent volume of absorbed asphalt cement) V_{AGG} – Percent volume of aggregate in the mixture. V_{TOTAL} – 100 percent <p>Typical Values for linear coefficient of thermal contraction, volumetric coefficient of thermal contraction of the asphalt cement in the solid state, and volumetric coefficient of thermal contraction of aggregates measured in various research studies are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> • L_{MIX} – 2.2 to $3.4 * 10^{-5}/^{\circ}C$ (linear). • B_{AC} – 3.5 to $4.3 * 10^{-4}/^{\circ}C$ (cubic). • B_{AGG} – 21 to $37 * 10^{-6}/^{\circ}C$ (cubic). 																					

Note: That the MEPDG computes input Level 2 and 3 coefficient of thermal extraction, etc. internally; once all the required equation input variables are available.

"Source: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, AASHTO July 2008".

ANEXO B

Requerimiento de propiedades de materiales para base granular y subrasante definido por la metodología MEPDG para pavimentos nuevos.

Table 11-9. Unbound Aggregate Base, Subbase, Embankment, and Subgrade Soil Material Requirements and Test Protocols for New and Existing Materials

Design Type	Measured Property	Source of Data		Recommended Test Protocol and/or Data Source
		Test	Estimate	
New (lab samples) and existing (extracted materials)	Two Options: Regression coefficients k_1, k_2, k_3 for the generalized constitutive model that defines resilient modulus as a function of stress state and regressed from laboratory resilient modulus tests. Determine the average design resilient modulus for the expected in-place stress state from laboratory resilient modulus tests.	X		AASHTO T 307 or NCHRP 1-28A The generalized model used in MEPDG design procedure is as follows: $Mr = k_1 p_a \left(\frac{\theta}{p_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{p_a} + 1 \right)^{k_3}$ Where: Mr = resilient modulus, psi θ = bulk stress σ_1 = major principal stress σ_2 = intermediate principal stress σ_3 = minor principal stress confining pressure τ_{oct} = octahedral shear stress $\frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$ p_a = normalizing stress k_1, k_2, k_3 = regression constants
	Poisson's ratio		X	No national test standard, use default values included in the MEPDG.
	Maximum dry density	X		AASHTO T 180
	Optimum moisture content	X		AASHTO T 180
	Specific gravity	X		AASHTO T 100
	Saturated hydraulic conductivity	X		AASHTO T 215
	Soil water characteristic curve parameters	X		Pressure plate (AASHTO T 99) OR Filter paper (AASHTO T 180) OR Tempe cell (AASHTO T 100)
Existing material to be left in place	FWD backcalculated modulus	X		AASHTO T 256 and ASTM D 5858
	Poisson's ratio		X	No national test standard, use default values included in the MEPDG.

"Source: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, AASHTO July 2008".

Table 11-10. Recommended Levels 2 and 3 Input Parameters and Values for Unbound Aggregate Base, Subbase, Embankment, and Subgrade Soil Material Properties

Required Input	Recommended Input Level			
Resilient Modulus	Use Level 3 inputs based on the unbound aggregate base, subbase, embankment, and subgrade soil material AASHTO Soil Classification. AASHTO Soil Class is determined using material gradation, plasticity index, and liquid limit.			
	AASHTO Soil Classification	Recommended Resilient Modulus at Optimum Moisture (AASHTO T 180), psi		
		Base/Subbase for Flexible and Rigid Pavements	Embankment and Subgrade for Flexible Pavements	Embankment and Subgrade for Rigid Pavements
	A-1-a	40,000	29,500	18,000
	A-1-b	38,000	26,500	18,000
	A-2-4	32,000	24,500	16,500
	A-2-5	28,000	21,500	16,000
	A-2-6	26,000	21,000	16,000
	A-2-7	24,000	20,500	16,000
	A-3	29,000	16,500	16,000
	A-4	24,000	16,500	15,000
	A-5	20,000	15,500	8,000
	A-6	17,000	14,500	14,000
	A-7-5	12,000	13,000	10,000
A-7-6	8,000	11,500	13,000	
	Note: 1. The resilient modulus is converted to a k-value internally within the software for evaluating rigid pavements. 2. The resilient modulus values at the time of construction for the same AASHTO soil classification are different under flexible and rigid pavements because the stress-state under these pavements is different. Soils are stress dependent and the resilient modulus will change with changing stress-state (refer to Table 11-9). The default values included in the MEPDG software were estimated as the median value from the test sections included in the LTPP database and used engineering judgment. These default values can be used assuming the soils are at the maximum dry density and optimum water content as defined from AASHTO T 180.			
Maximum dry density	Estimate using the following inputs: gradation, plasticity index, and liquid limit			
Optimum moisture content	Estimate using the following inputs: gradation, plasticity index, and liquid limit			
Specific gravity	Estimate using the following inputs: gradation, plasticity index, and liquid limit			
Saturated hydraulic conductivity	Select based on the following inputs: gradation, plasticity index, and liquid limit			
Soil water characteristic curve parameters	Select based on aggregate/subgrade material class			

"Source: Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, AASHTO July 2008".

ANEXO C

Factores de ajuste de nivel de nodo según el EICM.

Adjustment Factors at Node Level

The computation of the adjustment factors for each specific case (frozen, recovering, unfrozen) at the node level follows:

F_F – Adjustment Factor for Frozen Materials

The value of F_F is computed at each node at which a freezing temperature occurs. Table 2.3.11 presents the procedure in the Design Guide to estimate this parameter.

Table 2.3.11. Summary of computations made by the EICM to determine adjustment factor for frozen material, F_F .

Step No.	Description
1	From user entered P_{200} , PI , and D_{60} , compute $P_{200} * PI$.
2	Obtain an estimated value of $M_{R_{opt_est}}$ (user input). $M_{R_{opt}}$ is either a direct user input or can be estimated from other engineering properties such as CBR, R-value, structural layer coefficients (a_i), Penetration Index, or from gradation parameters as explained in PART 2, Chapter 2.
3	Assign values for the Frozen Resilient Modulus, $M_{R_{fz}}$ (7): a) If $P_{200} * PI = 0$ $M_{R_{fz}} = 2.5 X 10^6 \text{ psi}$ b) If $P_{200} * PI > 0$ $M_{R_{fz}} = 1 X 10^6 \text{ psi}$
4	Compute the frozen adjustment factor, F_F (7): $F_F = \frac{M_{R_{fz}}}{M_{R_{opt_est}}}$

F_R – Adjustment Factor for Recovering Materials

The value of F_R is computed at each node at which freezing temperatures do not occur and the recovery ratio RR is < 1 . Table 2.3.12 presents the procedure implemented in the Design Guide software to estimate this parameter.

F_U – Adjustment Factor for Unfrozen or Fully Recovered Materials

Table 2.3.13 presents the procedure implemented in the Design Guide software to estimate F_U .

Table 2.3.12. Summary of computations made by the EICM to determine adjustment factor for recovering material, F_R .

Step No.	Description
1	Obtain user input gradation parameters P_{200} , P_4 , PI , and D_{60} as well as estimated depth to water table, y_{GWT} . Compute $P_{200} * PI$.
2	<p>Compute Recovery Ratio, RR:</p> $RR = \frac{\Delta t}{T_R}$ <p>where,</p> <p>Δt = number of hours elapsed since thawing started</p> <p>T_R, the recovery period, is a function of the material properties:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $T_R = 90$ days for sands/gravels with $P_{200} * PI < 0.1$; - $T_R = 120$ days for silts/clays with $0.1 < P_{200} * PI < 10$; and, - $T_R = 150$ days for clays with $P_{200} * PI > 10$.
3	Compute S_{opt} as discussed in table 2.3.3 for Level 2 or as in equation 2.3.2 for Level 1.
4	<p>Compute S_{equil} from the SWCC (9):</p> $S_{equil} = C(h) \times \frac{1}{\left[\ln \left[\text{EXP}(1) + \left(\frac{h}{a_f} \right)^{b_f} \right] \right]^{c_f}}$ $C(h) = 1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{h}{h_r} \right)}{\ln \left(1 + \frac{1.45 \times 10^5}{h_r} \right)}$ <p>where: $h = y_{GWT} * \gamma_{water}$, in psi</p> <p>$a_f$(psi), b_f, c_f, and h_r (psi) are calculated as in table 2.3.6.</p>
5	<p>Compute R_{equil} value as (5):</p> $\log R_{equil} = \log \frac{M_{Requil}}{M_{Ropt}} = a + \frac{b - a}{1 + \text{EXP} \left[\ln \left(-\frac{b}{a} \right) + k_m (S_{equil} - S_{opt}) \right]}$ <p>where: a, b, and k_m are constants from table 2.3.8.</p>
6	Compute the RF value as a function of PI , P_4 , and P_{200} from tables 2.3.9 and 2.3.10.
7	<p>Compute the factor for recovering material, F_R (7):</p> <p>If $(S_{equil} - S_{opt}) < 0$:</p> $F_R = RF + R_{equil} * RR - RR * RF$ <p>If $(S_{equil} - S_{opt}) > 0$:</p> $F_R = R_{equil} (RF + RR - RR * RF)$

Table 2.3.13. Summary of computations made by the EICM to determine adjustment factor for unfrozen or fully recovered material, F_U .

Step No.	Description
1	Compute S_{opt} as discussed in table 2.3.3 for Level 2 or as in equation 2.3.2 for Level 1.
2	<p data-bbox="491 517 1230 566">Compute the adjustment factor for unfrozen or fully recovered material, F_U (S):</p> $ \log F_U = \log \frac{M_R}{M_{Ropt}} = a + \frac{b - a}{1 + EXP \left[\ln \left(-\frac{b}{a} \right) + k_m (S - S_{opt}) \right]} $ <p data-bbox="564 674 1118 719">where: a, b, and k_m are constants from table 2.3.8. S is the estimated degree of saturation at any node.</p>

ANEXO D

Estaciones Meteorológicas Aeronáuticas de Corpac S.A.

N°	Abrev. OACI	Núm. OMM	NOMBRE ESTACIÓN	Lat. S	Long. W	Elevación m	Horas de Observ. Z	N° METARES Diarios	Obs. Sinópticas										N° Sinópticos Diarios	TAFs				N°TAFs Diarios	R.Sonda TEMP 12z	CLIMAT Mensual	
									0	3	6	9	12	15	18	21	0	6		12	18						
1	SPME	370	TUMBES	03°33'	80°23'	25	12-03	16	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X	3			X	
2	SPQT	377	IQUITOS	03°47'	73°18'	125	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
3	SPYL	390	TALARA	04°34'	81°15'	85	13-21	9					X	X	X	X							2			X	
4	SPUR	401	PIURA	05°12'	80°36'	49	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
5	SPJE	410	JAÉN	05°35'	78°46'	755	13-21	9														X	X	2			
6	SPMS	425	YURIMAGUAS	05°53'	76°07'	179	12-23	12					X	X	X	X						X	X	2			X
7	SPPY	444	CHACHAPOYAS	06°12'	77°51'	2435	13-21	9					X	X	X	X											X
8	SPHI	452	CHICLAYO	06°47'	79°49'	29	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
9	SPST	455	TARAPOTO	06°30'	76°22'	281	12-03	16	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X	3			X	
10	SPJR	472	CAJAMARCA	07°08'	78°29'	2620	09-23	15					X	X	X	X						X	X	2			X
11	SPJI	474	JUANJUÍ	07°10'	76°43'	350	13-21	9					X	X	X	X						X	X	2			X
12	SPRU	501	TRUJILLO	08°05'	79°06'	26	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
13	SPCL	515	PUCALLPA	08°22'	74°34'	148	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
14	SPEO	531	CHIMBOTE	09°08'	78°31'	20	13-21	9					X	X	X	X											X
15	SPGM	534	TINGO MARÍA	09°17'	76°00'	664	13-21	9					X	X	X	X						X	X	2			X
16	SPHZ	542	ANTA/HUARÁZ	09°21'	77°36'	2759	10-18	9					X	X	X	X											X
17	SPNC	564	HUANUCO	09°52'	76°12'	1859	13-22	10					X	X	X	X											X
18	SPAY	583	ATALAYA	10°43'	73°46'	274	13-21	9																			
19	SPMF	580	MAZAMARI	11°20'	74°33'	685	13-23	11																			
20	SPJJ	605	JAUJA	11°46'	75°28'	3324	10-23	14																			
21	SPIM	628	LIMA/CALLAO	12°01'	77°07'	12	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4		RS		
22	SPTU	658	P.MALDONADO	12°36'	69°13'	200	11-23	13					X	X	X	X						X	X	2			X
23	SPHO	673	AYACUCHO	13°09'	74°12'	2740	10-23	14					X	X	X	X						X	X	2			X
24	SPZO	686	CUSCO	13°32'	71°56'	3248	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
25	SPHY	688	ANDAHUAYLAS	13°42'	73°21'	3444	10-19	10					X	X	X	X						X	X	2			X
26	SPSO	691	PISCO	13°44'	76°13'	6	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
27	SPZA	720	NASCA	14°51'	74°57'	567	11-23	13					X	X	X	X						X	X	2			X
28	SPJL	735	JULIACA	15°28'	70°09'	3826	11-24	14	X				X	X	X	X						X	X	3			X
29	SPQU	752	AREQUIPA	16°20'	71°34'	2539	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	
30	SPLO	773	ILO	17°41'	71°21'	9	13-21	9					X	X	X	X						X	X	2			X
31	SPTN	782	TACNA	18°03'	70°16'	468	00-24	24	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	4			X	

ANEXO E

Presupuesto por información meteorológica – SENAMHI



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

2007-2016 DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERU
AÑO DE LA DIVERSIFICACION PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACION

PRESUPUESTO N° : 201509000002 - SENAMHI / OSC - 2015

INFORMACION METEOROLOGICA

ELMER JAIME MAXIMILIANO VELASQUEZ

Atención: ELMER MAXIMILIANO

ESTACION	PARAMETRO	PERIODO	COSTO S/.	
			PARCIAL	SUBTOTAL
CAMPO DE MARTE <i>Long. 77° 2' - Lat. 12° 4'</i> <i>Alt. 123 m.s.n.m.</i> <i>Dist. JESUS MARIA</i> <i>Prov. LIMA</i> <i>Dpto. LIMA</i>	HORAS DE SOL TOTAL DIARIA	ENERO 2013 - DICIEMBRE 2014	184.80	394.32
	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL	2013-2014	24.72	
	PRECIPITACION TOTAL DIARIA	ENERO 2013 - DICIEMBRE 2014	184.80	

Monto :	S/. 394.32
IGV 18% :	0.00
Total :	S/. 394.32

Atendido por: Sr(a). VIVIANNA PALOMINO

01 de Septiembre del 2015

Sede: Jr. Cahuide N° 785 Jesus Maria - Telefax: 4702867
email: osc@senamhi.gob.pe



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

2007-2016 DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERU
AÑO DE LA DIVERSIFICACION PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACION

PRESUPUESTO N° : 201508000067 - SENAMHI / OSC - 2015

INFORMACION HORARIA

ELMER JAIME MAXIMILIANO VELASQUEZ

Atención: ELMER MAXIMILIANO

Estación / Zona	Descripción	Costo S/.
CAMPO DE MARTE	TEMPERATURA, DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO, PERIODO: ENERO A DICIEMBRE 2013, ENERO, ABRIL Y DE JULIO A DICIEMBRE 2014	1,862.94

Monto	:	S/. 1,862.94
IGV 18%	:	0.00
Total	:	S/. 1,862.94

Atendido por: Sr(a). VIVIANNA PALOMINO

01 de Septiembre del 2015

Sede: Jr. Cahuide N° 785 Jesus Maria - Telefax: 4702867
email: osc@senamhi.gob.pe



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

2007-2016 DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERU
AÑO DE LA DIVERSIFICACION PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACION

PRESUPUESTO N° : 201508000067 - SENAMHI / OSC - 2015

INFORMACION HORARIA

ELMER JAIME MAXIMILIANO VELASQUEZ

Atención: ELMER MAXIMILIANO

Estación / Zona	Descripción	Costo S/.
CAMPO DE MARTE	TEMPERATURA, H.RELATIVA, DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO, PERIODO: ENERO A DICIEMBRE 2013, ENERO, ABRIL Y DE JULIO A DICIEMBRE 2014	2,483.92

Monto	:	S/. 2,483.92
IGV 18%	:	0.00
Total	:	S/. 2,483.92

Atendido por: Sr(a). VIVIANNA PALOMINO

11 de Agosto del 2015

Sede: Jr. Cahuide N° 785 Jesus Maria - Telefax: 4702867
email: osc@senamhi.gob.pe



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

2007-2016 DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERU
AÑO DE LA DIVERSIFICACION PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACION

PRESUPUESTO N° : 201509000002 - SENAMHI / OSC - 2015

INFORMACION METEOROLOGICA

ELMER JAIME MAXIMILIANO VELASQUEZ

Atención: ELMER MAXIMILIANO

ESTACION	PARAMETRO	PERIODO	COSTO S/.	
			PARCIAL	SUBTOTAL
CAMPO DE MARTE <i>Long. 77° 2' - Lat. 12° 4'</i> <i>Alt. 123 m.s.n.m.</i> <i>Dist. JESUS MARIA</i> <i>Prov. LIMA</i> <i>Dpto. LIMA</i>	HORAS DE SOL TOTAL DIARIA	ENERO 2013 - DICIEMBRE 2014	184.80	394.32
	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL	2013-2014	24.72	
	PRECIPITACION TOTAL DIARIA	ENERO 2013 - DICIEMBRE 2014	184.80	

Monto :	S/.	394.32
IGV 18% :		0.00
Total :	S/.	394.32

Atendido por: Sr(a). VIVIANNA PALOMINO

01 de Septiembre del 2015

Sede: Jr. Cahuide N° 785 Jesus Maria - Telefax: 4702867
email: osc@senamhi.gob.pe

Fwd: CONSULTA SENAMHI

A

Atención al Ciudadano - SENAMHI <osc.senamhi@gmail.com>

Responder|

lun 18/09/2017 09:38 a.m.

Para:

carlos10_1771@hotmail.com

FORMATO DE SOLICITUD TUSNE.xlsx	ANEXO 01.pdf	ANEXO 02.pdf	ANEXO 03.pdf
14 KB	151 KB	166 KB	99 KB

Mostrar todos 4 archivos adjuntos (430 KB) Descargar todo

Guardar todo en OneDrive - Personal

Estimado:

Reciba un cordial saludo y en relación a su consulta le comunico que existen tres formas para obtener información:

1. Gratuita, desde la página web, puede ubicar cierta información que está disponible de libre acceso al público en el siguiente link: <http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica> o <http://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Elija el departamento de su interés y ubique la Estación más cercana a su zona de consulta.

2. Pagada, la data meteorológica tiene un costo, si desea un presupuesto, sírvase remitir el formato adjunto (formato de solicitud TUSNE) por este medio. De aprobarlo, realiza el pago correspondiente y en un plazo de 05 a 07 días se le entregará la información impresa.

3. Gratuita, presentando documentos: El SENAMHI otorga el apoyo a los estudiantes, tesis e investigadores liberando del costo de la información si cumplen con los siguientes requisitos:

- Solicitud, dirigida al Secretario General del SENAMHI (anexo 01), en el caso de que solicita la información en la Sede Central, y dirigida al Director Zonal (anexo 02), en el caso de que solicita la información en provincia.

Adicionalmente:

Si es estudiante;

- Carta membretada de la autoridad universitaria competente (rector de la universidad, decano de la facultad y director de la escuela) presentando al estudiante y su requerimiento.

Si es tesista;

- Carta membretada de la autoridad universitaria competente (rector de la universidad, decano de la facultad y director de la escuela de post grado), aprobando el proyecto de tesis.

- Resumen del proyecto de tesis.

- Declaración jurada (anexo 03) del uso exclusivo de la información hidrometeorológica para fines de formulación y desarrollo de la tesis, la misma que debe consignar al SENAMHI como fuente de información.

Si es investigador sin fines de lucro;

- Resumen y justificación del trabajo de investigación.

- Declaración jurada (anexo 03) del investigador con el compromiso de uso exclusivo de la información hidrometeorológica, para fines de formulación y trabajo de investigación, la misma que debe consignar al SENAMHI como fuente de información.

Estos documentos deberá presentarlos en Mesa de Partes del SENAMHI. El tiempo estimado para su atención es de dos semanas. La información será remitida a su correo electrónico en formato excel.

El horario de atención es de Lunes a Viernes de 08:30 - 13:00 y de 14:00 - 17:15

NOTA: La información que se otorga a estudiantes es de máximo 05 años a nivel mensual (01 dato por mes) y para **tesistas** de 10 años (01 dato por mes).

Cualquier consulta adicional, estaré atenta.

Atte.--

Nota: Este es un correo alternativo al oficial, por favor sírvase responder con copia a sg5@senamhi.gob.pe.

Unidad Funcional Operativa de Atención al Ciudadano

Secretaría General - SENAMHI

Tel: 4702867

@ : sg5@senamhi.gob.pe

ANEXO F

Requerimientos Mínimos de Información climática, mensual, diario y horario.

PARAMETRO	FRECUENCIA	PERIODO	NUMERO DE DATOS	INFORMACION COMPLETA
PRECIPITACION	HORARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	17520	SI
TEMPERATURA DEL AIRE	HORARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	17520	SI
PORCENTAJE NUBOSIDAD	HORARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	17520	SI
VELOCIDAD DEL VIENTO	HORARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	17520	SI
NIVEL FREÁTICO (*)	HORARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	17520	SI
SALIDA Y PUESTA DE SOL	DIARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	1460	SI
HUMEDA RELATIVA	MENSUAL	ENERO 2013 - DIC 2014	24	SI
RADIACIÓN SOLAR	DIARIO	ENERO 2013 - DIC 2014	730	SI

Factor	Descripción	Unidades	Frecuencia
Factores Horarios	Precipitación	Pulg	Horaria
	Temperatura del aire	°F	Horaria
	nubosidad	%	Horaria
	viento	millas/h	Horaria
	Nivel Freático	Pie - Ft	Horaria
Otros Factores	Salida y puesta de Sol	Hora en Decimal	Diaria
	Humedad Relativa	%	Mensual
	Radiación Solar	But/(ft ² *dia)	Diaria
	Coordenadas Geodésicas	Altura en (ft)	-

ANEXO G

Resultados del Ensayo a Escala Real Acelerado Lanamme UCR.

IRI - COSTA RICA

MESALs	AC1	AC2	AC3	AC4
0	1.75	1.10	0.98	1.18
0.4	1.73	1.12	0.98	1.18
0.8	1.76	1.20	0.99	1.18
1.2	1.80	1.30	0.99	1.19
1.6	1.87	1.59	1.00	1.19
2	1.96	1.80	1.01	1.19
2.4	2.00	1.97	1.02	1.19
2.8	2.05	2.00	1.02	1.19
3.2	2.09	2.05	1.03	1.20
3.6	2.12	2.10	1.04	1.20
4	2.12	2.15	1.10	1.20
4.4	2.14	2.18	1.13	1.20
4.8	2.16	2.20	1.15	1.20
5.2	2.18	2.24	1.20	1.21
5.6	2.18	2.26	1.21	1.21
6	2.19	2.28	1.22	1.21
6.4	2.20	2.30	1.23	1.21
6.8	2.20	2.33	1.25	1.21
7.2	2.21	2.38	1.28	1.21
7.6	2.22	2.45	1.30	1.21
8	2.23	2.50	1.31	1.22
8.4	2.24	2.53	1.33	1.22
8.8	2.26	2.55	1.38	1.22
9.2	2.28	2.56	1.42	1.22
9.6	2.28	2.59	1.45	1.22
10	2.35	2.63	1.47	1.22

DEFORMACION PERMANENTE - COSTA RICA

MESALs	AC1	AC2	AC3	AC4
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	1.57	2.03	1.60	1.20
0.8	2.46	4.04	2.20	1.45
1.2	2.82	5.50	2.50	1.67
1.6	3.30	6.50	2.70	1.69
2	3.83	7.52	3.00	1.70
2.4	4.22	8.50	3.21	1.80
2.8	4.81	8.94	3.34	1.86
3.2	5.10	9.37	3.45	1.87
3.6	5.36	9.63	3.57	1.94
4	5.60	9.98	3.76	2.01
4.4	5.90	10.30	3.83	2.02
4.8	6.28	10.52	3.88	2.03
5.2	6.56	10.70	4.06	2.05
5.6	6.92	10.80	4.25	2.05
6	7.27	10.93	4.42	2.05
6.4	7.40	11.00	4.65	2.06
6.8	7.62	11.37	4.73	2.07
7.2	7.85	11.45	4.87	2.07
7.6	8.00	11.70	4.91	2.08
8	8.23	12.34	5.02	2.08
8.4	8.42	12.58	5.13	2.09
8.8	8.66	12.89	5.21	2.09
9.2	8.88	13.24	5.35	2.10
9.6	9.15	13.51	5.43	2.10
10	9.34	13.83	5.54	2.11

ANEXO H
Estructura METAR.

KLAX 192353Z 26015KT 10SM FEW010 FEW150 SCT250 23/18 A2991 RMK AO2

Aeropuerto
Internacional
de Los
Ángeles

Día: 19 de mes
Hora: 23:53 en
horario Zulu
(UTC)

Dirección de
viento: 260°
Intensidad:
15 nudos

10 millas
estatutarias
de visibilidad

Algunas nubes: 1000
ft. (AGL)
Algunas nubes: 15000
ft. (AGL)

Medio nublado:
25000 ft. (AGL)

Altímetro:
29.92 Hg

Temperatura:
23°C
Punto de rocío:
18°C

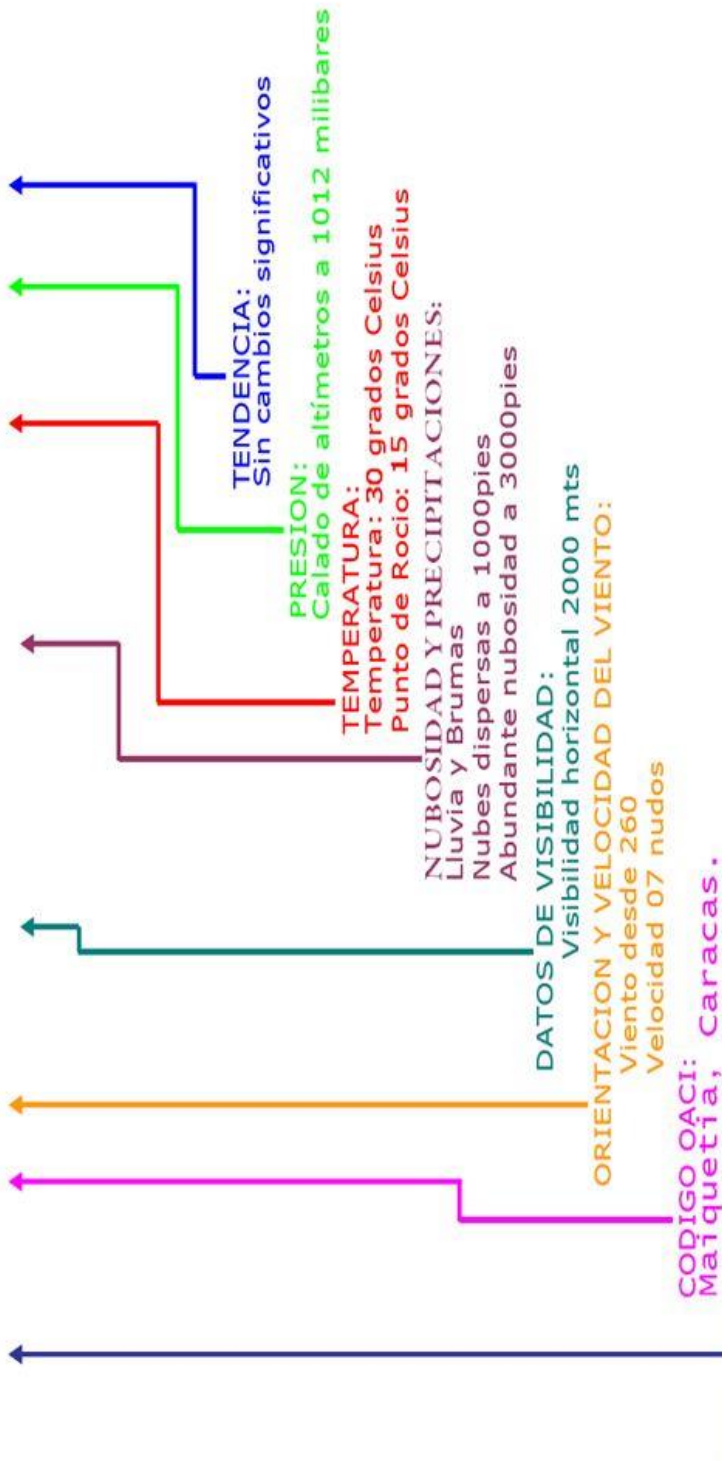
Observaciones:
AO2 (Estación
automatizada
con sensor de
precipitación)



METAR

Interpretación

290800Z SVMII 26007KT 2000 -RA BR SCT010 BKN030 30/15 Q1012 NOSIG





























Siglas METAR	
MI Shallow	BR Mist
PR Partial	FG Fog
BC Patches	FU Smoke
DR Low Drifting	VA Volcanic Ash
BL Blowing	DU Widespread Dust
SH Shower(s)	SA Sand
TS Thunderstorm	HZ Haze
FZ Freezing	PY Spray
DZ Drizzle	PO Well-Developed Dust/Sand Whirls
RA Rain	
SN Snow	SQ Squalls
SG Snow Grains	FC Funnel Cloud Tornado Waterspout
IC Ice Crystals	
PL Ice Pellets	SS Sandstorm
GR Hail	DS Duststorm
GS Small Hail and/or Snow Pellets	
UP Unknown Precipitation	

Calificador		Fenomenos Meteorológicos		
Intensidad o Proximidad	Descriptor	Precipitación	Oscurecimiento	Otros
- Leve	MI Baja	DZ Llovizna	BR Neblina	PO Remolinos Polvo/Arena
Moderado (Sin calificador)	BC Bancos	RA Lluvia	FG Niebla	
	PR Parcial	SN Nieve	FU Humo	SQ Turbonada
+ Fuerte	DR Levantado por el viento a poca altura	SG Granos de nieve	VA Cenizas volcánicas	FC Tornado o tromba marina
VC En las proximidades		IC Cristales de hielo	DU Polvo	
	BL (Blowing) Levantado por el viento a cierta altura	PL Hielo granulado	SA Arena	SS Tempestad de arena
		GR Granizo	HZ Calima	
		SH Chubascos	GS Granizo pequeño o nieve	DS Tempestad de polvo
		TS Tormenta		
		FZ Engelante	UP Precipitación desconocida	

ANEXO I

Datos para el Archivo climático virtual “Región Cusco-PE.icm”.

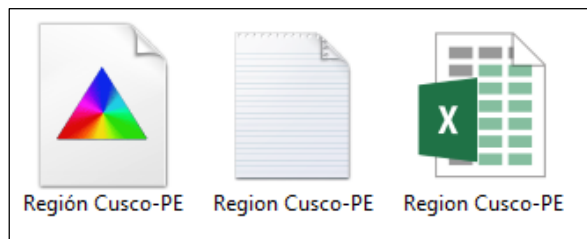
 01 ENERO 13	23/09/2017 10:32 ...	Documento de tex...	69 KB
 02 FEBRERO 13	24/09/2017 07:04 ...	Documento de tex...	64 KB
 03 MARZO 13	24/09/2017 12:01 a...	Documento de tex...	69 KB
 04 ABRIL 13	24/09/2017 12:11 a...	Documento de tex...	61 KB
 05 MAYO 13	24/09/2017 12:59 a...	Documento de tex...	62 KB
 06 JUNIO 13	24/09/2017 01:09 a...	Documento de tex...	63 KB
 07 JULIO 13	24/09/2017 01:19 a...	Documento de tex...	62 KB
 08 AGOSTO 13	24/09/2017 01:30 a...	Documento de tex...	63 KB
 09 SETIEMBRE 13	24/09/2017 01:43 a...	Documento de tex...	63 KB
 10 OCTUBRE 13	24/09/2017 09:08 a...	Documento de tex...	68 KB
 11 NOVIEMBRE 13	24/09/2017 10:28 a...	Documento de tex...	66 KB
 12 DICIEMBRE 13	24/09/2017 11:23 a...	Documento de tex...	69 KB
 Ext-Inf-2013	26/09/2017 02:22 ...	Hoja de cálculo d...	1,364 KB

 01 ENERO 14	23/09/2017 11:48 ...	Documento de tex...	71 KB
 02 FEBRERO 14	24/09/2017 12:18 a...	Documento de tex...	70 KB
 03 MARZO 14	24/09/2017 12:54 a...	Documento de tex...	69 KB
 04 ABRIL 14	24/09/2017 11:24 a...	Documento de tex...	64 KB
 05 MAYO 14	24/09/2017 11:25 a...	Documento de tex...	64 KB
 06 JUNIO 14	24/09/2017 11:25 a...	Documento de tex...	64 KB
 07 JULIO 14	24/09/2017 11:32 a...	Documento de tex...	65 KB
 08 AGOSTO 14	24/09/2017 11:45 a...	Documento de tex...	63 KB
 09 SETIEMBRE 14	24/09/2017 11:58 a...	Documento de tex...	65 KB
 10 OCTUBRE 14	24/09/2017 12:13 ...	Documento de tex...	69 KB
 11 NOVIEMBRE 14	24/09/2017 12:31 ...	Documento de tex...	71 KB
 12 DICIEMBRE 14	24/09/2017 12:50 ...	Documento de tex...	76 KB
 Ext-Inf-2014	26/09/2017 04:27 ...	Hoja de cálculo d...	1,552 KB


```

Region Cusco-PE: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
19960701-19980631
-71.96,13.52,11053,30,-1,-1,-1,-1,54.4,0,0,66.70,68.53,65.50,60.44,57.99,55.5
7 1 1996 5.40000 18.2833 1981.24
0 55.4 0 6 50 10
1 53.6 0 1 25 10
2 51.8 0 0 50 10
3 53.6 0 7 50 10
4 53.6 0 2 50 10
5 48.2 0 7 50 10
6 48.2 0 0 50 10
7 48.2 0 5 50 10
8 48.2 0 0 50 10
9 48.2 0 0 75 10
10 48.2 0 3 75 10
11 48.2 0 6 75 10
12 51.8 0 2 75 10
13 55.4 0 6 75 10
14 59 0 3 50 10
15 62.6 0 2 50 10
16 64.4 0 5 50 10
17 66.2 0 6 50 10
18 68 0 12 50 10
19 66.2 0 15 75 10
20 66.2 0 12 75 10
21 60.8 0 10 75 10
22 57.2 0 7 75 10
23 55.4 0 9 75 10
7 2 1996 5.40000 18.3000 1981.24
0 55.4 0 0 25 10
1 51.8 0 0 25 10
2 51.8 0 0 50 10
3 51.8 0 0 50 10
4 51.8 0 0 50 10
5 51.8 0 0 50 10
6 51.8 0 0 50 10
7 50 0 7 50 10
8 48.2 0 6 50 10
9 46.4 0 13 75 10
10 44.6 0 3 75 10
11 46.4 0 3 75 10
12 48.2 0 1 75 10
13 48.2 0 5 75 10
14 51.8 0 0 75 10
15 55.4 0 2 75 10
16 60.8 0 5 75 10
17 62.6 0 7 75 10
18 66.2 0 7 75 10
19 68 0 5 75 10

```



ANEXO J

Datos recolectados de tráfico.



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Provincias Nacionales

CUADRO COMPARATIVO DE LOS AÑOS 2013-2014-2015 DEL FLUJO VEHICULAR UNIDAD DE PEAJE : SOCOS

AÑOS 2013-2014-2015	VEHICULOS PESADOS																		TOTAL					
	2 EJES			3 EJES			4 EJES			5 EJES			6 EJES			7 EJES			2013	2014	2015			
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015						
ENE	7,330	8,665	10,039	1,885	1,882	1,585	1,693	2,263	2,474	653	662	630	255	192	234	991	1,451	1,643	18	8	8	12,795	15,143	16,593
FEB	7,984	8,588	11,147	1,792	1,748	1,634	1,753	2,288	2,466	699	659	658	177	188	205	919	1,330	1,584	8	3	11	13,332	14,804	17,705
MAR	10,153	9,856	10,338	2,244	2,018	1,896	2,026	2,407	2,698	751	701	651	214	220	256	1,045	1,519	1,711	9	7	19	16,442	16,728	17,569
ABR	7,330	11,865	13,035	2,245	1,997	2,014	1,923	2,312	2,595	619	632	576	255	223	233	1,137	1,477	1,729	11	8	25	13,520	18,514	20,207
MAY	8,415	9,307	10,907	2,419	1,919	1,955	1,986	2,284	2,664	622	612	595	242	245	241	1,282	1,617	1,860	20	10	36	14,986	15,994	18,258
JUN	8,062	9,027	10,000	2,220	1,574	1,791	1,971	2,204	2,429	683	590	567	249	217	210	1,377	1,654	1,718	14	6	13	14,576	15,272	16,728
JUL	9,572	11,259	12,973	2,292	1,961	1,961	2,100	2,546	2,766	697	673	658	279	206	245	1,502	1,607	1,964	26	8	28	16,468	18,260	20,595
AGO	9,792	10,875	12,043	2,189	2,085	1,912	2,241	2,706	2,927	751	695	691	306	237	259	1,550	1,843	2,119	35	24	11	16,864	18,465	19,962
SET	8,839	9,948	10,613	2,078	1,917	1,640	1,723	2,540	2,738	664	619	589	265	234	242	1,503	1,771	2,093	9	14	10	15,481	17,043	17,925
OCT	8,961	10,513	11,507	2,157	2,095	1,787	1,800	2,514	2,676	686	623	602	249	258	279	1,809	2,002	2,317	18	16	10	16,060	18,021	19,378
NOV	8,351	9,318	10,755	1,885	1,630	1,502	1,721	2,438	2,688	623	569	584	223	247	242	1,591	1,907	1,974	16	13	11	14,810	16,122	17,756
DIC	9,136	10,682	12,332	1,998	1,724	1,714	2,293	2,442	2,948	644	588	618	169	258	250	1,620	1,823	1,982	11	26	22	15,871	17,543	19,766
TOTALES	103,925	119,903	135,689	25,404	22,550	21,371	24,410	28,944	32,169	8,092	7,643	7,419	2,853	2,725	2,896	16,326	20,001	22,694	195	143	204	181,205	201,909	222,442

ANEXO K

Memoria de Cálculo con el Software “*Desing Guide 2002*” de los cuatro casos y de la carretera Ayacucho – Abancay.

Project: CASO1

General Information

Design Life 10 years
 Pavement construction month: October, 2017
 Traffic open month: January, 2018
 Type of design Flexible

Description:

Analysis Parameters

Analysis type Deterministic

Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	95	
Terminal IRI (in/mi)	222	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	100	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (ft ² /500 ft):	500	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/500):	100	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90

Default Input Level

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

Traffic

Two-way average annual daily truck traffic: 1467
 Number of lanes in design direction: 1
 Percent of trucks in design direction (%): 54
 Percent of trucks in design lane (%): 99
 Operational speed (mph): 38

Traffic -- Monthly Adjustment Factors

Monthly Adjustment Factors (Level 1, Site Specific - 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	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
February	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
March	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
April	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
June	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
July	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
August	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
September	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
October	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
November	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
December	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	0.0%
Class 5	100.0%
Class 6	0.0%
Class 7	0.0%
Class 8	0.0%
Class 9	0.0%
Class 10	0.0%
Class 11	0.0%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00 pm	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00 pm	3.1%

Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	5.5%	Compound
Class 5	5.5%	Compound
Class 6	5.5%	Compound
Class 7	5.5%	Compound
Class 8	5.5%	Compound
Class 9	5.5%	Compound
Class 10	5.5%	Compound
Class 11	5.5%	Compound
Class 12	5.5%	Compound
Class 13	5.5%	Compound

Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Site Specific -- normalized initial axle load distribution factors are summarized in worksheet:
 Level 1: "Initial LDF"

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	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

Axle Configuration

Single Tire (psi):	120
Dual Tire (psi):	120

Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

Climate

icm file:	C:\DG2002\Projects\keywest.icm
Latitude (degrees.minutes)	24.33
Longitude (degrees.minutes)	-81.45
Elevation (ft)	18
Depth of water table (ft)	15

Structure--Design Features

Structure--Layers

Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type:	Asphalt concrete
Layer thickness (in):	2.95

General Properties

<u>General</u>	
Reference temperature (F°):	70
Design frequency (Hz):	n/a

Volumetric Properties

Effective binder content (%): 11
Air voids (%): 8.5
Total unit weight (pcf): 148

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: 5
Cumulative % Retained #4 sieve: 25
% Passing #200 sieve: 4

Asphalt Binder

Option: Conventional viscosity grade
Viscosity Grade AC 40
A 10.5338 (correlated)
VTS: -3.5104 (correlated)

Layer 2 -- Cement Stabilized

General Properties

Material type: Cement Stabilized
Layer thickness (in): 9.84
Unit weight (pcf): 150
Poisson's ratio: 0.2

Strength Properties

Resilient modulus (psi): 174000

Thermal Properties

Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°) : 1.25
Heat capacity (BTU/lb-F°): 0.28

Layer 3 -- A-2-4

Unbound Material: A-2-4
Thickness(in): 11.81

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 20000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2
Passing #200 sieve (%): 20
Passing #4 sieve (%): 80
D60 (mm): 0.1

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 121.9 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.68 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.000866 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 11.7 (derived)
Calculated degree of saturation (%): 83.9 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	12.6
b	1.58
c	0.534
Hr.	412

Layer 4 -- A-6

Unbound Material: A-6
Thickness(in): Semi-infinite

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 10000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 25
Passing #200 sieve (%): 80
Passing #4 sieve (%): 95
D60 (mm): 0.01

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 100.8 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.75 (derived)

Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 6.52e-007 (derived)
 Optimum gravimetric water content (%): 22.6 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 88.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	174
b	1.05
c	0.707
Hr.	8190

Distress Model Calibration Settings - Flexible

AC Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
 k2 5
 k3 -1.4

AC Rutting Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 -3.15552
 k2 1.734
 k3 0.3993

Standard Deviation Total Rutting (RUT): RUT*1

Thermal Fracture Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 353.47

Std. Dev. (THERMAL): THERMAL*1

CTB Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
 k2 1

Subgrade Rutting Level 4 (Regionally calibrated values)

Granular:

k1 1
 Bs1 6.58

Fine-grain:

k1 1
 Bs1 0.28

AC Cracking

AC Top Down Cracking

C1 (top) 6
 C2 (top) 6

C3 (top)	50
C4 (top)	950
Standard Deviation (TOP)	TOP*1

AC Bottom Up Cracking

C1 (bottom)	6
C2 (bottom)	6
C3 (bottom)	15
C4 (bottom)	85

Standard Deviation (TOP) BOTTOM*1

CTB Cracking

C1 (CTB)	6
C2 (CTB)	6
C3 (CTB)	15
C4 (CTB)	85

Standard Deviation (CTB) CTB*1

IRI

IRI Flexible Pavements with GB

C1 (GB)	0.0463
C2 (GB)	0.00119
C3 (GB)	0.1834
C4 (GB)	0.00384
C5 (GB)	0.00736
C6 (GB)	0.00115
Std. Dev (GB)	0.0387

IRI Flexible Pavements with ATB

C1 (ATB)	0.009995
C2 (ATB)	0.000518
C3 (ATB)	0.00235
C4 (ATB)	18.36
C5 (ATB)	0.9694
Std. Dev (ATB)	0.292

IRI Flexible Pavements with CTB

C1 (CTB)	0.00732
C2 (CTB)	0.07647
C3 (CTB)	0.000145
C4 (CTB)	0.00842
C5 (CTB)	0.000212
Std. Dev (CTB)	0.229

Project: CASO2

General Information

Design Life 10 years
 Pavement construction month: October, 2017
 Traffic open month: January, 2018
 Type of design Flexible

Description:

Analysis Parameters

Analysis type Deterministic

Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	95	
Terminal IRI (in/mi)	222	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	100	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (ft ² /500 ft):	500	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/500):	100	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90

Default Input Level

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

Traffic

Two-way average annual daily truck traffic: 1281
 Number of lanes in design direction: 1
 Percent of trucks in design direction (%): 54
 Percent of trucks in design lane (%): 99
 Operational speed (mph): 38

Traffic -- Monthly Adjustment Factors

Monthly Adjustment Factors (Level 1, Site Specific - 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	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
February	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
March	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
April	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
June	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
July	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
August	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
September	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
October	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
November	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
December	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	0.0%
Class 5	100.0%
Class 6	0.0%
Class 7	0.0%
Class 8	0.0%
Class 9	0.0%
Class 10	0.0%
Class 11	0.0%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

Hourly truck traffic distribution

by period beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00 pm	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00 pm	3.1%

Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	5.5%	Compound
Class 5	5.5%	Compound
Class 6	5.5%	Compound
Class 7	5.5%	Compound
Class 8	5.5%	Compound
Class 9	5.5%	Compound
Class 10	5.5%	Compound
Class 11	5.5%	Compound
Class 12	5.5%	Compound
Class 13	5.5%	Compound

Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Site Specific -- normalized initial axle load distribution factors are summarized in Level 1: worksheet: "Initial LDF"

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	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

Axle Configuration

Single Tire (psi):	120
Dual Tire (psi):	120

Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

Climate

icm file:	C:\DG2002\Projects\keywest.icm
Latitude (degrees.minutes)	24.33
	-
Longitude (degrees.minutes)	81.45
Elevation (ft)	18
Depth of water table (ft)	15

Structure--Design Features

Structure--Layers

Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type:	Asphalt concrete
Layer thickness (in):	2.95

General Properties

<u>General</u>	
Reference temperature (F°):	70
Design frequency (Hz):	n/a

Volumetric Properties

Effective binder content (%): 11
Air voids (%): 8.5
Total unit weight (pcf): 148

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: 5
Cumulative % Retained #4 sieve: 25
% Passing #200 sieve: 4

Asphalt Binder

Option: Conventional viscosity grade
Viscosity Grade AC 40
A 10.5338 (correlated)
VTS: -3.5104 (correlated)

Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a
Thickness(in): 9.84

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 25000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 1
Passing #200 sieve (%): 3
Passing #4 sieve (%): 20
D60 (mm): 8

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 122.2 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.66 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 263 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 11.1 (derived)

Calculated degree of saturation (%): 82 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	11.1
b	1.83
c	0.51
Hr.	361

Layer 3 -- A-2-4

Unbound Material: A-2-4

Thickness(in): 11.81

Strength Properties

Input Level: Level 3

Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)

Poisson's ratio: 0.35

Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5

Modulus (input) (psi): 20000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2

Passing #200 sieve (%): 20

Passing #4 sieve (%): 80

D60 (mm): 0.1

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23

Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 121.9 (derived)

Specific gravity of solids, Gs: 2.68 (derived)

Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.000866 (derived)

Optimum gravimetric water content (%): 11.7 (derived)

Calculated degree of saturation (%): 83.9 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	12.6
b	1.58
c	0.534
Hr.	412

Layer 4 -- A-6

Unbound Material: A-6
Thickness(in): Semi-infinite

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 10000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 25
Passing #200 sieve (%): 80
Passing #4 sieve (%): 95
D60 (mm): 0.01

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 100.8 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.75 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 6.52e-007 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 22.6 (derived)
Calculated degree of saturation (%): 88.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	174
b	1.05
c	0.707
Hr.	8190

Distress Model Calibration Settings - Flexible

AC Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
k2 5
k3 -1.4

AC Rutting Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 -3.15552
k2 1.734
k3 0.3993

Standard Deviation Total RUT*1
Rutting (RUT):

Thermal Fracture Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 353.47

Std. Dev. (THERMAL): THERMAL*1

CTB Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 1
k2 1

Subgrade Rutting Level 4 (Regionally calibrated values)
Granular:
k1 1
Bs1 6.58
Fine-grain:
k1 1
Bs1 0.28

AC Cracking

AC Top Down Cracking

C1 (top) 6
C2 (top) 6
C3 (top) 50
C4 (top) 950

Standard Deviation (TOP) TOP*1

AC Bottom Up Cracking

C1 (bottom) 6
C2 (bottom) 6
C3 (bottom) 15
C4 (bottom) 85

Standard Deviation (TOP) BOTTOM*1

CTB Cracking

C1 (CTB) 6
C2 (CTB) 6
C3 (CTB) 15
C4 (CTB) 85

Standard Deviation (CTB) CTB*1

IRI

IRI Flexible Pavements with GB

C1 (GB) 0.0463
C2 (GB) 0.00119

C3 (GB)	0.1834
C4 (GB)	0.00384
C5 (GB)	0.00736
C6 (GB)	0.00115
Std. Dev (GB)	0.0387

IRI Flexible Pavements with ATB

C1 (ATB)	0.009995
C2 (ATB)	0.000518
C3 (ATB)	0.00235
C4 (ATB)	18.36
C5 (ATB)	0.9694
Std. Dev (ATB)	0.292

IRI Flexible Pavements with CTB

C1 (CTB)	0.00732
C2 (CTB)	0.07647
C3 (CTB)	0.000145
C4 (CTB)	0.00842
C5 (CTB)	0.000212
Std. Dev (CTB)	0.229

Project: CASO3

General Information

Design Life 10 years
 Pavement construction month: October, 2017
 Traffic open month: January, 2018
 Type of design Flexible

Description:

Analysis Parameters

Analysis type Deterministic

Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	95	
Terminal IRI (in/mi)	222	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	100	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (ft ² /500 ft):	500	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/500):	100	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90

Default Input Level

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

Traffic

Two-way average annual daily truck traffic: 1516
 Number of lanes in design direction: 1
 Percent of trucks in design direction (%): 54
 Percent of trucks in design lane (%): 99
 Operational speed (mph): 38

Traffic -- Monthly Adjustment Factors

Monthly Adjustment Factors (Level 1, Site Specific - 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	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
February	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
March	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
April	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
June	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
July	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
August	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
September	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
October	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
November	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
December	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	0.0%
Class 5	100.0%
Class 6	0.0%
Class 7	0.0%
Class 8	0.0%
Class 9	0.0%
Class 10	0.0%
Class 11	0.0%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

Hourly truck

by period
beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00 pm	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00 pm	3.1%

Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	5.5%	Compound
Class 5	5.5%	Compound
Class 6	5.5%	Compound
Class 7	5.5%	Compound
Class 8	5.5%	Compound
Class 9	5.5%	Compound
Class 10	5.5%	Compound
Class 11	5.5%	Compound
Class 12	5.5%	Compound
Class 13	5.5%	Compound

Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Site Specific -- normalized initial axle load distribution factors are summarized in Level 1: [worksheet: "Initial LDF"](#)

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	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

Axle Configuration

Single Tire (psi):	120
Dual Tire (psi):	120

Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

Climate

icm file:	C:\DG2002\Projects\keywest.icm
Latitude (degrees.minutes)	24.33
Longitude (degrees.minutes)	-81.45
Elevation (ft)	18
Depth of water table (ft)	15

Structure--Design Features

Structure--Layers

Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type:	Asphalt concrete
Layer thickness (in):	4.72

General Properties

<u>General</u>	
Reference temperature (F°):	70

Design frequency (Hz): n/a

Volumetric Properties

Effective binder content (%): 11
Air voids (%): 8.5
Total unit weight (pcf): 148

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: 5
Cumulative % Retained #4 sieve: 25
% Passing #200 sieve: 4

Asphalt Binder

Option: Conventional viscosity grade
Viscosity Grade AC 40
A 10.5338 (correlated)
VTS: -3.5104 (correlated)

Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a
Thickness(in): 9.84

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 25000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 1
Passing #200 sieve (%): 3
Passing #4 sieve (%): 20
D60 (mm): 8

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 122.2 (derived)

Specific gravity of solids, Gs: 2.66 (derived)
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 263 (derived)
 Optimum gravimetric water content (%): 11.1 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 82 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	11.1
b	1.83
c	0.51
Hr.	361

Layer 3 -- A-2-4

Unbound Material: A-2-4
 Thickness(in): 11.81

Strength Properties

Input Level: Level 3
 Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
 Poisson's ratio: 0.35
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
 Modulus (input) (psi): 20000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2
 Passing #200 sieve (%): 20
 Passing #4 sieve (%): 80
 D60 (mm): 0.1

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
 Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 121.9 (derived)
 Specific gravity of solids, Gs: 2.68 (derived)
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.000866 (derived)
 Optimum gravimetric water content (%): 11.7 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 83.9 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	12.6
b	1.58
c	0.534
Hr.	412

Layer 4 -- A-6

Unbound Material: A-6
Thickness(in): Semi-infinite

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 10000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 25
Passing #200 sieve (%): 80
Passing #4 sieve (%): 95
D60 (mm): 0.01

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 100.8 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.75 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 6.52e-007 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 22.6 (derived)
Calculated degree of saturation (%): 88.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	174
b	1.05
c	0.707
Hr.	8190

Distress Model Calibration Settings - Flexible

AC Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
k2 5
k3 -1.4

AC Rutting Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 -3.15552
k2 1.734
k3 0.3993

Standard Deviation Total Rutting (RUT): RUT*1

Thermal Fracture Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 353.47

Std. Dev. (THERMAL): THERMAL*1

CTB Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 1
k2 1

Subgrade Rutting Level 4 (Regionally calibrated values)
Granular:
k1 1
Bs1 6.58
Fine-grain:
k1 1
Bs1 0.28

AC Cracking

AC Top Down Cracking

C1 (top) 6
C2 (top) 6
C3 (top) 50
C4 (top) 950

Standard Deviation (TOP) TOP*1

AC Bottom Up Cracking

C1 (bottom) 6
C2 (bottom) 6
C3 (bottom) 15
C4 (bottom) 85

Standard Deviation (TOP) BOTTOM*1

CTB Cracking

C1 (CTB) 6
C2 (CTB) 6
C3 (CTB) 15
C4 (CTB) 85

Standard Deviation (CTB) CTB*1

IRI

IRI Flexible Pavements with GB

C1 (GB) 0.0463
C2 (GB) 0.00119

C3 (GB)	0.1834
C4 (GB)	0.00384
C5 (GB)	0.00736
C6 (GB)	0.00115
Std. Dev (GB)	0.0387

IRI Flexible Pavements with ATB

C1 (ATB)	0.009995
C2 (ATB)	0.000518
C3 (ATB)	0.00235
C4 (ATB)	18.36
C5 (ATB)	0.9694
Std. Dev (ATB)	0.292

IRI Flexible Pavements with CTB

C1 (CTB)	0.00732
C2 (CTB)	0.07647
C3 (CTB)	0.000145
C4 (CTB)	0.00842
C5 (CTB)	0.000212
Std. Dev (CTB)	0.229

Project: CASO4

General Information

Design Life 10 years
 Pavement construction month: October, 2017
 Traffic open month: January, 2018
 Type of design Flexible

Description:

Analysis Parameters

Analysis type Deterministic

Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	95	
Terminal IRI (in/mi)	222	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	100	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (ft ² /500 ft):	500	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/500):	100	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90

Default Input Level

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

Traffic

Two-way average annual daily truck traffic: 2952
 Number of lanes in design direction: 1
 Percent of trucks in design direction (%): 54
 Percent of trucks in design lane (%): 99
 Operational speed (mph): 38

Traffic -- Monthly Adjustment Factors

Monthly Adjustment Factors (Level 1, Site Specific - 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	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
February	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
March	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
April	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
June	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
July	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
August	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
September	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
October	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
November	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
December	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	0.0%
Class 5	100.0%
Class 6	0.0%
Class 7	0.0%
Class 8	0.0%
Class 9	0.0%
Class 10	0.0%
Class 11	0.0%
Class 12	0.0%
Class 13	0.0%

Hourly truck traffic distribution

by period
beginning:

Midnight	2.3%	Noon	5.9%
1:00 am	2.3%	1:00 pm	5.9%
2:00 am	2.3%	2:00 pm	5.9%
3:00 am	2.3%	3:00 pm	5.9%
4:00 am	2.3%	4:00 pm	4.6%
5:00 am	2.3%	5:00 pm	4.6%
6:00 am	5.0%	6:00 pm	4.6%
7:00 am	5.0%	7:00 pm	4.6%
8:00 am	5.0%	8:00 pm	3.1%
9:00 am	5.0%	9:00 pm	3.1%
10:00 am	5.9%	10:00 pm	3.1%
11:00 am	5.9%	11:00 pm	3.1%

Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	5.5%	Compound
Class 5	5.5%	Compound
Class 6	5.5%	Compound
Class 7	5.5%	Compound
Class 8	5.5%	Compound
Class 9	5.5%	Compound
Class 10	5.5%	Compound
Class 11	5.5%	Compound
Class 12	5.5%	Compound
Class 13	5.5%	Compound

Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Site Specific -- normalized initial axle load distribution factors are summarized in Level 1: [worksheet: "Initial LDF"](#)

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	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge) outside dimensions,ft): 8.5
 Dual tire spacing (in): 12

Axle Configuration

Single Tire (psi): 120
 Dual Tire (psi): 120

Average Axle Spacing

Tandem axle(psi): 51.6
 Tridem axle(psi): 49.2
 Quad axle(psi): 49.2

Climate

icm file: C:\DG2002\Projects\keywest.icm
 Latitude (degrees.minutes) 24.33
 Longitude (degrees.minutes) -81.45
 Elevation (ft) 18
 Depth of water table (ft) 15

Structure--Design Features

Structure--Layers

Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type: Asphalt concrete
 Layer thickness (in): 4.72

General Properties

General
 Reference temperature (F°): 70
 Design frequency (Hz): n/a

Volumetric Properties

Effective binder content (%): 11
Air voids (%): 8.5
Total unit weight (pcf): 148

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: 5
Cumulative % Retained #4 sieve: 25
% Passing #200 sieve: 4

Asphalt Binder

Option: Conventional viscosity grade
Viscosity Grade AC 40
A 10.5338 (correlated)
VTS: -3.5104 (correlated)

Layer 2 -- Cement Stabilized

General Properties

Material type: Cement Stabilized
Layer thickness (in): 9.84
Unit weight (pcf): 150
Poisson's ratio: 0.2

Strength Properties

Resilient modulus (psi): 174000

Thermal Properties

Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°) : 1.25
Heat capacity (BTU/lb-F°): 0.28

Layer 3 -- A-2-4

Unbound Material: A-2-4
Thickness(in): 11.81

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 20000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2
Passing #200 sieve (%): 20
Passing #4 sieve (%): 80
D60 (mm): 0.1

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 121.9 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.68 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.000866 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 11.7 (derived)
Calculated degree of saturation (%): 83.9 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	12.6
b	1.58
c	0.534
Hr.	412

Layer 4 -- A-6

Unbound Material: A-6
Thickness(in): Semi-infinite

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 10000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 25
Passing #200 sieve (%): 80
Passing #4 sieve (%): 95
D60 (mm): 0.01

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 100.8 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.75 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 6.52e-007 (derived)

Optimum gravimetric water content (%): 22.6 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 88.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	174
b	1.05
c	0.707
Hr.	8190

Distress Model Calibration Settings - Flexible

AC Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
 k2 5
 k3 -1.4

AC Rutting Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 -3.15552
 k2 1.734
 k3 0.3993

Standard Deviation Total Rutting (RUT): RUT*1

Thermal Fracture Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 353.47

Std. Dev. (THERMAL): THERMAL*1

CTB Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
 k2 1

Subgrade Rutting Level 4 (Regionally calibrated values)

Granular:

k1 1
 Bs1 6.58

Fine-grain:

k1 1
 Bs1 0.28

AC Cracking

AC Top Down Cracking

C1 (top) 6
 C2 (top) 6
 C3 (top) 50
 C4 (top) 950

Standard Deviation (TOP) TOP*1

AC Bottom Up Cracking

C1 (bottom)	6
C2 (bottom)	6
C3 (bottom)	15
C4 (bottom)	85

Standard Deviation (TOP) BOTTOM*1

CTB Cracking

C1 (CTB)	6
C2 (CTB)	6
C3 (CTB)	15
C4 (CTB)	85

Standard Deviation (CTB) CTB*1

IRI

IRI Flexible Pavements with GB

C1 (GB)	0.0463
C2 (GB)	0.00119
C3 (GB)	0.1834
C4 (GB)	0.00384
C5 (GB)	0.00736
C6 (GB)	0.00115
Std. Dev (GB)	0.0387

IRI Flexible Pavements with ATB

C1 (ATB)	0.009995
C2 (ATB)	0.000518
C3 (ATB)	0.00235
C4 (ATB)	18.36
C5 (ATB)	0.9694
Std. Dev (ATB)	0.292

IRI Flexible Pavements with CTB

C1 (CTB)	0.00732
C2 (CTB)	0.07647
C3 (CTB)	0.000145
C4 (CTB)	0.00842
C5 (CTB)	0.000212
Std. Dev (CTB)	0.229

Project: Ayacucho

General Information

Design Life 10 years
 Pavement construction month: October, 2017
 Traffic open month: January, 2018
 Type of design Flexible

Description:

Analysis Parameters

Analysis type Deterministic

Performance Criteria

	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mi)	95	
Terminal IRI (in/mi)	222	90
AC Surface Down Cracking (Long. Cracking) (ft/500):	100	90
AC Bottom Up Cracking (Alligator Cracking) (ft ² /500 ft):	500	90
AC Thermal Fracture (Transverse Cracking) (ft/500):	100	90
Chemically Stabilized Layer (Fatigue Fracture)	25	90
Permanent Deformation (AC Only) (in):	0.25	90
Permanent Deformation (Total Pavement) (in):	0.75	90

Default Input Level

Default input level Level 3, Default and historical agency values.

Traffic

Two-way average annual daily truck traffic: 233
 Number of lanes in design direction: 1
 Percent of trucks in design direction (%): 54
 Percent of trucks in design lane (%): 90
 Operational speed (mph): 38

Traffic -- Monthly Adjustment Factors

Monthly Adjustment Factors (Level 1, Site Specific - 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	0.91	0.91	0.91	0.00	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.00
February	0.91	0.91	0.91	0.00	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.00
March	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
April	0.99	0.99	0.99	0.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.00
May	1.02	1.02	1.02	0.00	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.00
June	0.93	0.93	0.93	0.00	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.00
July	1.05	1.05	1.05	0.00	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	0.00
August	1.10	1.10	1.10	0.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.00
September	1.01	1.01	1.01	0.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0.00
October	1.09	1.09	1.09	0.00	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	0.00
November	0.97	0.97	0.97	0.00	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.00
December	1.03	1.03	1.03	0.00	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	0.00

Vehicle Class Distribution

(Level 1, Site Specific Distribution)

AADTT distribution by vehicle class

Class 4	34.0%
Class 5	55.0%
Class 6	3.0%
Class 7	0.0%
Class 8	1.0%
Class 9	2.0%
Class 10	1.0%
Class 11	2.0%
Class 12	2.0%
Class 13	0.0%

Hourly truck traffic distribution

by period
beginning:

Midnight	6.3%	Noon	5.6%
1:00 am	2.9%	1:00 pm	7.2%
2:00 am	2.2%	2:00 pm	4.9%
3:00 am	1.8%	3:00 pm	4.3%
4:00 am	1.1%	4:00 pm	2.9%
5:00 am	2.5%	5:00 pm	4.7%
6:00 am	2.7%	6:00 pm	3.8%
7:00 am	3.4%	7:00 pm	3.1%
8:00 am	6.7%	8:00 pm	2.5%
9:00 am	5.1%	9:00 pm	4.5%
10:00 am	5.8%	10:00 pm	1.6%
11:00 am	10.7%	11:00 pm	3.7%

Traffic Growth Factor

Vehicle Class	Growth Rate	Growth Function
Class 4	5.5%	Compound
Class 5	5.5%	Compound
Class 6	5.5%	Compound
Class 7	5.5%	Compound
Class 8	5.5%	Compound
Class 9	5.5%	Compound
Class 10	5.5%	Compound
Class 11	5.5%	Compound
Class 12	5.5%	Compound
Class 13	5.5%	Compound

Traffic -- Axle Load Distribution Factors

Site Specific -- normalized initial axle load distribution factors are summarized in Level 1: [worksheet: "Initial LDF"](#)

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	1.62	0.39	0.00	0.00
Class 5	2.00	0.00	0.00	0.00
Class 6	1.02	0.99	0.00	0.00
Class 7	1.00	0.26	0.83	0.00
Class 8	2.38	0.67	0.00	0.00
Class 9	1.13	1.93	0.00	0.00
Class 10	1.19	1.09	0.89	0.00
Class 11	4.29	0.26	0.06	0.00
Class 12	3.52	1.14	0.06	0.00
Class 13	2.15	2.13	0.35	0.00

Axle Configuration

Average axle width (edge-to-edge outside dimensions,ft):	8.5
Dual tire spacing (in):	12

Axle Configuration

Single Tire (psi):	120
Dual Tire (psi):	120

Average Axle Spacing

Tandem axle(psi):	51.6
Tridem axle(psi):	49.2
Quad axle(psi):	49.2

Climate

icm file:	C:\DG2002\Projects\Región Cusco.icm
Latitude (degrees.minutes)	13.52
Longitude (degrees.minutes)	-71.96
Elevation (ft)	11053
Depth of water table (ft)	30

Structure--Design Features

Structure--Layers

Layer 1 -- Asphalt concrete

Material type:	Asphalt concrete
Layer thickness (in):	2.95

General Properties

<u>General</u>	
Reference temperature (F°):	70
Design frequency (Hz):	n/a

Volumetric Properties

Effective binder content (%): 11
Air voids (%): 8.5
Total unit weight (pcf): 148

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: 5
Cumulative % Retained #4 sieve: 25
% Passing #200 sieve: 4

Asphalt Binder

Option: Conventional viscosity grade
Viscosity Grade AC 40
A 10.5338 (correlated)
VTS: -3.5104 (correlated)

Layer 2 -- A-1-a

Unbound Material: A-1-a
Thickness(in): 5.91

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 38500

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 1
Passing #200 sieve (%): 3
Passing #4 sieve (%): 20
D60 (mm): 8

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 122.2 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.66 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 263 (derived)

Optimum gravimetric water content (%): 11.1 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 82 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	11.1
b	1.83
c	0.51
Hr.	361

Layer 3 -- A-2-4

Unbound Material: A-2-4
 Thickness(in): 9.06

Strength Properties

Input Level: Level 3
 Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
 Poisson's ratio: 0.35
 Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
 Modulus (input) (psi): 28000

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 2
 Passing #200 sieve (%): 20
 Passing #4 sieve (%): 80
 D60 (mm): 0.1

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
 Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 121.9 (derived)
 Specific gravity of solids, Gs: 2.68 (derived)
 Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 0.000866 (derived)
 Optimum gravimetric water content (%): 11.7 (derived)
 Calculated degree of saturation (%): 83.9 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	12.6
b	1.58
c	0.534
Hr.	412

Layer 4 -- A-6

Unbound Material: A-6
Thickness(in): Semi-infinite

Strength Properties

Input Level: Level 3
Analysis Type: ICM inputs (Using ICM)
Poisson's ratio: 0.35
Coefficient of lateral pressure, Ko: 0.5
Modulus (input) (psi): 10730

ICM Inputs

Gradation and Plasticity Index

Plasticity Index, PI: 25
Passing #200 sieve (%): 80
Passing #4 sieve (%): 95
D60 (mm): 0.01

Thermal Properties

Dry thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°): 0.23
Dry heat capacity (BTU/lb-F°): 0.17

Calculated/Derived Parameters

Maximum dry unit weight (pcf): 100.8 (derived)
Specific gravity of solids, Gs: 2.75 (derived)
Saturated hydraulic conductivity (ft/hr): 6.52e-007 (derived)
Optimum gravimetric water content (%): 22.6 (derived)
Calculated degree of saturation (%): 88.5 (calculated)

Soil water characteristic curve parameters: Default values

Parameters	Value
a	174
b	1.05
c	0.707
Hr.	8190

Distress Model Calibration Settings - Flexible

AC Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 1
k2 5
k3 -1.4

AC Rutting Level 3 (Nationally calibrated values)

k1 -3.15552
k2 1.734
k3 0.3993

Standard Deviation Total Rutting (RUT): RUT*1

Thermal Fracture Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 353.47

Std. Dev. (THERMAL): THERMAL*1

CTB Fatigue Level 3 (Nationally calibrated values)
k1 1
k2 1

Subgrade Rutting Level 4 (Regionally calibrated values)
Granular:
k1 1
Bs1 6.58
Fine-grain:
k1 1
Bs1 0.28

AC Cracking

AC Top Down Cracking

C1 (top) 6
C2 (top) 6
C3 (top) 50
C4 (top) 950

Standard Deviation (TOP) TOP*1

AC Bottom Up Cracking

C1 (bottom) 6
C2 (bottom) 6
C3 (bottom) 15
C4 (bottom) 85

Standard Deviation (TOP) BOTTOM*1

CTB Cracking

C1 (CTB) 6
C2 (CTB) 6
C3 (CTB) 15
C4 (CTB) 85

Standard Deviation (CTB) CTB*1

IRI

IRI Flexible Pavements with GB

C1 (GB)	0.0463
C2 (GB)	0.00119
C3 (GB)	0.1834
C4 (GB)	0.00384
C5 (GB)	0.00736
C6 (GB)	0.00115
Std. Dev (GB)	0.0387

IRI Flexible Pavements with ATB

C1 (ATB)	0.009995
C2 (ATB)	0.000518
C3 (ATB)	0.00235
C4 (ATB)	18.36
C5 (ATB)	0.9694
Std. Dev (ATB)	0.292

IRI Flexible Pavements with CTB

C1 (CTB)	0.00732
C2 (CTB)	0.07647
C3 (CTB)	0.000145
C4 (CTB)	0.00842
C5 (CTB)	0.000212
Std. Dev (CTB)	0.229