

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Comparación técnica y económica entre estructura
de pavimento flexible con carpeta asfáltica en
caliente y tratamiento superficial bicapa en la carretera
Chala - Mollehuaca - Arequipa - 2021**

Edgar Hipolinarío Silva Chucuya

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Informe Turnitin - TESIS V03__Edgar Silva Chucuya

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

26%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%

10	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	noticias.costosperu.com Fuente de Internet	<1 %
18	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
19	inba.info Fuente de Internet	<1 %
20	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
21	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1 %

22	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	asefma.es Fuente de Internet	<1 %
24	geotecniafacil.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

34	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
37	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	futur.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
41	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
43	baixardoc.com Fuente de Internet	<1 %
44	bioquiica2015.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
45	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

46	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	www.elprisma.com Fuente de Internet	<1 %
48	bibliotecadigital.udea.edu.co Fuente de Internet	<1 %
49	dadospdf.com Fuente de Internet	<1 %
50	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	zdocs.pl Fuente de Internet	<1 %
54	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
57	zonasegura.seace.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

58	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
59	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
60	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
61	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	kanterella.com Fuente de Internet	<1 %
63	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
65	webidu.idu.gov.co Fuente de Internet	<1 %
66	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
67	lareferencia.info Fuente de Internet	<1 %
68	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
69	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

70	revistatierra.unan.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
71	www.civilexcel.com Fuente de Internet	<1 %
72	www.conanp.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
73	www.el.utwente.nl Fuente de Internet	<1 %
74	www.gemi.org.mx Fuente de Internet	<1 %
75	www.oalib.com Fuente de Internet	<1 %
76	www.roriente.org Fuente de Internet	<1 %
77	digital.library.unt.edu Fuente de Internet	<1 %
78	ftp.fgm.at Fuente de Internet	<1 %
79	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
81	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

82	repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
83	uvb.nrel.colostate.edu Fuente de Internet	<1 %
84	www.acnur.org Fuente de Internet	<1 %
85	www.coval.com.co Fuente de Internet	<1 %
86	www.ehu.eus Fuente de Internet	<1 %
87	www.guadalupeleonardo.galeon.com Fuente de Internet	<1 %
88	www.inaut.unsj.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
89	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
90	archive.epa.gov Fuente de Internet	<1 %
91	bicusa.org Fuente de Internet	<1 %
92	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
93	eur-lex.europa.eu Fuente de Internet	<1 %

94	fce.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
95	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
96	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
97	www.fao.org Fuente de Internet	<1 %
98	www.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
99	archive.org Fuente de Internet	<1 %
100	cedir-catalogo.gestiondelriesgo.gov.co Fuente de Internet	<1 %
101	comerciojusto.org Fuente de Internet	<1 %
102	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
103	ozone.unep.org Fuente de Internet	<1 %
104	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
105	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

106	repositorio.ufpso.edu.co Fuente de Internet	<1 %
107	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
108	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
109	www.acuariofilia.net Fuente de Internet	<1 %
110	www.carreteros.org Fuente de Internet	<1 %
111	www.pedagogicomadrededios.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
112	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
113	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
114	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso por proveerme de buena salud, sabiduría, fuerza y voluntad durante el proceso de elaboración y culminación de la presente investigación.

A mis padres por haberme dado la vida, educación y la enseñanza de los buenos modales para la convivencia dentro de una sociedad competitiva.

A la Universidad Continental por darme las pautas y las herramientas necesarias que me ha permitido el perfeccionamiento de la presente investigación.

A mi asesor Mg. Marko Antonio Lengua Fernandez, por ser mi guía en la elaboración de la presente investigación.

DEDICATORIA

Con todo el aprecio que ameritan mis padres Flora y Ricardo, puesto que sin su apoyo incondicional no se hubiese alcanzado el cumplimiento de esta meta.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DEL CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	18
1.1.1. Problema general	19
1.1.2. Problemas específicos.....	19
1.1.3. Objetivo general.....	20
1.1.4. Objetivos específicos	20
1.2. Justificación e importancia	21
1.2.1. Justificación teórica	21
1.2.2. Justificación practica	21
1.2.3. Justificación económica.....	21
1.2.4. Justificación social.....	21
1.2.5. Importancia de la investigación	22
1.3. Delimitación de la investigación	22
1.3.1. Delimitación espacial.....	22
1.3.2. Delimitación temporal	22
1.3.3. Delimitación conceptual	22
1.4. Hipótesis y descripción de variables	23
1.4.1. Hipótesis general	23
1.4.2. Hipótesis específicas.....	23
1.4.3. Variables.....	23
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.1.3. Antecedentes locales.....	28
2.2. Bases teóricas	28

2.2.1.	Estructura de pavimento flexible	28
2.2.2.	Funciones de la estructura del pavimento flexible.....	30
2.2.3.	Alternativas estructurales de pavimentos flexibles.....	31
2.2.3.1.	Tratamiento superficial bicapa	32
2.2.3.2.	Carpeta asfáltica en caliente	34
2.2.4.	Estudio de mecánica de suelos	34
2.2.4.1.	Contenido de humedad.....	35
2.2.4.2.	Granulometría.....	37
2.2.4.3.	Límites de Atterberg.....	40
2.2.4.4.	Clasificación de suelos	44
2.2.4.5.	Índice de grupo.....	46
	Suelos de partículas gruesas (más del 50 % retenido en la malla 200)	47
2.2.4.6.	Proctor modificado	48
2.2.4.7.	Valor relativo de soporte (CBR)	50
2.2.5.	Clima	55
2.2.5.1.	Precipitación.....	55
2.2.5.2.	Temperatura	56
2.2.6.	Estudio de tráfico.....	56
2.2.6.1.	Volumen de tráfico.....	56
2.2.6.2.	Número de repeticiones de ejes equivalentes.....	57
2.2.7.	Método de diseño AASHTO 93	57
2.2.8.	Metodología empírico-mecanicista.....	61
2.2.8.1.	Contenido de los métodos mecanicistas	61
2.2.8.2.	Descripción general de los métodos mecanicistas.....	62
2.2.8.3.	Metodo de diseño de pavimentos flexibles empírico – mecanicistas.....	62
2.2.9.	Comparación técnica	75
2.2.10.	Comparación económica	77
2.2.10.1.	Metodología de costo - efectividad	78
CAPÍTULO III.....		79
METODOLOGÍA		79
3.1.	Ubicación de la zona a estudiar	79
3.2.	Método y alcance de la investigación.....	79
3.2.1.	Método de investigación.....	79
3.2.2.	Alcance de la investigación	80
3.2.2.1.	Tipo de investigación	80
3.2.2.2.	Nivel de investigación.....	80
3.3.	Diseño de investigación.....	80

3.3.1.	Tipo de diseño de la investigación.....	80
3.3.2.	Población y muestra.....	80
3.3.2.1.	Población.....	80
3.3.2.2.	Muestra.....	80
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	81
3.4.1.	Técnicas para la recolección de datos.....	81
3.4.2.	Instrumentos empleados en la recolección de datos	81
3.5.	Procedimientos de recolección de datos	81
3.5.1.	Estudio de suelos	81
3.5.2.	Estudio de clima	82
3.5.3.	Estudio de tráfico.....	82
3.5.4.	Diseño de pavimento flexible	82
3.5.5.	Comparación técnica y económica	82
CAPÍTULO IV		83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		83
4.1.	Resultados	83
4.1.1.	Estudio de suelos de la subrasante.....	83
4.1.1.1.	Clasificación de suelos	83
4.1.1.2.	Proctor modificado	83
4.1.1.3.	Razón de soporte de california (CBR).....	84
4.1.2.	Estudio de clima	84
4.1.2.1.	Precipitación y temperatura.....	84
4.1.3.	Estudio de tráfico.....	88
4.1.3.1.	Conteo y clasificación vehicular	88
4.1.3.2.	Índice medio diario semanal.....	88
4.1.3.3.	Índice medio diario anual.....	89
4.1.3.4.	Pesos por eje.....	90
4.1.3.5.	ESAL de diseño.....	91
4.1.4.	Diseño de pavimento flexible	92
4.1.4.1.	Método AASHTO 93	92
4.1.4.2.	Método empírico – mecanicista	98
4.1.5.	Comparación técnica	105
4.1.5.1.	Periodo de diseño	105
4.1.5.2.	Desempeño estructural y transmisión de esfuerzos.....	105
4.1.5.3.	Tipo de falla	107
4.1.5.4.	Serviciabilidad.....	108
4.1.5.5.	Espesores.....	108

4.1.6. Comparación económica	108
4.1.6.1. Análisis de la demanda.....	108
4.1.6.2. Análisis de oferta.....	110
4.1.6.3. Costos de operación y mantenimiento.....	111
4.1.6.4. Comparación de alternativas	122
4.2. Discusión de resultados	123
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	126
LISTA DE REFERENCIAS	127
ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	24
Tabla 2. Espesores mínimos de capa superficial y base granular.....	32
Tabla 3. Delimitaciones para la elección de muestra para contenido de humedad	36
Tabla 4. Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	37
Tabla 5. Especificaciones para selección de muestra.....	38
Tabla 6. Sistema de clasificación de suelos AASHTO para materiales granulares	45
Tabla 7. Sistema de clasificación de suelos AASHTO para materiales granulares	46
Tabla 8. Clasificación SUCS para suelos de partículas gruesas.....	47
Tabla 9. Clasificación SUCS para suelos de partículas finas.....	47
Tabla 10. Condiciones para ensayo de Proctor modificado	49
Tabla 11. Carga de penetración.....	54
Tabla 12. Módulos elásticos (E) usualmente utilizados en pavimentos.....	64
Tabla 13. Relación de Poisson (ν) usualmente utilizados en pavimentos	64
Tabla 14. Función de transferencia para agrietamiento por fatiga	73
Tabla 15. Funciones de transferencia para ahuellamiento	74
Tabla 16. Resumen de clasificación de suelos	83
Tabla 17. Resumen de Proctor modificado	84
Tabla 18. Resumen CBR.....	84
Tabla 19. Precipitación máxima en 24 horas “estación Caravelí”	85
Tabla 20. Temperatura máxima y mínima “estación Caravelí”	85
Tabla 21. Precipitación máxima en 24 horas “estación Atico”	86
Tabla 22. Temperatura máxima y mínima “estación Atico”	87
Tabla 23. Resumen del conteo y clasificación vehicular	88
Tabla 24. Resumen del índice medio diario semanal e índice medio diario anual.....	89
Tabla 25. Pesos y dimensiones de circulación	91
Tabla 26. Cálculo de número estructural requerido	94
Tabla 27. Cálculo de SN propuesto.....	94
Tabla 28. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente, diseñado con el método AASHTO 93	96
Tabla 29. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)	96
Tabla 30. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento).....	96
Tabla 31. Cálculo de SN propuesto.....	96
Tabla 32. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93	97
Tabla 33. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)	98

Tabla 34. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento).....	98
Tabla 35. Información del diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70.....	100
Tabla 36. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente	102
Tabla 37. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)	102
Tabla 38. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento).....	102
Tabla 39. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa	104
Tabla 40. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)	104
Tabla 41. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento).....	104
Tabla 42. Periodo de diseño	105
Tabla 43. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente	105
Tabla 44. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa	106
Tabla 45. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente	106
Tabla 46. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa	106
Tabla 47. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente	107
Tabla 48. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa.	107
Tabla 49. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente	107
Tabla 50. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa	108
Tabla 51. Comparación de serviciabilidad.....	108
Tabla 52. Comparación de espesores	108
Tabla 53. Tránsito actual.....	109
Tabla 54. Caracterización de la vía sin proyecto.....	110
Tabla 55. Caracterización de la vía sin proyecto.....	111
Tabla 56. Costo de mantenimiento sin proyecto	111
Tabla 57. Costo de mantenimiento con proyecto.....	112
Tabla 58. Factores sociales.....	112
Tabla 59. Presupuesto para pavimento con carpeta asfáltica en caliente	112

Tabla 60. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios del mercado.....	113
Tabla 61. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales.....	113
Tabla 62. Costos incrementales para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales.....	114
Tabla 63. Evaluación de costo de efectividad para pavimento con carpeta asfáltica en caliente... ..	114
Tabla 64. Presupuesto para pavimento con tratamiento superficial bicapa.....	115
Tabla 65. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios del mercado.....	116
Tabla 66. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales.....	116
Tabla 67. Costos incrementales para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales.....	117
Tabla 68. Evaluación del costo de efectividad para pavimento con tratamiento superficial bicapa.	117
Tabla 69. Presupuesto para pavimento con carpeta asfáltica en caliente.....	118
Tabla 70. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios del mercado.....	118
Tabla 71. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales.....	119
Tabla 72. Costos incrementales para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales.....	119
Tabla 73. Evaluación del costo de efectividad para pavimento con carpeta asfáltica en caliente.... ..	120
Tabla 74. Presupuesto para pavimento con tratamiento superficial bicapa.....	120
Tabla 75. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios del mercado.....	121
Tabla 76. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales.....	121
Tabla 77. Costos incrementales para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales.....	122
Tabla 78. Evaluación costo efectividad para pavimento con tratamiento superficial bicapa....	122
Tabla 79. Cuadro comparativo de costo de inversión de las alternativas.....	122
Tabla 80. Cuadro comparativo de la relación costo efectividad de las alternativas.....	123

Tabla 81. Resultados de los diseños de estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente.....	124
Tabla 82. Matriz de consistencia.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capas de la estructura de un pavimento flexible.....	29
Figura 2. Esfuerzos de compresión	30
Figura 3. Esfuerzos de corte.....	31
Figura 4. esfuerzos de tracción.....	31
Figura 5. Tratamiento superficial bicapa.....	33
Figura 6. Resumen de interacción entre límites y estados de la materia.....	40
Figura 7. Carta de plasticidad.....	44
Figura 8. Carta de plasticidad.....	48
Figura 9. Definición de CBR.....	51
Figura 10. Gráfica para la determinación del coeficiente estructural (a1) de la mezcla asfáltica... ..	59
Figura 11. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural (a2) de la capa base granular.	59
Figura 12. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural (a3) de la capa subbase granular	60
Figura 13. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural de bases tratadas	60
Figura 14. Gráfico donde se demuestra la mejora de la confiabilidad de los diseños que ofrecen los métodos mecanicistas	62
Figura 15. Estado de transición de métodos empíricos a mecanicistas	62
Figura 16. Metodología de diseño empírico mecanicista.....	63
Figura 17. Configuración de la estructura de pavimento flexible	64
Figura 18. Esquema de Boussinesq para un espacio semiinfinito homogéneo e isotrópico	69
Figura 19. Espesores equivalentes de Odemark para sistemas multicapa.....	70
Figura 20. Comparación de estructura de pavimento flexible.....	76
Figura 21. Curva típica de deterioro.....	77
Figura 22. Ubicación de la zona de estudio.....	79
Figura 23. Histograma de precipitaciones máximas en 24 horas	85
Figura 24. Registro histórico de temperaturas máxima y mínima.....	86
Figura 25. Histograma de precipitaciones máximas en 24 horas	87
Figura 26. Registro histórico de temperaturas máxima y mínima.....	87
Figura 27. Cálculo de SN mediante la ecuación de AASHTO 93.....	94
Figura 28. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente	95
Figura 29. Se aprecia la pantalla principal de WinDEPAV 2.6 con los datos ingresados de la estructura ASSHTO 93	95

Figura 30. Resultados de la verificación de la estructura de AASHTO 93 con WinDEPAV 2.6	95
Figura 31. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con tratamiento superficial bicapa	96
Figura 32. Se aprecia la pantalla principal de WinDEPAV 2.6 con los datos ingresados de la estructura AASHTO 93	97
Figura 33. Resultados de la verificación de la estructura de AASHTO 93 con WinDEPAV 2.6	97
Figura 34. Ventana de inicio de WinDEPAV 2.6	98
Figura 35. Gráfica de módulo dinámico vs. temperatura a diferentes frecuencias	100
Figura 36. Se aprecia la ventana principal de WinDEPAV 2.6 con los datos ingresados.....	101
Figura 37. Resultados de WinDEPAV 2.6.....	102
Figura 38. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente, diseñado con el método empírico mecanicista.....	103
Figura 39. Se aprecia la ventana principal de WinDEPAV 2.6 con los dato ingresados	103
Figura 40. Resultados de WinDEPAV 2.6.....	104
Figura 41. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método empírico mecanicista.....	105
Figura 42. Número de vehículos por día	109

RESUMEN

El propósito del estudio fue determinar el pavimento más factible mediante una comparación técnica y económica entre estructuras de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial doble, diseñado con el método AASHTO 93 y Empírico Mecanicista en la carretera Chala-Mollehuaca.

Los métodos utilizados corresponden al tipo correlacional, nivel aplicativo, diseño no experimental, las técnicas utilizadas son la observación, análisis bibliográfico, análisis de contenido, las herramientas son guías de observación, archivos digitales y tablas de registros, la población fue la carretera Chala-Mollehuaca y la muestra 5 km (prog. 00+000 a prog. 05+000) se tomaron en cuenta 10 calicatas y 01 punto de aforo vehicular.

Los resultados muestran que la alternativa más factible es la estructura de pavimento de carpeta asfáltica en caliente diseñada por el método empírico-mecanicista (software WinDEPAV 2.6), con una capa asfáltica en caliente = 8.30 cm, el factor de daño es $0.435 < 1$, la capa base = 20.00 cm, el factor de daño es $0.980 < 1$, subbase = 25.00 cm, factor de daño $0.256 < 1$, la inversión por kilómetro es de US\$ 423.043.09.

Palabras claves: alternativa, comparación, diseño, estructura, metodología, pavimento

ABSTRACT

The purpose of the study was to determine the most feasible pavement through a technical and economic comparison between pavement structures with hot asphalt layer and double surface treatment, designed with the AASHTO 93 and Mechanistic Empirical method on the Chala-Mollehuaca highway.

The methods used correspond to the correlational type, application level, non-experimental design, the techniques used are observation, bibliographic analysis, content analysis, the tools are observation guides, digital files and record tables, the population was the Chala- Mollehuaca and the sample 5 km (prog. 00+000 to prog. 05+000) 10 test pits and 01 vehicular gauging point were taken into account.

The results show that the most feasible alternative is the hot asphalt layer pavement structure designed by the empirical-mechanistic method (WinDEPAV 2.6 software), with a hot asphalt layer = 8.30 cm, the damage factor is $0.435 < 1$, the base layer = 20.00 cm, the damage factor is $0.980 < 1$, subbase = 25.00 cm, damage factor $0.256 < 1$, the investment per kilometer is US\$ 423,043.09.

Keywords: alternative, comparison, design, methodology, pavement, structure

INTRODUCCIÓN

El objetivo fue identificar el pavimento más factible mediante la comparación técnica y económica entre estructuras de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial doble, diseñado en la carretera Chala-Mollehuaca utilizando AASHTO 93 y método empírico mecanicista, su longitud total es de 39.789 kilómetros, el terreno es mayoritariamente llano, ondulado y ligeramente accidentado, la superficie de rodadura se encuentra actualmente con una capa de afirmado, con un espesor promedio de 10 cm. Anchos de calzada de 4.50 a 5.50 m, sin arcenes laterales, construido con material propio; presenta fallas (baches, ahuellamientos, corrugaciones, pérdida de materiales finos, entre otros) ocasionados por tráfico de vehículos motorizados, viento, lluvia (ríos) y drenajes incompletos, tales como la ausencia de cunetas laterales, alcantarillas, otras estructuras de drenaje.

Actualmente, debido a las malas condiciones de las carreteras, el tiempo de conducción desde el distrito de Chala hasta Mollehuaca es de aproximadamente 1 hora y 45 minutos, debido a su mal estado lo que requiere altos costos de flete y transporte de pasajeros.

La vía en estudio es muy importante porque es la única vía que incorpora el distrito de Huanuhuanu a la red vial nacional (Panamericana Sur), y así mismo, tiene un impacto significativo en el desarrollo socioeconómico de los habitantes de la zona, incluyendo actividades comerciales y mineras.

Para ello, en esta investigación se presenta el diseño de estructuras de pavimento a construir en la vía Chala-Mollehuaca, se proponen dos opciones de diseño, enfocándose en los tratamientos superficiales de doble capa y la carpeta asfáltica en caliente, y de esta manera optimizar el costo de construcción, mantenimiento y operación.

Para comprender mejor el contenido de este artículo, este consta de los siguientes capítulos:

En el Capítulo I: planteamiento del estudio, se podrá apreciar el planteamiento del problema; la formulación de los problemas, los objetivos y las hipótesis; así como la justificación, importancia y limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II: marco teórico, se podrá apreciar el contexto de la investigación, constituido por los antecedentes y las bases teóricas correspondientes a las variables de estudio.

En el Capítulo III: metodología, se podrá apreciar el tipo, nivel, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos de investigación, aspectos que forman parte del proceso de la investigación a efectuar.

En el Capítulo IV: resultados y discusión, se podrá apreciar los resultados y su contrastación debida con los antecedentes, esto último a modo de discusión.

Finalmente, se encuentran las conclusiones, recomendaciones, lista de referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

A nivel mundial, los investigadores buscan formas sencillas de hacer que los pavimentos de asfalto sean más seguros, silenciosos y ecológicos. Nascimento et al.⁽¹⁾ manifiestan que la decisión de invertir en obras de construcción vial siempre ha demostrado ser un reto a consecuencia de la cantidad de variables a considerar en la elección de proyectos. Específicamente, en obras viales con pavimento flexible, las metodologías que emplean para este fin utilizan a menudo criterios técnicos y económicos (naturaleza de los materiales y técnicas de implementación); sin embargo, ante la imperiosa necesidad de mejorar la utilización de los recursos naturales, entendiendo que es importante que otros parámetros, como la sostenibilidad, también sea considerada al tomar decisiones sobre fondos de inversión en infraestructuras viales. Además, los avances en la investigación en ingeniería han permitido el uso de nuevas metodologías, como es el diseño racional o empírico mecanicista de pavimentos que estima, más certeramente, la vida útil de los pavimentos.

En América Latina, Casa y Tobar⁽²⁾ manifiestan que la continua expansión urbana en la provincia del Guayas requiere de la implementación de vías que se interconecten entre las comunidades aledañas, como es el caso vía Aurora – Salitre y Aurora – Zamborondón, que en la actualidad se encuentra a nivel de afirmado, se considera que la zona se encuentra en pleno proceso de urbanización, por lo que ha sido necesario proponer una ruta que interconecte las dos vías, tomando en consideración los aspectos técnicos y económicos de las estructuras viales.

En el Perú, Arévalo y Díaz⁽³⁾ indican que el país está en pleno desarrollo, los caminos locales son la longitud máxima de los caminos sin pavimentar y ponerlos en producción comunitaria es un verdadero problema debido a las malas condiciones del tráfico, ya que están sin pavimentar y se encuentran a nivel de subrasante que definitivamente se volverán intransitables en algún momento del año.

A nivel local, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) está invirtiendo más de 2.100 millones de soles en obras de infraestructura de transporte y telecomunicaciones en la región Arequipa para aumentar la conectividad física y digital de los ciudadanos y mejorar su calidad de vida. Se destinan más de 375.9 millones de soles para la construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de carreteras y caminos, para más de 1,159 kilómetros y 9 puentes intervenidos por el MTC, a fin de proveer seguridad al tránsito de pasajeros y mercancías. A través del programa ProRegión se han destinado 1.184,6 millones de soles para 892 kilómetros de obras viales. Además, a través del programa Arranca Perú, el MTC ha destinado 222,2 millones de soles para el mantenimiento regular y rutinario de 3.153 kilómetros de vías. Tal iniciativa ha permitido reactivar la economía de la región por medio de la creación de puestos de trabajo.

Debido al mal estado de la carretera Chala –Mollehuaca, en los distritos de Chala y Huanuhuanu, en la provincia de Caraveli, Arequipa, el Gobierno Regional de Arequipa, en su sede central, ha decidido destinar S/ 38'993,046.88 para el mejoramiento y rehabilitación de dicha carretera.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue realizar una comparación técnica y económica entre una estructura de pavimento flexible con capa asfáltica en caliente y una estructura de pavimento flexible con doble tratamiento superficial, con el fin de determinar el pavimento más factible para la pavimentación de la carretera Chala-Mollehuaca.

1.1.1. Problema general

¿Cuál pavimento es más factible mediante la comparación técnica y económica entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista en la carretera Chala – Mollehuaca, 2021?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el estudio de suelos a nivel de subrasante de la carretera Chala - Mollehuaca?

- ¿Cuál será el clima de la carretera Chala - Mollehuaca?
- ¿Cuál será el tráfico de la carretera Chala - Mollehuaca?
- ¿Cuál será la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista?
- ¿Cuál será la comparación técnica entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista?
- ¿Cuál será la comparación económica entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante la metodología costo efectividad?

1.1.3. Objetivo general

Determinar el pavimento más factible mediante la comparación económica y técnica entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista en la carretera Chala – Mollehuaca, 2021.

1.1.4. Objetivos específicos

- Determinar el estudio de suelos a nivel de subrasante de la carretera Chala - Mollehuaca.
- Determinar el clima de la carretera Chala - Mollehuaca.
- Determinar el tráfico de la carretera Chala - Mollehuaca.
- Diseñar la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa empleando el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.

- Comparar técnicamente entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.
- Comparar económicamente entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante la metodología costo efectividad.

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación teórica

Los resultados de este estudio se justifican por el aporte del conocimiento de las variables estudiadas, comparaciones técnicas y económicas, estructuras de pavimentos flexibles con capas asfálticas en caliente, estructuras de pavimentos con doble tratamiento superficial, métodos de diseño AASHTO 93 y empírico mecanicista, cada uno independientes e interrelacionados.

1.2.2. Justificación practica

Los resultados de esta investigación se justifican en la práctica, debido al aporte de propuestas de alternativas de pavimentos flexibles (carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa) diseñadas con las metodologías AASHTO 93 y racional, bajo el enfoque de análisis comparativo técnico – económico, la que será una herramienta útil para la toma de decisiones al momento de elegir la alternativa de pavimento a emplear en la carretera Chala - Mollehuaca.

1.2.3. Justificación económica

Los resultados de este estudio se justifican, porque una comparación técnica y económica hace que la elección de la alternativa de pavimento flexible a emplear en la carretera Chala - Mollehuaca sea la más certera, para de esta de manera optimizar los recursos económicos para su construcción y mantenimiento. Por otro lado, con la ejecución de esta vía se mejorarán las condiciones socioeconómicas de las poblaciones que interconecta, mejora las condiciones de serviciabilidad, se reduce el costo del flete terrestre, se reducen los tiempos de transporte, se reduce la contaminación ambiental, entre otros.

1.2.4. Justificación social

Los resultados de este estudio se justifican socialmente, porque mejora las condiciones de vida de los usuarios, mejora las condiciones de seguridad vial,

disminuye la contaminación ambiental, permite el desarrollo de los pueblos que interconecta la vía en estudio.

1.2.5. Importancia de la investigación

Esta investigación es importante debido a que aporta la elección de una alternativa de pavimento flexible adecuado, obtenido mediante una comparación técnica y económica entre pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, de esta manera permite evitar los sobrecostos de construcción y mantenimiento durante su periodo de vida útil de la carretera Chala - Mollehuaca.

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

Esta investigación corresponde a una comparación técnica y económica entre estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, desarrollado en la carretera Chala - Mollehuaca, Inicia en la progresiva 00+000 distrito de Chala y finaliza en la progresiva 39+789 centro poblado de Mollehuaca del distrito de Huanuhuanu de la provincia de Caravelí, región de Arequipa.

1.3.2. Delimitación temporal

La delimitación de la presente investigación se fundamenta en los tiempos y plazos que se indican en las normativas y manuales aprobados para el estudio de tráfico, estudio de suelos, canteras, fuentes de agua, entre otros estudios de ingeniería básica que se requieren para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, teniendo como inicio julio y finalizando en diciembre del 2021.

1.3.3. Delimitación conceptual

Con respecto a la delimitación conceptual, la presente investigación se fundamenta en artículos de investigación, tesis, libros, manuales y normativas nacionales e internacionales, para el diseño de pavimentos flexibles, método AASSHTO - 93 y empírico mecanicista, selección de alternativas tecnológicas de pavimentos, evaluación técnica y económica.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

El pavimento más factible técnica y económicamente es la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñada con el método empírico mecanicista.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Los estudios de suelos a nivel de subrasante son favorables para el diseño de pavimentos.
- El área de estudio de la carretera Chala - Mollehuaca presenta un clima cálido.
- La carretera Chala - Mollehuaca corresponde a un tráfico TP4.
- Las estructuras de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñada por los métodos AASHTO 93 y empírico mecanicista presentan espesores menores que las estructuras de pavimento con tratamiento superficial bicapa.
- La comparación técnica demuestra que el pavimento con carpeta asfáltica en caliente es superior que el pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.
- La comparación económica mediante el análisis costo efectividad demuestra que los pavimentos con tratamiento superficial bicapa tienen menores costos frente a los pavimentos con carpeta asfáltica en caliente.

1.4.3. Variables

Las variables de esta investigación son:

- **Variable dependiente**
Comparación técnica y económica
- **Variable independiente**
Estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Medida
VI: Estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa	Según Burgos y Benalcázar ⁽⁴⁾ definen el pavimento como una estructura vial constituido por una agrupación de capas o multicapas que se superponen horizontalmente; colocadas sobre la subrasante y están debidamente compactados. Las que son diseñadas para el soporte de cargas impuestas por el tráfico y las condiciones medioambientales.	Se realizarán los diseños de estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa de acuerdo a los parámetros establecidos por el método AASHTO 93 y racional.	Estudio de suelos	Clasificación de suelos	%
				Proctor modificado	Gr/cc
			Estudio de clima	CBR	%
				Precipitación	mm
			Estudio de tráfico	Temperatura	°C
				IMDA	Veh/día
			Método de diseño AASHTO 93	ESAL	EE 8.2 t
				Periodo de diseño	años
				Ejes equivalentes	EE 8.2 t
				Módulo resiliente	Psi
				Confiabilidad	%
				Desv. estándar normal	σ
				Desv. Estándar combinado	σ
				Índice de serviciabilidad	Calidad
Drenaje	Calidad				
Método de diseño empírico mecanicista	Módulo de elasticidad	kgf/cm ²			
	Relación de Poisson	ν			
	Espesor de capa	Cm			
	Tipo de falla	Fatiga y ahuellamiento			
	Modelo de carga	kgf/cm ²			
Comparación técnica	Transito esperado	EE 8.2 t			
	Periodo de diseño	Años			
	Desempeño estructural	Bueno, regular y malo			
	Transmisión de esfuerzos deformaciones	kgf/cm ² microstrain			
	Tipo de falla	Tracción o compresión			
	serviciabilidad	Calidad			
	Espesores	cm			
	Presupuesto	S/ US\$			
Comparación económica	Costo – efectividad	C/E			
VD: Comparación técnica y económica	Según Ruiz y Rodríguez ⁽⁵⁾ la comparación técnica y económica es una herramienta de apoyo que sirve para la toma de decisiones al momento de ejecutar proyectos de infraestructura vial, alcanzando así definir los objetivos y alcances de cada proyecto.	Para realizar la comparación técnica y económica se tomará en consideración los diseños y el presupuesto que demandará cada alternativa de pavimentos.			

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Arous y Goryachev⁽⁶⁾ indican que el diseño comparativo de estructuras de pavimento permitía, en una etapa temprana del desarrollo del proyecto, evaluar su comportamiento y predecir la vida útil. Los métodos numéricos aproximados, por ejemplo, el método de elementos finitos se introduce ampliamente para simular el funcionamiento de pavimentos en estructuras de obras viales. La variedad de concreto asfáltico moderno planteaba el problema de encontrar las soluciones de diseño más efectivas basadas en los resultados de comparar los indicadores de desempeño de los pavimentos de carreteras. El artículo presentó los resultados del modelado por el método de elementos finitos de la obra de pavimentos de carreteras, consistente en un paquete bicapa de asfalto-hormigón, sobre una losa de puente de hormigón armado. Se consideraron varias opciones para combinaciones de hormigón asfáltico. Se utilizó como base metodológica el conocido método americano del *Asphalt Institute*. Para el criterio del estado límite, se tomó el indicador de grietas por fatiga acumuladas en la cantidad del 10 % del área de la trayectoria de las ruedas. Para evaluar el desempeño de pavimentos de puentes asfálticos de dos capas sobre una base rígida de hormigón armado, se aplicó el método de elementos finitos. Se utilizó el algoritmo del Instituto de Asfalto desarrollado por especialistas estadounidenses. Se ha establecido que los pavimentos con capas de hormigón asfáltico yeso-masilla (SMA) sobre ligante polímero-betún tuvieron el mayor rendimiento, expresado en el número de aplicaciones de la carga de diseño, según el criterio de figuración por fatiga.

Nascimento et al.⁽¹⁾ plantearon como objetivo principal la propuesta de un método de apoyo para la selección de alternativas de pavimentos entre pavimento flexible y pavimento semirrígido, en base a la evaluación del ciclo de vida (LCA) y costos de construcción. Como resultado, este trabajo propone un método para resolver el problema de toma de decisiones de alternativas de construcción para nuevos pavimentos, que consta de cuatro fases principales: diseño de pavimento, análisis de costos de construcción, evaluación del ciclo de vida (LCIA) e integración de LCIA con coste de construcción. Por último, para el caso que analizaron en Brasil, un pavimento consistente en una base bituminosa estabilizada que contenga un 15 % de material reciclado (hule de llanta de desecho) con un 30 % de área de fisuración sería la mejor opción en el escenario de evaluación de impacto ambiental y costo, que incluye el uso de agregados naturales, cemento y asfalto estabilizados. Con respecto a otros criterios de diseño, el método permite evaluar la sensibilidad de la eficiencia del tipo de pavimento analizado, indicando que una determinada estructura de pavimento puede perder su supuesta preferencia principal debido a este parámetro de diseño.

Mascio et al.⁽⁷⁾ plantearon un problema de mucha importancia en la selección de materiales bajo las implicancias económicas y técnicas. La selección y diseño del pavimento está directamente relacionados con el sistema de manipulación portuaria y los procedimientos de disposición de las unidades de carga. Este artículo presenta el procedimiento de diseño y verificación de tres pavimentos equivalentes para el pavimento de carga y descarga de contenedores para el manejo de carretillas elevadoras en un puerto de tamaño mediano en Italia. El pavimento de asfalto, de hormigón y el de bloques de hormigón se diseñan con métodos empíricos y analíticos teniendo en cuenta la vida útil de 20 años. Las estructuras se han examinado frente a la economía general del ciclo de vida, teniendo en cuenta los costos de construcción y mantenimiento, para determinar la opción más rentable. Los resultados muestran las insuficiencias de los pavimentos asfálticos en los casos estudiados desde el punto de vista de los costes de construcción. Además, el costo total descontado muestra la compensación entre el pavimento de hormigón en bloque y el hormigón colado en el lugar, siendo esta última la solución más económica. El enfoque propuesto puede brindar respuestas a preguntas complejas al equilibrar los objetivos, a menudo contradictorios, de la persistencia y la administración del dinero.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Canahuirí⁽⁸⁾ tienen como objetivo principal evaluar la comparación económica y técnica más factible, con el mismo diseño de ESAL y propiedades del

suelo, estructuras de pavimento rígido y flexible, aplicando los métodos de AASHTO 93 y el Instituto del Asfalto, en la aplicación del Jr. Abraham Valdelomar del municipio de Juliaca, las investigaciones fueron del tipo pertinente, y concluyeron que, aplicando los métodos de diseño del Instituto del Asfalto y AASHTO 93, una vez realizada la comparación técnica de estructuras de pavimento rígido y flexible, se tiene la certeza de que el diseño determinado por los métodos del *Asphalt Institute* se encuentre en el mismo tráfico y los menores espesores se obtuvieron en condiciones de suelo similares; también demuestran que el mantenimiento es primordial y un adecuado diseño (drenaje) de la estructura de la obra ayudará a cumplir con la vida útil. Al final de una evaluación económicamente validada utilizando un enfoque de costo-beneficio, determinaron que la mejor alternativa de pavimento con mayor rentabilidad era una estructura de pavimento flexible con un costo a precios de C/E S/831.885,74, diseñada por el método del Instituto del Asfalto, que funciona a un valor actual de costo (VAC) más bajo. Los pavimentos rígidos son estructuralmente mayores que los flexibles, costo privado C/E S/ 845,792.22, pavimentos flexibles cotizados socialmente S/ 705,517.89 y pavimentos rígidos S/ 717,296.44.

Chambi e Isidro⁽⁹⁾ tuvieron como objetivo principal comparar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles técnica y económicamente, utilizando AASHTO 93 y métodos de diseño racional, el estudio ha alcanzado un nivel relevante de investigación aplicada. Concluyeron que, al elaborar una comparación técnica y económica entre estructuras de pavimento flexible y pavimento rígido utilizando AASHTO 93 y métodos racionales, los investigadores confirmaron que el diseño obtenido por métodos racionales tiene un menor espesor y las mismas características de tráfico y suelo. Por lo tanto, es sumamente importante enfatizar que un buen mantenimiento y diseño de la obra de arte (sistema de drenaje) contribuirá a su longevidad. En una comparación económica utilizando el método de costo-beneficio, se concluyó que la alternativa de pavimento con mejor rentabilidad fue una estructura de pavimento flexible diseñada con métodos racionales.

Trujillo⁽¹⁰⁾ planteó como objetivo la determinación de la evaluación técnica y económica entre dos alternativas de pavimento flexible y rígido con fines de mejoramiento de la transitabilidad de la carretera Unguymaran – Ambo, la investigación ha sido de tipo descriptiva, nivel de investigación descriptivo. Obtuvieron las siguientes conclusiones: una vez diseñadas las estructuras de pavimento flexible, para ambas metodologías (MTC y AASHTO-93), obtuvieron que cada metodología contiene diferentes parámetros de diseño ocasionando variación en

los dimensionamientos finales de la estructura de pavimento, también se observan que generalmente las metodologías contemplan cuatro parámetros fundamentales tales como el tráfico, CBR y propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento flexible. Al evaluar el presupuesto de la estructura de pavimento flexible a comparación con la estructura de pavimento rígido los costos de ejecución son inferiores y el proceso de mantenimiento a lo largo de 20 años de periodo de vida útil es superior. Para el cumplimiento del nivel de serviciabilidad bueno será muy importante plantear un sistema de gestión de pavimentos.

2.1.3. Antecedentes locales

Farfán y Rodríguez⁽¹¹⁾ plantearon como objetivo principal determinar la alternativa superior para la pavimentación de la Av. 101 Apipa - Cerro Colorado, tomando en consideración los costos de ejecución y mantenimiento para periodo de diseño de 20 años aplicando la metodología de evaluación de costo del ciclo de vida, obteniendo las siguientes conclusiones: los espesores de la estructura de pavimento flexible diseñado por el método AASHTO 93 para un periodo de diseño de 20 años determinan 9.0 cm de carpeta asfáltica y 27.0 cm de base granular, los espesores de la estructura de pavimento rígido diseñado por el método AASHTO 93 para un periodo de diseño de 20 años determinan 22.50 cm de losa de concreto y 15.0 cm de base granular. El análisis de costo de ciclo de vida para un periodo de 20 años, la estructura de pavimento flexible es de mayor rentabilidad en S/ 2, 704,583.53 que la estructura de pavimento rígido. Como también verificaron las variaciones entre un análisis de costos iniciales frente al costo de periodo de vida, utilizando las evaluaciones realizadas con HDM-4 para las dos alternativas de pavimentos, entonces, se determinaron resultados y valores que justifican y respaldan la importancia de evaluar los proyectos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estructura de pavimento flexible

La estructura de pavimento flexible es un conjunto de capas superpuestas de materiales granulares de diferentes calidades y diferentes espesores comprendidas desde el nivel superior de la capa de subrasante hasta la superficie de rodado. Debe estar en la capacidad de soportar las cargas de tránsito y las condiciones medioambientales, además debe ofrecer una operación rápida, cómoda y segura⁽¹²⁾.

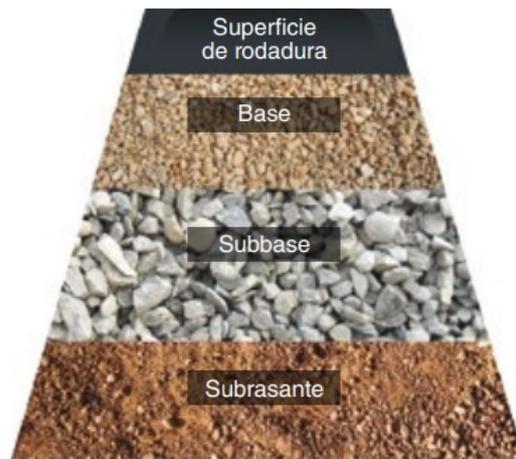


Figura 1. Capas de la estructura de un pavimento flexible, tomado de Kröger⁽¹³⁾

a) Superficie de rodadura

La capa de rodadura o también denominado revestimiento bituminoso es aquella que se hace cargo de impermeabilizar a las componentes de la estructura de pavimento con la finalidad de que las capas que se encuentran por debajo mantengan en lo posible su capacidad estructural. Además, se convierte en una capa antideslizante que funciona correctamente bajo la presencia de lluvias y, por último, se hace cargo de disipar las tensiones verticales y contribuye con el control de las deformaciones plásticas en la estructura de pavimento flexible⁽¹⁴⁾.

b) Base

Es una de las capas que componen la estructura del pavimento flexible. Se ubica entre la subbase y el pavimento. Cumple la función de resistir y transmitir los esfuerzos verticales aplicados al pavimento. Disipa o absorbe la mayor parte de la presión y luego lo transmite a la capa inferior. Se construyen según la naturaleza de cada zona, a partir de un material debidamente tratado o estabilizado, que debe tener una alta resistencia a la deformación por estar en contacto con la superficie⁽¹⁵⁾.

c) Subbase granular

Es una de las capas que forma parte de la estructura de pavimento flexible que se encuentra ubicada por debajo de la base granular y por encima de la subrasante, compuesta por materiales granulares de una calidad moderada, dado que esta capa está sometida a menos esfuerzos que la capa base granular, su función principal es resistir la carga transmitida desde la capa base a la capa base de la carretera; de igual manera, cumple la función de drenar el agua infiltrada en la superficie, por lo que es más adecuado para la aplicación de estructuras de pavimento flexible⁽¹⁵⁾.

d) Subrasante

Es la superficie superior y la última capa del terraplén, que sirve como cimiento para la colocación o apoyo de la estructura de pavimento flexible, cumple tres funciones importantes, la de soportar un número establecido de automóviles, proveer una cimentación adecuada que pueda soportar la compactación de las capas que conforman la estructura del pavimento y debe proveer un apoyo con condiciones adecuadas para el soporte de cargas impuestas⁽¹⁶⁾.

2.2.2. Funciones de la estructura del pavimento flexible

El desempeño principal de la estructura de pavimento es la de traspasar los esfuerzos impuestos sobre la superficie de rodadura por el tráfico y factores climatológicos a la subrasante por medio de las capas que componen la estructura del pavimento.

Según Kröger⁽¹³⁾ se dividen en:

a) Esfuerzo de compresión

Es el resultado de las fuerzas verticales generadas por los vehículos y disipadas a través de las capas subyacentes que forman la estructura del pavimento.



Figura 2. Esfuerzos de compresión tomado de Kröger⁽¹³⁾

b) Esfuerzo de corte

Es la resultante del contacto entre la superficie de rodadura del pavimento y el neumático en el momento de frenado y acelerado.



Figura 3. Esfuerzos de corte tomado de Kröger ⁽¹³⁾

c) Esfuerzo de tracción

Esto se ocasiona en el momento de la deflexión del pavimento debido a la presión de los neumáticos. Estas muestran su manifestación básicamente en las capas ligadas, donde el material pétreo o los suelos están ligados por la adición de material asfáltico y en las capas de base granular (sin estabilizar con algún tipo de ligante), los esfuerzos tangenciales (esfuerzos de tracción) se reducen aun si existen deflexiones.



Figura 4. esfuerzos de tracción tomado de Kröger ⁽¹³⁾

2.2.3. Alternativas estructurales de pavimentos flexibles

Según el Manual del MTC ⁽¹⁷⁾ para la determinación de las secciones de la estructura del pavimento flexible, dan las siguientes consideraciones mínimas:

Tabla 2. Espesores mínimos de capa superficial y base granular

Tráfico	Ejes equivalentes acumulados		Capa superficial	Base granular
Tp1	150,01	300,000	TSB o lechada asfáltica (<i>Slurry seal</i>): 12 mm o micropavimento: 25 mm carpeta asfáltica en frío: 50 mm carpeta asfáltica en caliente: 50 mm	150 mm
Tp2	300,001	500,000	TSB o lechada asfáltica (<i>Slurry seal</i>): 12 mm o micropavimento: 25 mm carpeta asfáltica en frío: 60 mm carpeta asfáltica en caliente: 60 mm	150 mm
Tp3	500,001	750,000	Micropavimento: 25 mm carpeta asfáltica en frío: 60 mm carpeta asfáltica en caliente: 70 mm	150 mm
Tp4	750,001	1,000,000	Micropavimento: 25 mm carpeta asfáltica en frío: 70 mm carpeta asfáltica en caliente: 80 mm	200 mm
Tp5	1,000,001	1,500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 80 mm	200 mm
Tp6	1,500,001	3,000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 90 mm	200 mm
Tp7	3,000,001	5,000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 90 mm	200 mm
Tp8	5,000,001	7,500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 100 mm	250 mm
Tp9	7,500,001	10'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 110 mm	250 mm
Tp10	10'000,001	12'500,000	Carpeta asfáltica en caliente: 120 mm	250 mm
Tp11	12'500,001	15'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 130 mm	250 mm
Tp12	15'000,001	20'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 140 mm	250 mm
Tp13	20'000,001	25'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 150 mm	300 mm
Tp14	25'000,001	30'000,000	Carpeta asfáltica en caliente: 150 mm	300 mm

Nota: tomado de MTC ⁽¹⁷⁾

En la presente investigación se analizó la comparación estructural de dos alternativas de pavimento flexible uno con tratamiento superficial bicapa y otro con carpeta asfáltica en caliente.

2.2.3.1. Tratamiento superficial bicapa

Es un revestimiento flexible de espesor mínimo, que está realizado por extendidos sucesivos y homogéneos de ligante bituminoso y agregado pétreo, en aplicaciones múltiples en convoy casi simultáneamente, con una posterior compactación para promover la cobertura parcial y adhesión entre el agregado pétreo y el ligante bituminoso⁽¹⁸⁾, el tamaño medio del agregado pétreo en cada capa de distribución debe ser la mitad o menor del tamaño promedio de la capa precedente. El espesor final que presenta la capa del tratamiento superficial se aproxima al tamaño más grande del agregado pétreo de la aplicación de la primera capa.

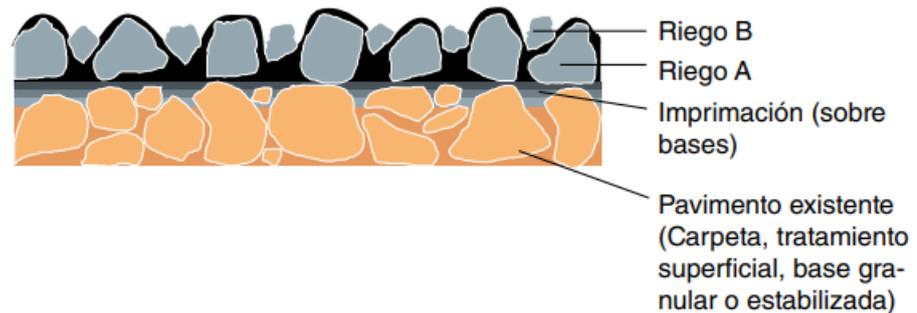


Figura 5. Tratamiento superficial bicapa, tomada de Delgado ⁽¹⁹⁾

Riego de primera capa

Consiste en el extendido de ligante asfáltico sobre una base granular debidamente imprimada, posterior a ello, de manera inmediata se coloca la piedra triturada de mayor tamaño que la segunda capa.

Riego de segunda capa

Consiste en el extendido de ligante asfáltico sobre la primera capa, seguida de piedra triturada de menor tamaño que la primera capa.

a) Funciones

- Proveer una macrotextura que permita una superficie resistente al deslizamiento.
- Protección a la estructura del pavimento.
- Impermeabilizar la estructura del pavimento.
- Proveer una superficie de alta resistencia frente a la abrasión ocasionada por los neumáticos.
- Proveer una macrotextura que permita una superficie resistente al deslizamiento.
- Proveer una superficie con condiciones aceptables, segura y confortable.

b) Ventajas

- Tiene un menor costo de construcción para cualquier tipo de clima.
- Permite un sellado total, provee una superficie impermeable.
- Provee una superficie antideslizante.
- Tiene la capacidad de conservar una vida más alargada, debido a que cuenta con un intertrabado de agregados mediante la aplicación de dos capas de ligante asfáltico.

c) Periodo de vida de servicio

- Tráfico bajo : 10 a 15 años
- Tráfico medio : 10 años aprox.
- Tráfico alto : 05 años aprox.

2.2.3.2. Carpeta asfáltica en caliente

Se define como la capa superior de una estructura de pavimento flexible que provee la superficie de rodadura para el tránsito de vehículos y peatones, está elaborada a base de materiales pétreos y productos asfálticos⁽²⁰⁾, sus funciones principales son:

a) Funciones

- Alargar el periodo de vida útil del pavimento y disminuir los costes de mantenimiento
- Incrementar la confiabilidad de la sección del pavimento
- Dar mayor resistencia a las variaciones climáticas y a las cargas de tránsito vehicular.
- Soporte y distribución de las cargas de tránsito hacia las capas adyacentes del pavimento.

b) Ventajas

- Es de instalación rápida.
- Apertura al tránsito rápido.
- Mayor rendimiento en la colocación.
- Funcionalidad buena.
- Presenta un confort superior.
- Superficie de rodadura continuo, no lleva juntas.

c) Periodo de vida de servicio

- 10 a 20 años

2.2.4. Estudio de mecánica de suelos

También es denominado como estudio geotécnico, y se define como un conjunto de tareas o actividades que por su intermedio permite la obtención de información requerida de un determinado suelo⁽²¹⁾, sin duda es una de las

informaciones más relevantes para la planeación del diseño y puesta en ejecución de un proyecto vial.

En el estudio de mecánica de suelos se tomó en cuenta las siguientes propiedades fundamentales:

2.2.4.1. Contenido de humedad

a) Normas técnicas

- ASTM – D2216
- NTP – 339.127
- MTC E 108 – 2000

b) Definición

Se define como la relación expresada en porcentaje, que representa la cantidad relativa de agua que contiene una muestra de suelo con respecto a la masa sólida del mismo⁽²²⁾.

c) Objetivo

Es la determinación de la cantidad de agua que contiene una muestra de suelo, expresado en porcentaje.

d) Equipos y materiales

- Horno eléctrico T° de 110.00 °C +- 5.00 °C.
- Bascula electrónica digital con una precisión de 0.01 gr.
- Platos metálicos
- Otros (espátula de metal, una manta para cuarteo, badilejo).
- Equipos de protección personal

e) Procedimiento

- Se deberá extraer, como mínimo, 3 muestras para realizar este ensayo, que también dependerá mucho de la cantidad de muestra.

Tabla 3. Delimitaciones para la elección de muestra para contenido de humedad

Tamaño máximo de la partícula que pasa el 100 %	Peso mínimo recomendable de espécimen de ensayo húmedo para contenido de humedad reportado a +/- 0.1 %	Peso mínimo recomendable de espécimen de ensayo húmedo para contenido de humedad reportado a +/- 1 %
2 mm o menos	20 gr	20 gr *
4.75 mm	100 gr	20 gr *
9.50 mm	500 gr	50 gr
19.0 mm	2.5 kg	250 gr
37.5 mm	10 kg	1.0 kg
75.00 mm	50 kg	5.0 kg

Nota: tomado de MTC ⁽²³⁾

- Se procede a pesar los platos metálicos vacíos (taras) registrando su identificación.
- Se coloca la muestra de suelo natural en los platos metálicos para la determinación del peso húmedo.
- Las muestras de suelo son colocados al horno por un periodo o lapso de 18.00 horas a 24.00 horas a una T° de 110.00 °C +/- 5.00 °C.
- Una vez transcurrido las 24.00 horas (aprox.) se procede al retiro de la muestra del horno para el enfriado correspondiente por un tiempo de 15 min. Aprox. Y se toma el peso correspondiente.

f) Cálculos

Los cálculos para la obtención del contenido de humedad se determinan mediante la aplicación de las siguientes formulas:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde

w : contenido de humedad en %

M_{cws} : peso del contenedor más el suelo húmedo en gr

M_{cs} : peso del contenedor más el suelo secado en horno en gr

M_c : peso del contenedor en gr

M_w : peso del agua en gr

M_s : peso de las partículas sólidas en gr

2.2.4.2. Granulometría

a) Normas técnicas

- ASTM D422
- AASHTO T88
- MTC E 107 – 2000

b) Definición

Se define como la repartición porcentual en masa de los diferentes tamaños de partícula que compone una muestra de suelo, es representada mediante una gráfica (tamaño del tamiz vs. porcentaje que pasa) denominada curva granulométrica en donde es posible observar la graduación de una muestra de suelo, su aplicación en la ingeniería es la de brindar información suficiente para tener de conocimiento de cómo y en dónde se pueden utilizar dichos suelos⁽²⁴⁾.

Según el tamaño de cada partícula de suelo, se denomina:

Tabla 4. Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
		Arena gruesa : 4.75 mm – 2.00 mm
Arena		Arena media : 2.00 mm – 0.425 mm
		Arena fina : 0.425 mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Nota: tomado de MTC⁽²³⁾

c) Objetivo

Es una determinación cuantitativa de la distribución del volumen de las partículas de la muestra de suelo que pasan por cada tamiz, que luego se representa gráficamente llamada curva de tamaño de partículas, en la que se

puede conocer la distribución de los tamaños de partículas presentes en la muestra.

d) Equipos y materiales

- Kit de tamices
- Balanza con aproximación de 0.1 gr (para los no pasantes del tamiz 4)
- Balanza electrónica digital con aproximación de 0.01 gr (para pasantes del tamiz 4)
- Horno electrónico T° de 110 +/- 5 °C.
- Escobillón metálico
- Brochas o escobillas de nylon
- Mazo de goma
- Recipientes metálicos
- Agua limpia
- Equipos de protección personal

e) Procedimiento

- Consiste en el secado de material o la muestra a una temperatura constante de 105.00 °C – 110.00 °C, la proporción de la muestra dependerá del tipo de suelo, teniendo en consideración de los parámetros que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 5. Especificaciones para selección de muestra

Diámetro nominal de las partículas más grandes		Masa mínima aprox. de
(mm)	(pulg)	la porción en gr
9.50	3/8"	500.00
19.00	3/4"	1000.00
25.40	1"	2000.00
38.10	1 1/2"	3000.00
50.80	2"	4000.00
76.20	3"	5000.00

Nota: tomado de MTC ⁽²³⁾

- Una vez que se estableció un valor constante para su peso, se registró el dato como el peso del suelo seco antes del lavado.
- Posteriormente, se procede a lavar la muestra de suelo pasando por el tamiz 200, hasta que el agua se encuentre enteramente albúmina.

- Una vez culminado todo este procedimiento se almacena en el horno por un tiempo aproximado de 24 horas y a un rango de temperatura de 105 °C – 110 °C, una vez retirado del horno, se procede a registrar el peso de la muestra seca.
- Se procede al tamizado por el juego de tamices; para luego pesar los materiales retenidos en cada tamiz, se debe tener bastante cuidado con los materiales que quedan incrustados dentro de las mallas del tamiz.
- Finalmente, se realiza el cálculo correspondiente para determinar la curva granulométrica.

f) Cálculos

El peso inicial de la muestra de suelo seco más el cambio en la suma del peso retenido de malla 200 es el peso que pasa la malla 200. Se determinan los porcentajes parciales y acumulativos con base en el peso del material. En cada tamiz, relativo al peso total de la muestra seca.

$$\% \text{ Retenido parcial} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

El porcentaje en peso de material seco que pasa por una determinada malla se calcula restando el porcentaje en peso de material acumulado del 100 %.

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

Una vez que se complete todo el proceso, se pasa a graficar la curva de tamaño de partícula. El diámetro del tamiz se representa en el eje de abscisas en una escala semilogarítmica. Esta escala se utiliza debido a la variedad de tamaños de partículas, lo que permite ver muy claramente la curva de tamaño de partículas y se representa en una escala normal en el eje de ordenadas. Se representa como un gráfico por porcentaje.

2.2.4.3. Límites de Atterberg

Estos son límites de contenido de agua que caracterizan cuatro estados de consistencia de suelo de grano fino: estado sólido, semisólido, plástico y semilíquido o cohesivo.

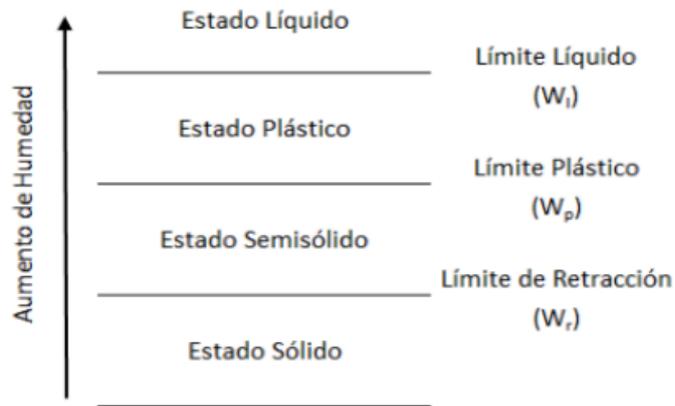


Figura 6. Resumen de interacción entre límites y estados de la materia, tomada de Castillo ⁽²²⁾

Límite líquido

a) Normas técnicas

- ASTM D423
- AASHTO T89
- MTC E 110 – 2000

b) Definición

Es la frontera entre los estados plástico y líquido, con este nivel de contenido de agua el suelo está a punto de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

c) Equipos y materiales

- Malla 40
- Cuchara Casagrande
- Acanaladores ASTM
- Balanza eléctrica digital con una precisión de 0.01 gr
- Maso de goma
- Bandejas de porcelana
- Cápsulas para determinar el contenido de humedad
- Horno eléctrico con T° de 105 a 110 $^\circ\text{C}$

- Espátulas de goma y metal

d) Procedimiento

- Se procede a tamizar por medio del tamiz 40 sobre un recipiente adecuado, se utiliza al material pasante del tamiz 40, si en caso existiera la presencia de bolones se procede a desmenuzar con una comba de goma, hasta la obtención de una muestra de 250 gr aprox.
- En un envase de porcelana se coloca una muestra de aprox. 100 gr, luego se humedece con agua destilada por un tiempo de 24 horas.
- El siguiente proceso es la calibración de la cuchara Casagrande en lo que corresponde a la altura de caída para de esta manera evitar errores al momento de su operación, este proceso se realiza con la parte posterior del ranurador con lo que se evita que la ranura sea mayor a 13.00 mm.
- se coloca una determinada porción de la pasta debidamente preparada sobre la cuchara Casagrande, teniendo en consideración que el espesor máximo es de 1.0 cm, se debe evitar que haiga contenido de aire dentro de la pasta.
- se aplica el ranurador en la pasta, que debe ser a una velocidad constante; el ranurador debe mantener en todo su recorrido normal a la superficie interior de la cuchara.
- La cuchara Casa grande se debe accionar a un ritmo de 02 golpes por cada segundo, el número de golpes debe ser debidamente contabilizadas hasta que la parte interior del talud de la ranura llegue a juntarse con el otro lado en espesor de ½” con un mínimo de 15 golpes y como máximo 35 golpes.
- Se toma una muestra de la junta y se coloca a una cápsula para la determinación de sus contenidos de humedad, se recomienda realizar 4 unidades de ensayos, 2 unidades de ensayo antes de 25 golpes y 2 unidades de ensayo posterior a 25 golpes.

e) Cálculos

Se determinó el contenido de humedad, expresado como porcentaje de muestras de suelo seco, y luego se graficó; en el eje de abscisas en escala semilogarítmica está el número de golpes, en la ordenada el contenido de humedad en escala natural, con cuatro puntos en la gráfica, los dos primeros puntos se conectan antes de 25 golpes, obteniendo la tangente del punto central. También se sigue conectando los dos puntos después de 25 golpes para obtener el punto central y finalmente se conectan los dos puntos centrales para que se forme una línea que conecta los puntos centrales que está muy cerca de los cuatro puntos.

Limite plástico

a) Normas técnicas

- ASTM D424
- AASHTO T90
- MTC E 111 – 2000

b) Definición

Es el límite entre los estados semisólido y plástico, por debajo del cual la humedad del suelo puede considerarse un material no plástico.

c) Equipos y materiales

- Malla y/o tamiz N° 40
- Placa de vidrio biselado
- Balanza electrónica digital con una precisión de 0.01Gr.
- Martillo o comba de goma
- Bandejas
- Recipientes para obtener el contenido de humedad
- Horno eléctrico con T° de 105.00 °C a 110.00 °C
- Recipientes de porcelana
- Espátulas de goma y metal

d) Procedimiento

- Para extraer una cantidad sustancial de muestra para formar un cilindro de 3 mm de espesor, se recomienda utilizar el mismo material preparado para el límite líquido.

- Sobre una base de vidrio y con la palma de la mano se empieza a formar esferas hasta alcanzar un diámetro de 3.0 mm, una vez alcanzado dicho diámetro se sigue frotando hasta que empiece a fallar o presentar fisuras en la superficie.
- Una vez alcanzada dicha fase se determina el contenido de humedad.
- Este mecanismo se itera con tres muestras, para así obtener un efecto adecuado, se debe promediar los resultados más próximos entre sí.

e) Cálculos

Una vez realizado todo el procedimiento, para la determinación del límite plástico se promedia los resultados obtenidos y se expresa en porcentajes.

Índice de plasticidad

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, expresada como porcentaje del peso seco de la muestra de suelo, indicando el tamaño del intervalo de diferencia del contenido de humedad, y manteniendo el estado plástico⁽⁹⁾.

La IP de la muestra de suelo es el dato más importante, ya que este valor da una idea de la plasticidad del material. el IP está determinado por la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP$$

Donde

IP: índice plástico

LL: límite líquido

LP: límite plástico

De acuerdo a los diferentes estudios, Casagrande ha definido que los suelos que contienen un límite líquido > 50 son denominados de plasticidad alta, sin embargo, los suelos que contienen un límite líquido < 50 son denominados de plasticidad baja.

De la misma manera, propuso el diagrama de plasticidad, que conecta el límite líquido con una gráfica de la relación entre el límite líquido vs. índice de plasticidad. Entonces, en la figura, además de las líneas que separan los suelos altamente plásticos de los suelos poco plásticos, se definen las líneas A y U, la primera línea que separa la arcilla inorgánica del limo orgánico usando la expresión:

$$IP = 0,73(LL - 20)$$

La línea U es el límite superior de la relación entre el índice de plasticidad y el límite líquido. Se define con la siguiente expresión:

$$IP = 0,9(LL - 8)$$

De esta forma, se pueden distinguir siete tipos de suelos según el diagrama de plasticidad, como se muestra a continuación:

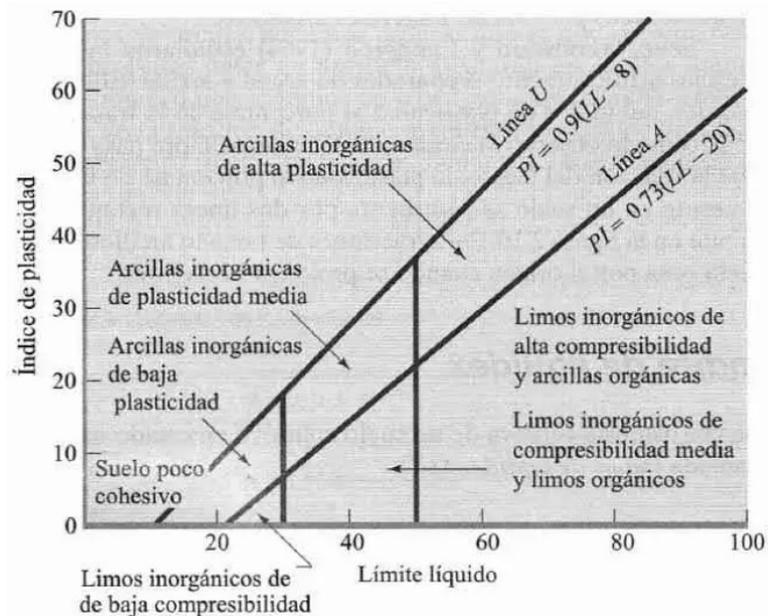


Figura 7. Carta de plasticidad, tomada de Castillo ⁽²²⁾

2.2.4.4. Clasificación de suelos

Se denomina caracterización sistemática de suelos y se basa en características únicas y utilizando criterios; para obtener propiedades físico mecánicas que definen si el suelo es de buena calidad y los parámetros necesarios para su uso como cimentación, de la misma manera, permite

evaluar los posibles usos de dichos suelos como material de construcción, básicamente en terraplenes o como material para la estructura de pavimentos⁽²⁵⁾.

a) Sistema de clasificación AASHTO

La clasificación del sistema AASHTO que se utiliza en la actualidad, clasifica el suelo en siete grupos principales: desde A-1 hasta A-7, los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 corresponden a materiales granulares, donde $\leq 35\%$ de las partículas son pasantes del tamiz 200, los suelos que clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 en su mayoría corresponden a materiales de tipo arcilloso, donde $> 35\%$ de las partículas son pasantes del tamiz 200.

Las propiedades geotécnicas de cada suelo dependen totalmente de su índice de grupo. Se puede decir que un determinado suelo con un índice de grupo de cero es un buen material para la construcción de carreteras, pero un índice de grupo ≥ 20 es un material malo para la ingeniería de carreteras.

Tabla 6. Sistema de clasificación de suelos AASHTO para materiales granulares

Clasificación general	Materiales granulares (35 % o menos del total de la muestra pasan el tamiz 200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis del tamizado (% que pasa)							
N.º 10	50 máx.						
N.º 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
N.º 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Caract. de la fracción que pasa el tamiz N.º 40							
Límite líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 mín.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de los materiales constituyentes	Fragmento de roca, Grava y arena		Arena fina	Grava con limo o arcilla arena			
Evaluación general de la subrasante	Excelente o bueno						

Nota: tomada de Arce et al. ⁽²⁵⁾

Tabla 7. Sistema de clasificación de suelos AASHTO para materiales granulares

Clasificación general	Materiales limo – arcilla (más del 35 % del total de la muestra pasan el tamiz 200)			
	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 a A - 7 - 6 b
Análisis del tamizado (% que pasa)				
N.º 10				
N.º 40				
N.º 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Caract. de la fracción que pasa el tamiz N.º 200				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de los materiales constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
	a = para A-7-5, $IP \leq LL - 30$ b = para A-7-6, $IP > LL - 30$			

Nota: tomado de Arce et al. ⁽²⁵⁾

2.2.4.5. Índice de grupo

Todos los suelos con comportamiento similar se clasificaron en un mismo grupo y se expresaron con determinados indicadores, según su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de contenido de finos que pasan por tamiz de malla 200. El índice de grupo del suelo granular generalmente está entre 0 y 4; el suelo limoso correspondiente está en el rango de 8-12, y el suelo arcilloso está en el rango de 11-12, o incluso más. Cuando se indica un índice, debe estar entre paréntesis, y el índice de grupo se determina mediante la siguiente expresión:

$$IG = (F - 35)\{0.2 + 0.005(LL - 40)\} + 0.01(IP - 10)$$

Donde

IG: índice de grupo

F: porcentaje del suelo pasante de la malla 200, expresado en número entero

LL: índice de plasticidad

b) Sistema de clasificación SUCS

Está basada en la identificación de los diferentes tipos de suelo de acuerdo a sus propiedades de textura y plasticidad y son agrupados en función a su comportamiento en una carretera, aeropuerto, vertederos y fundaciones, este método o sistema de clasificación tiene sus parámetros para la clasificación de suelos, tales como la presencia de materia orgánica, el LL, IP y granulometría. Estos suelos están repartidos en 15 grupos representados por 2 letras, en donde la primera letra corresponde a la granulometría y la segunda letra está relacionada con su plasticidad. El presente sistema de clasificación está basado en el principio de que los materiales (suelos) gruesos se pueden clasificar en función a su curva granulométrica; sin embargo, el comportamiento de los suelos finos está directamente relacionado con su plasticidad, para la presente clasificación los suelos están divididos en dos grupos. Suelos de grano grueso (donde más de 50 % es retenido en la malla 200) y suelos de grano fino (donde más del 50 % es pasante de la malla 200) ⁽²⁶⁾, los grupos de suelos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación SUCS para suelos de partículas gruesas

Suelos de partículas gruesas (más del 50 % retenido en la malla 200)							
Materiales granulares (50 % a más retenido en la malla 4)				Material arena (50 % a más pasante de la malla 4)			
Grava sin finos		Grava con finos		Arena sin finos		Arena con finos	
GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC
Grava bien graduada	Grava mal graduada	Grava limosa	Grava arcillosa	Arena bien graduada	Arena mal graduada	Arena limosa	Arena arcillosa

Nota: tomada de Dalla Roza et al. ⁽²⁶⁾

Tabla 9. Clasificación SUCS para suelos de partículas finas

Suelos de partículas gruesas (más del 50 % retenido en la malla 200)						Suelos altamente orgánicos
Limos y arcillas con LL ≤ 50			Limos y arcillas con LL > 50			
ML	CL	OL	MH	CH	OH	PT
Limo inorgánico	Arcilla inorgánica	Limo inorgánico	Limo y arena fina	Arcilla inorgánica	Arcillas orgánicas	Turbas

Nota: tomada de Dalla Roza et al. ⁽²⁶⁾

Para realizar la clasificación de suelos finos se utiliza el gráfico de plasticidad, idealizado por Arthur Casagrande, representado en la siguiente figura.

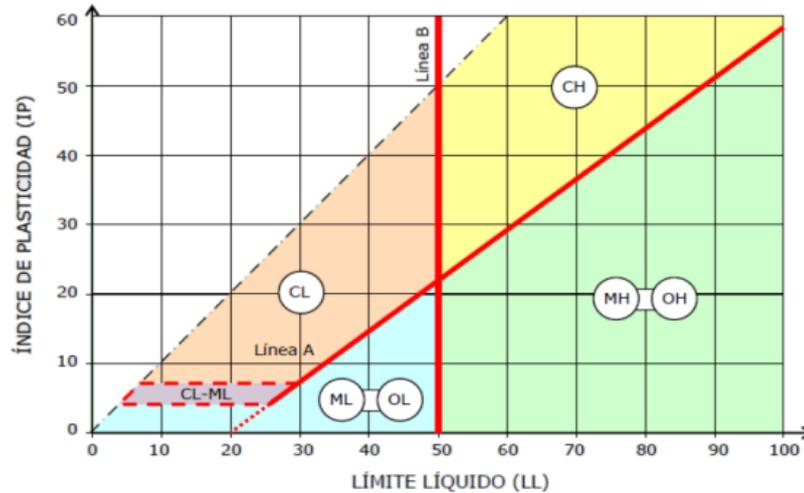


Figura 8. Carta de plasticidad tomado de Dalla et al. ⁽²⁶⁾

2.2.4.6. Proctor modificado

a) Normas técnicas

- ASSHTO T 180
- ASTM D1557 – 91
- MTC E115 – 2000

b) Definición

Es una prueba de laboratorio que permite la determinación de la relación de contenido de humedad vs. peso unitario del suelo seco compactado, dichos resultados del ensayo sirve como referencia para el control de calidad de la compactación en campo⁽²⁷⁾.

c) Objetivo

Determinar la densidad seca y la humedad para una determinada energía de compactación, y a partir de esto definir la máxima densidad seca y su correspondiente humedad, denominada humedad óptima.

d) Equipos y materiales

- Molde cilíndrico
- Martillo de 10 lb de peso
- Balanza de tres escalas
- Balanza de 20 kg de capacidad
- Horno eléctrico (110 +/- 5 °C)
- Regla metálica
- Kit de tamices

- Recipientes
- Comba de goma
- Cucharón
- Cápsulas metálicas
- Herramientas misceláneas

e) Procedimiento

- Tomar una muestra aproximada de 50 kg, secar al aire libre luego tamizar por medio de las mallas de 2", ¾", 3/8" y N.º 4. el material retenido en la malla 2 se descarta.
- Se procede a determinar los porcentajes retenidos en cada una de las mallas anteriormente mencionadas y se identifica a qué método corresponde, se recomienda realizar la evaluación del método C hacia el método A.
- Previamente al ensayo de granulometría, se debe seleccionar el método de ensayo a desarrollar y se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 10. Condiciones para ensayo de Proctor modificado

Descripción	Método a emplearse		
	A	B	C
Condiciones del material	% Ret. N.º 4 ≤ 20 %	% Ret. 3/8" ≤ 20 % y % Ret. N.º 4 > 20 %	% Ret. 3/4" ≤ 30 % y % Ret. N.º 3/8" > 20 %
Cantidad de muestra	3000 gr	3000 gr	6000 gr
Número de capas	5	5	5
Número de golpes	25	25	56
Diámetro de molde	4 pulg. (101.6±0.4 mm)	4 pulg. (101.6±0.4 mm)	4 pulg. (152.4±0.7 mm)
Altura del molde	116.4±0.5 mm	116.4±0.5 mm	116.4±0.5 mm
Caída del pisón	457.2±1.6	457.2±1.6	457.2±1.6
Pisón	10lf (44.5 N)	10lf (44.5 N)	10lf (44.5 N)
Energía específica	De 56000 lb-pie/pie ³ (2700 Kn-m/m ³)	De 56000lb-pie/pie ³ (2700Kn-m/m ³)	De 56000 lb-pie/pie ³ (2700 Kn-m/m ³)

Nota: tomada de MTC ⁽²³⁾

- Tomar el registro del peso del molde y la placa base, medir la altura, diámetro y volumen de cada molde.

- Se mezcla la muestra de suelo con agua, se recomienda utilizar agua en un 2 % con respecto al peso de la muestra, esta mezcla se debe realizar en estricto control para impedir la merma de humedad.
- Una vez homogenizada la muestra con agua se procede a dividir en cinco partes iguales, se vierte en el molde, se compacta capa por capa, el número de golpes dependerá del tipo de ensayo y método empleado.
- Se recomienda realizar cuatro repeticiones con diferentes porcentajes de humedad.

f) Cálculos

- Una vez que se determina el peso unitario seco y el contenido de agua de cada muestra compactada, se puede calcular la densidad seca de cada muestra aplicando la siguiente expresión:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{\left(1 + \frac{W}{100}\right)}$$

$$\gamma_s = \frac{P - P_{21}}{V}$$

Donde

- γ_s : densidad seca
- γ_h : densidad húmeda
- w : contenido de agua
- P1 : peso de la muestra húmeda
- P2 : peso del molde
- V : volumen del molde

- A partir de los datos obtenidos se procede a realizar el gráfico, de esta manera, se obtiene la máxima densidad seca y la humedad óptima.

2.2.4.7. Valor relativo de soporte (CBR)

a) Normas técnicas

- ASTM D 1883

- ASTM A 1883
- ASTM D 4429

b) Definición

El *California Bearing Ratio* (CBR), es una medida de la resistencia al corte de un suelo en particular bajo condiciones de humedad y densidad adecuadamente controlado, lo que permite obtener el *Brace Ratio* como un porcentaje (%). También se puede definir como la relación entre la resistencia osmótica y la capacidad de carga del suelo. Este ensayo permite obtener el coeficiente de relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica al estado en que se encuentra el suelo durante la ejecución del ensayo⁽²⁸⁾.

Por lo general, los valores de CBR se basan en una relación de carga de penetración de 2,5 mm (0,10 in), sin embargo, si el valor de CBR es mayor a una penetración de 5 mm (0,20 in), se debe repetir la prueba. Si la penetración vuelve a ocurrir con un valor de CBR superior a 5 mm, acepte el valor. Las pruebas CBR se realizan en muestras compactas con un contenido de humedad óptimo.

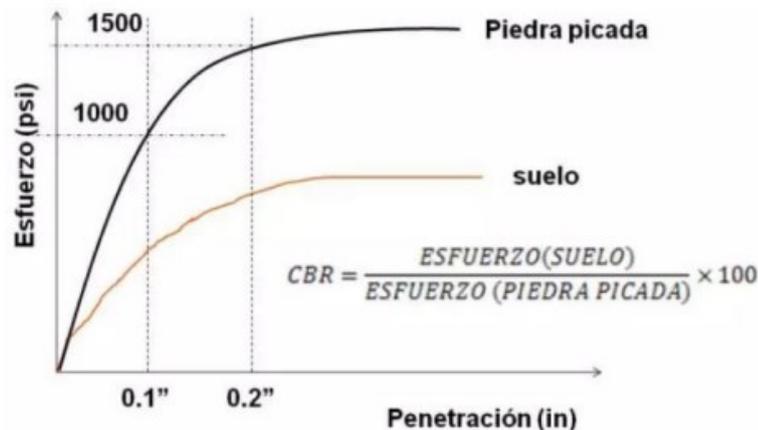


Figura 9. Definición de CBR, tomada de Contreras y García⁽²⁸⁾

c) Objetivo

Es la determinación de un índice de resistencia de los suelos conocido como el CBR, dicho dato se utiliza para la evaluación de la capacidad de soporte de los suelos de las diferentes capas de la estructura del pavimento y la subrasante.

d) Equipos y materiales

- Kit de tamices con diferentes medidas (2.0 in, $\frac{3}{4}$ in, $\frac{3}{8}$ in y N° 04)
- Equipo de prueba, gata con tornillo con control de velocímetro vertical de pistón controlada de $\frac{1}{2}$ in/min.
- Disco separador de 6.14 cm de altura
- Molde de 6.0 in debidamente equipado con un collarín de extensión de 2 in., placa de base con un orificio con un diámetro menor $\frac{1}{16}$ in.
- Vástago ajustable a la placa con orificio (10 libras)
- Trípode equipado con micrómetro con un margen de 0.0001 para el control de la expansión de la muestra
- Anillo de 5.0 – 10.0 libras, su principal función es simular la aplicación de carga del pavimento que existe sobre el suelo
- Bandejas metálicas de tamaño grande y cucharones metálicos
- Cápsulas metálicas, para la determinación del contenido de humedad
- Balanza de tres escalas
- Horno de 105.00 °C – 110.00 °C
- Mazo y/o martillo de goma, guante de hule y lona
- Probeta calibrada de 500 cm³
- Papel filtro debidamente moldeadas en forma circular con un diámetro de 6.0 in

e) Procedimiento

- La muestra de suelo debe ser secado a una temperatura ambiente o caso contrario en un horno a una temperatura no mayor a 60 °C, posterior a ello se zarandea por medio de los tamices utilizados para el ensayo de Proctor en función a la metodología utilizada, se requiere una cantidad aproximada de 6 kg para cada punto.
- Se procede con el ensamblado de los moldes que serán utilizados registrando su identificación, peso, diámetro, altura y la altura del disco espaciador.
- Se coloca el disco espaciador juntamente con el papel filtro.
- Se prepara la muestra de suelo con el contenido óptimo de humedad obtenido a base del ensayo de Proctor, una vez correctamente

homogenizada la muestra, se coloca al molde en una proporción de 1/5 de la muestra total y se procede con el compactado mediante el uso del pisón por una cantidad de 56 veces por encima de cada capa.

- Después de compactar la muestra, coloque el anillo de metal de manera que la parte superior quede plana, voltee el molde para quitar la base de metal y los espaciadores.
- Pesamos el molde con la muestra para determinar la densidad y humedad de la muestra, luego colocamos el papel filtro en una superficie nivelada con la placa de metal encima y volteamos el molde.
- Repita el mismo procedimiento descrito para las otras muestras, excepto que durante la compactación, se aplican 25 impactos a la segunda muestra y 12 impactos a la tercera capa.
- Las lecturas del extensómetro se toman en cada molde de inmersión cada 24 horas y se registran en el formato apropiado, con la última lectura tomada a las 96 horas para determinar la cantidad de expansión del material de prueba y expresar la expansión total registrada como un porcentaje en base a la altura inicial de la muestra.
- Al cabo de los cuatro días, retire los tres moldes sumergidos, deje escurrir el agua retenida durante 15 minutos, con cuidado de no perturbar las muestras, y realice la prueba de penetración.
- La muestra se coloca en una prensa debidamente sobrecargada con el pistón centrado en la muestra, siempre es recomendable verificar que el extensómetro esté en cero.
- Continuar la penetración del pistón, que debe realizarse a una velocidad constante de 0,05 pulgadas/minuto. Y registre la lectura del dial de carga de acuerdo con la tabla a continuación.

Tabla 11. Carga de penetración

Penetración	
(mm)	(pulg.)
0.63	0.025
1.27	0.050
1.90	0.075
2.54	0.100
3.17	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Nota: tomada de MTC ⁽²³⁾

- Una vez alcanzada la penetración con el pistón (0.5 pulg.), se continua con el retiro del molde de la prensa, se hace el desmontaje de todos los accesorios y se procede a desechar la muestra de suelo.

f) Cálculos

- Para la determinación del valor del CBR de una muestra de suelo, se considera como material de comparación o patrón la piedra chancada, en donde su CBR es el 100 %, por lo que, el cálculo del CBR del material calculado se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

- Tomando en consideración que la carga unitaria patrón es variable de acuerdo a la penetración; para 0.1 pulg. 1000 psi, para 0.2 pulg. 1500 psi y para 0.3 pulg. 1900 psi.
- La determinación de la expansión es mediante la diferencia de las lecturas del deformimetro anterior y posterior de la inmersión al agua, este valor está referido en un tanto por ciento referente a la altura del molde.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{\text{Altura de muestra}} \times 100$$

- Y, para finalizar se efectúa con el gráfico correspondiente a un costado de la curva proctor, la curvatura del porcentaje de CBR obtenido en cada una de las muestras frente a la densidad seca obtenida para cada una de las muestras ensayadas y el valor de CBR para 95.00% de la máxima densidad seca para suelos cohesivos y al 100.00% para suelos no cohesivos.

2.2.5. Clima

Las condiciones climáticas forman parte del diseño de las infraestructuras de obras viales, es por lo que, son de vital importancia considerar las condiciones climáticas del lugar de estudio o del lugar donde se ejecuten las obras viales, los factores como la precipitación, temperatura, viento, etc., generan un grado de impacto de mucha importancia en el comportamiento de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento⁽²⁹⁾.

2.2.5.1. Precipitación

Es el descenso del agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, que es normalmente en su estado líquido o sólido, por medio de lluvia, llovizna, chubasco, tormenta eléctrica, aguacero, monzón, manga de agua o rocío, la unidad de medida de la precipitación es en mm, y es equivalente al espesor de la lámina de agua que se formaría por encima de una superficie plana e impermeable, para la planificación de proyectos de infraestructura que son relacionados con el agua es muy necesario contar con datos climatológicos de los elementos meteorológicos, tales como la precipitación y temperatura⁽³⁰⁾.

El impacto de la humedad en pavimentos se calcula de acuerdo a la precipitación, geografía, topografía, saturación, infiltración y drenaje. La cantidad y la intensidad de las precipitaciones que puedan presentarse en forma de lluvia, nieve o granizo, son factores que afectan directamente la profundidad del nivel freático como la cantidad de agua en la superficie que se filtra al subsuelo⁽³¹⁾.

2.2.5.2. Temperatura

Es un indicador del grado o nivel de calor que posee un cuerpo o la atmósfera, de la misma manera, este calor tiene el principio de transmitir de un cuerpo con mayor temperatura a otra que cuenta con menor temperatura, las maneras o formas en las que se transfiere calor son por intermedio de la conducción, radiación y convección. En la superficie terrestre la transmisión de calor, en lo general, se da por conducción, que también dependerá mucho del contenido de humedad; mientras la existencia del agua sea mayor la conductividad también será mayor, sin embargo, en la atmósfera la transferencia de la calor ocurre de todas las formas de transmisión que existe⁽³²⁾.

2.2.6. Estudio de tráfico

Es una de las herramientas primordiales de la ingeniería, aplicada al conocimiento del tráfico (ingeniería del tráfico) que sirve para determinar el comportamiento del movimiento vehicular, en puntos o secciones específicos de una carretera. El estudio de tráfico y el análisis de demanda es la información básica para dar continuidad con las actividades de planeamiento, rehabilitación, mejoramiento, dimensionamiento y definición geométrica⁽³³⁾.

2.2.6.1. Volumen de tráfico

a) Índice medio diario semanal (IMDS)

Es la cantidad total de vehículos que circulan por medio de un determinado tramo o intersección por durante una semana dividido entre el número de días de una semana (7 días).

$$IMDS = \frac{\text{Tráfico semanal}}{7}$$

b) Índice medio diario anual (IMDA)

Es un indicador representativo del promedio diario de los vehículos por tipos y categoría que pasan una determinada carretera. Se obtiene a base del conteo vehicular durante una semana (siete días continuos) por 24 horas, utilizando los factores de corrección por estacionalidad y la fecha de aforo vehicular. El IMDA se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$IMDS = \text{Factor camión} \times IMDS$$

2.2.6.2. Número de repeticiones de ejes equivalentes

a) ESAL de diseño

Es la cantidad de repeticiones de carga por el eje estándar, que ha sido previamente planificado durante su periodo de diseño, el ESAL de diseño es la representación de las cargas de tránsito que deberán resistir las diferentes capas de la estructura del pavimento durante su periodo de diseño, con algún tipo de mantenimiento, que se calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ESALs' = \left(\sum_{i=1}^m p_i \times F_i \times P \right) \times (IMDA) \times (FC) \times F_d \times F_c \times 365$$

Donde

Pi : porcentaje del total de repeticiones de carga i-ésimo grupo de vehículos

Fi : factor de equivalencia de carga por eje, del i-ésimo grupo de eje de carga

P : promedio de ejes por camión

Fc : factor de incremento para un periodo de diseño en años

Fd : factor direccional

Fc : factor de distribución por carril

2.2.7. Método de diseño AASHTO 93

Esta metodología emplea una ecuación para determinar el parámetro conocido como número de estructuras, es un parámetro fundamental mediante la cual se determina los espesores de cada capa que componen la estructuración del pavimento⁽³⁴⁾, la ecuación general está en base a las variables siguientes:

- Tráfico de diseño
- Módulo resiliente efectivo de diseño
- Confiabilidad (desviación estándar normal)
- Desviación estándar total (So)
- diferencia del índice de serviciabilidad
- Coeficiente de drenaje
- Periodo de diseño
- Coeficiente de aporte estructural

Para el cálculo o la determinación del número estructural (SN) se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Zr * So + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{APSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR) - 8.07$$

Donde

- W_{18} : número proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simple
- Zr : desviación estándar normal.
- So : error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado
- MR : módulo resiliente (psi)
- SN : número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido
- $APSI$: variación entre índice de serviciabilidad inicial P_o , y el índice de serviciabilidad terminal, P_t . ($P_t - P_o$)

Mediante la aplicación de la ecuación se determina el valor del número estructural (SN), posterior a ello, se determina el conjunto de capas cuyos espesores (D_i) sean iguales o mayores al número estructural determinado (SN). Para la estructuración de la estructura del pavimento es recomendable utilizar la configuración siguiente (subbase, base y capa de rodadura), para variar el número estructural en las capas de la estructura del pavimento flexible la metodología AASHTO 93 provee la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 * a_3 * D_3 * m_3$$

Donde

- SN : número estructural total requerido
- a_1, a_2, a_3 : coeficientes estructurales de los materiales
- m_1, m_2 : coeficiente de drenaje de materiales granulares
- D_1, D_2, D_3 : espesores asumidos de las capas

El coeficiente estructural de la capa asfáltica (a_1) se determina a partir del módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica y con el uso del siguiente gráfico:

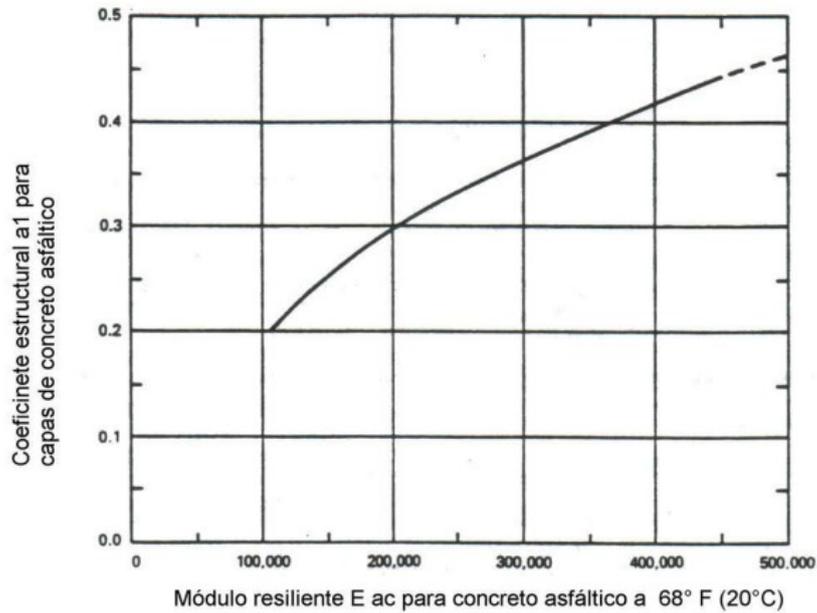


Figura 10. Gráfica para la determinación del coeficiente estructural (a_1) de la mezcla asfáltica, tomado de AASHTO 93 ⁽³⁵⁾

Los coeficientes estructurales de base granular (a_2), subbase granular (a_3) y bases tratadas, se obtienen a partir de los siguientes ábacos.

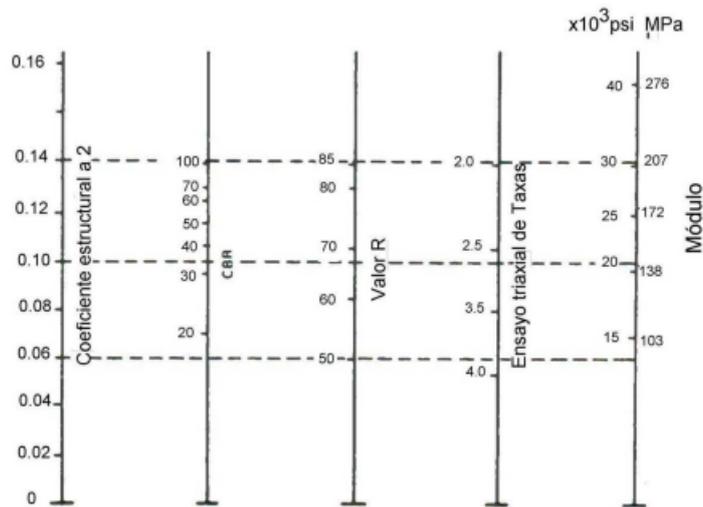


Figura 11. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural (a_2) de la capa base granular, tomada de AASHTO 93 ⁽³⁵⁾

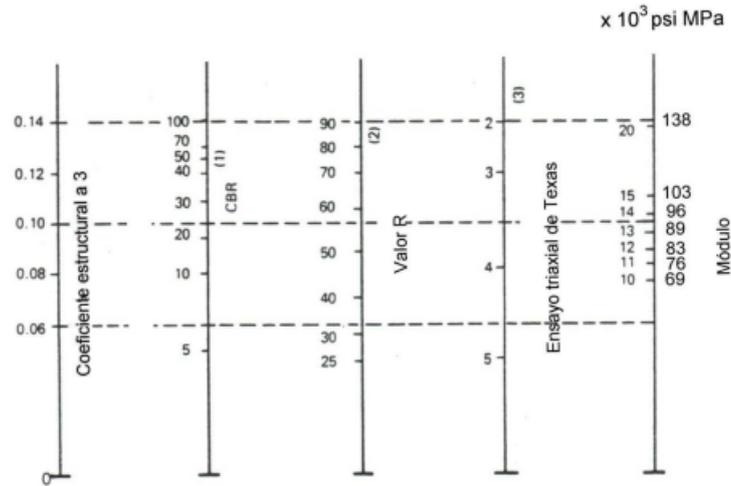


Figura 12. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural (a_3) de la capa subbase granular, tomada de AASHTO 93 ⁽³⁵⁾

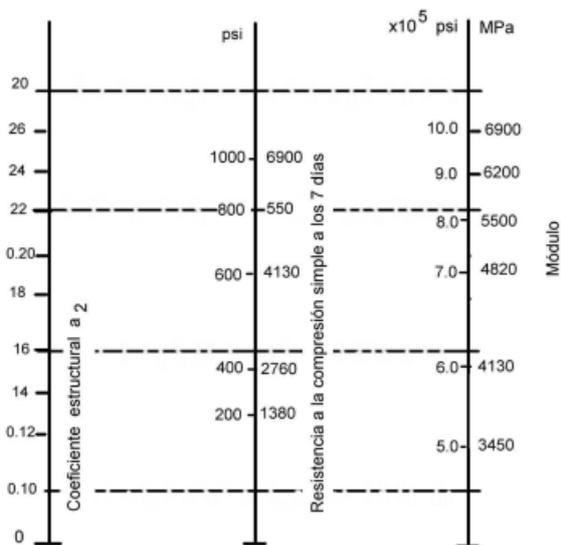


Figura 13. Ábaco para la determinación del coeficiente estructural de bases tratadas, tomada de AASHTO 93 ⁽³⁵⁾

Una vez definidos los parámetros, se debe realizar la aproximación de los espesores de las diferentes capas de la estructuración del pavimento en base a los siguientes parámetros:

$$D_1^* \geq \frac{SN1}{a_1}$$

$$SN1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN2 - SN1^*}{a_2 \times m_2}$$

$$SN1^* + SN2^* \geq SN2$$

$$D3^* \times a_3 \times m_3 + SN1^* + SN2^* \geq SN3^*$$

Donde

a, D, m y SN : son valores mínimos requeridos

D^*, SN^* : valor realmente usado debe ser mayor al requerido

2.2.8. Metodología empírico-mecanicista

Esta metodología considera los estados de esfuerzo y deformación que se manifiestan en las diferentes capas que constituyen el paquete estructural del pavimento, que también son influyentes en su comportamiento, para la aplicación de estas metodologías es necesario contar con una modelación previa de la estructuración del pavimento como de las cargas de tránsito. Sin embargo, para obtener los esfuerzos y deformaciones se hace el uso de software, en donde se ingresan los datos de carga, presión de contacto entre el neumático y la superficie de rodadura, características mecánicas de los materiales y espesores de capas, a partir de ello se analizan los resultados para comprobar si cumple con el periodo de vida útil proyectado según el diseño, en caso que no cumpla se puede realizar variación de espesores, mejorar las propiedades mecánicas de los materiales entre otros⁽³⁶⁾.

2.2.8.1. Contenido de los métodos mecanicistas

Estas metodologías buscan contar con un enfoque netamente científico, con una amplia y suficiente información literaria que facilite al diseñador realizar un análisis amplio y completo sobre la mecánica del comportamiento estructural de un pavimento ante las aplicaciones de carga vehicular o acción del clima. Se deben conocer las propiedades fundamentales de los materiales mediante ensayos de laboratorio o en campo, la aplicación de esta metodología permite predecir las posibles fallas que pueda presentar la estructura de pavimento, y en función a ello el diseñador pueda mejorar la confiabilidad del diseño⁽³⁷⁾.

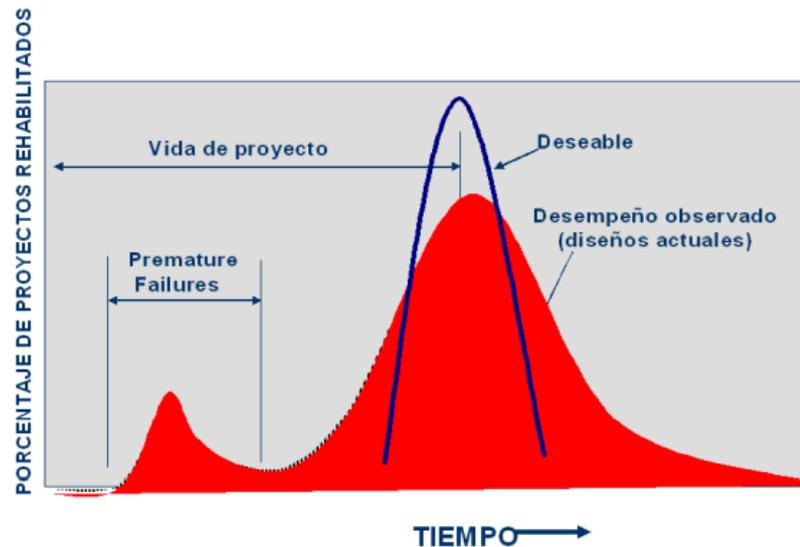


Figura 14. Gráfico donde se demuestra la mejora de la confiabilidad de los diseños que ofrecen los métodos mecanicistas, tomada de Garnica y Correa ⁽³⁷⁾

2.2.8.2. Descripción general de los métodos mecanicistas

Con respecto a la práctica actual de diseño de pavimentos en Perú, se lleva a cabo mediante las metodologías empíricas; sin embargo, la tendencia mundial se encuentra bastante encaminada hacia las metodologías empírico – mecanicistas, dentro de las que se encuentra el método AASHTO MEPDG (*Mechanistic Empirical Pavement Design Guide*), método SHELL, método norteamericano del asfalto y entre otros.



Figura 15. Estado de transición de métodos empíricos a mecanicistas, tomada de Garnica y Correa ⁽³⁷⁾

2.2.8.3. Metodología de diseño de pavimentos flexibles empírico – mecanicistas

La gran mayoría de estos enfoques de diseño de pavimentos flexibles desarrollan un enfoque general utilizando los métodos de experiencia mecánica aceptados internacionalmente en la actualidad, con algunas diferencias evidentes en su implementación. Para la aplicación de estos métodos, se deben conocer previamente las propiedades de los materiales y sus espesores están sujetos a iteraciones de diseño en caso de que el espesor

propuesto no soporte el transporte durante el diseño o durante la vida útil esperada. Nos embarcaremos en el cambio de materiales con mejores características que antes, y propondremos las siguientes propuestas para tal fin:

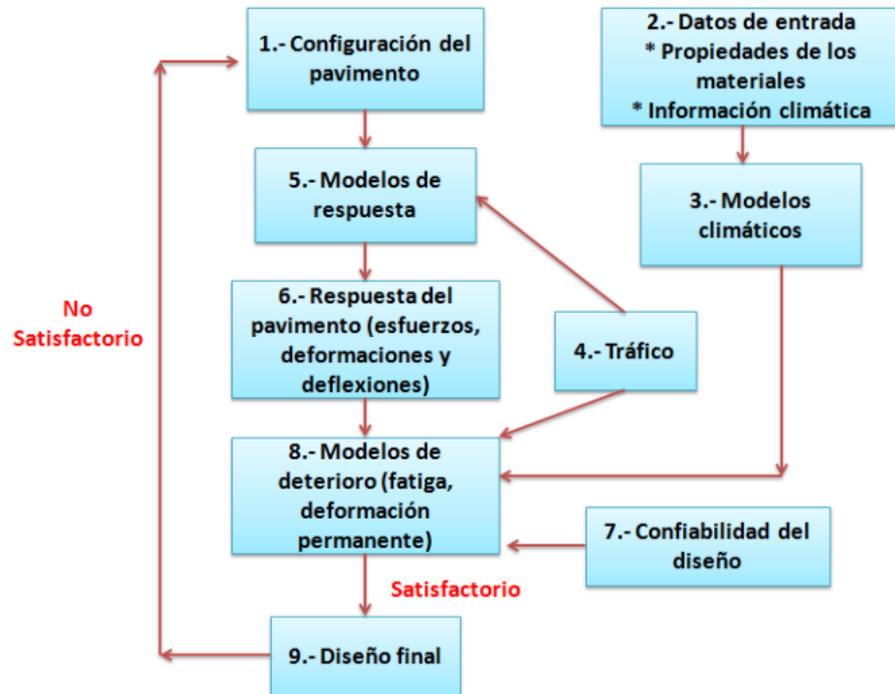


Figura 16. Metodología de diseño empírico mecanicista, tomada de Coria et al. ⁽³⁸⁾

a) Configuración del pavimento

Como primer paso se debe contar con un pre-diseño de las capas, espesores, geometría y los materiales a utilizar en la estructura del pavimento. Estos datos se pueden asumir a base de la experiencia, catálogos de secciones estructurales para pavimentos flexibles, tales como lo emplean en Francia y España. Con respecto a las especificaciones técnicas de los materiales que se utilicen en cada capa es posible asumir bajo las condiciones de experiencia del diseñador⁽³⁹⁾.

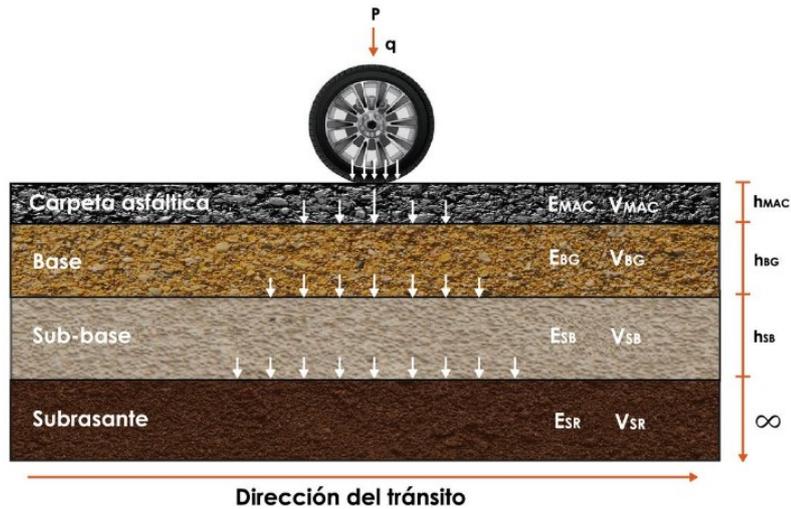


Figura 17. Configuración de la estructura de pavimento flexible

b) Caracterización de los materiales

Para cada capa de la estructura del pavimento, se debe contar con las características elásticas de los materiales debidamente definidas, tales como el módulo de elasticidad y las relaciones de Poisson. Para el presente caso para capas de asfalto se utiliza el módulo dinámico y, para caso de las capas granulares, el módulo resiliente.

Tabla 12. Módulos elásticos (E) usualmente utilizados en pavimentos

Material	Rango (MPa)	Valor típico (MPa)
Carpeta asfáltica convencional	2000 - 4000	3000
Carpeta asfáltica con asfalto modificado	4000 - 6000	5000
Base estabilizada con cemento	750 - 2000	1500
Base estabilizada con asfalto	500 - 1500	1000
Base hidráulica	270 - 350	310
Subrasante	190 - 260	220

Nota: tomada de Garnica y Correa ⁽³⁷⁾

Tabla 13. Relación de Poisson (v) usualmente utilizados en pavimentos

Material	Rango	Valor típico
Carpeta asfáltica convencional	0.15 - 0.45	0.30
Carpeta asfáltica con asfalto modificado	0.15 - 0.30	0.20
Base estabilizada con cemento	0.15 - 0.30	0.20
Base estabilizada con asfalto	0.15 - 0.45	0.30
Base hidráulica	0.30 - 0.40	0.35
Subrasante	0.30 - 0.50	0.40

Nota: tomada de Garnica y Correa ⁽³⁷⁾

c) Modelos climáticos

Actualmente, son poco difundidos debido a la complejidad de su análisis. Para este caso se aceptan modelos de balance de humedad, transferencia de calor, infiltración y drenaje.

• Modelo climático para temperatura

La capa asfáltica es una grava a base de materiales pétreos, materiales asfálticos y aditivos, y sus propiedades mecánicas dependen básicamente del comportamiento de cada componente. El comportamiento del módulo dinámico depende de la temperatura, la carga, la edad de la superficie de la carretera, las propiedades de la grava asfáltica. Witczak desarrolló un método que tiene en cuenta la composición de las mezclas asfálticas para determinar el módulo dinámico en un rango de temperatura (-17,7 a 54,4 °C). Frecuencia de carga (0,1 a 25 Hz) y otras condiciones relevantes para el envejecimiento, así como información disponible sobre especificaciones de materiales o diseño de volumen de mezcla asfáltica⁽⁴⁰⁾. A continuación, se presenta la ecuación de Witczak:

$$\begin{aligned} \text{Log} E^* = & 3.750063 + 0.029932P_{200} - 0.001767P_{200}^2 - 0.002841P_4 - 0.058097V_a - 0.802208 \left(\frac{V_{bfff}}{V_{bfff} - V_a} \right) \\ & + \frac{3.871977 - 0.0021P_4 + 0.003958P_{38} - 0.000017P_{38}^2 + 0.005470P_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.31335 \log(f) - 0.393532 \log(\eta))}} \end{aligned}$$

Donde

E^* : módulo dinámico, Psi

η : viscosidad del asfalto al envejecimiento y temperatura de interés, 10^6 poise

$$\eta = \frac{G^*}{10} \left(\frac{1}{\text{sen} \delta} \right)^{4.8628}$$

f : frecuencia de carga Hz

V_a : contenido de vacíos de aire %

V_{bfff} : contenido de asfalto efectivo, % por volumen

P_{34} : porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 19 mm

P_{38} : porcentaje retenido acumulado en el tamiz de 9.5 mm

P_4 : porcentaje retenido acumulado en el tamiz 4

P_{200} : porcentaje retenido acumulado en el tamiz 200

Determine el valor correspondiente a la temperatura de la base de datos climática. Para determinar la temperatura máxima se considera el promedio de los siete días consecutivos más calurosos del año, y la temperatura mínima se considera el valor mínimo registrado en el registro climático⁽⁴¹⁾.

Mediante el empleo de las siguientes ecuaciones se determina el tipo de asfalto por grado, tanto para temperaturas bajas y altas para ambos casos con un grado de nivel de confianza de 98 %.

$$T_{(pav)} = 54.32 + 0.78T_{(air)} - 0.0025Lat^2 - 15.14\log_{10}(H + 25) + z(9 + 0.61s_{air}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde

$T_{(pav)}$: temperatura del pavimento bajo la superficie °C

$T_{(air)}$: temperatura alta del aire °C

lat : latitud donde se tomó la T°

H : profundidad desde la superficie mm

s_{air}^2 : desviación estándar del promedio de los 7 días con T°
altas °C

$$T_{(pav)} = 1.56 + 0.72T_{(air)} - 0.004Lat^2 - 6.26\log_{10}(H + 25) + z(4.4 + 0.52s_{air}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde

$T_{(pav)}$: temperatura del pavimento bajo la superficie °C

$T_{(air)}$: temperatura alta del aire °C

lat : latitud donde se tomó la T°

H : profundidad desde la superficie mm

s_{air}^2 : desviación estándar del promedio de los 7 días con T°
altas °C

- **Modelo climático para contenido de agua del suelo**

Uno de los mejores métodos para caracterizar los materiales que componen las diferentes capas del suelo es el módulo de elasticidad. La presencia de agua afecta significativamente el comportamiento de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento, a mayor contenido de agua, menor módulo de elasticidad, y es posible que el agua

afecte las capas de dos maneras diferentes. Estructura de pavimento flexible de capa adaptativa: el estado de tensión puede verse afectado por la succión o la presión intersticial y por la ruptura de la unión entre las partículas⁽⁴¹⁾.

El contenido óptimo de agua de los terraplenes de la subrasante para la ingeniería de pavimento antifiltración se evaluó en base a tres condiciones climáticas y geotécnicas de laboratorio representativas: una subrasante con un nivel freático lo suficientemente cerca del suelo, una subrasante con un nivel freático profundo y una subrasante con suficiente agua de lluvia. Suficiente para crear variaciones estacionales debajo de las carreteras y eventualmente subrasantes en áreas sin nivel freático.

El modelo climático de la primera condición está sujeto a una corrección por los módulos elásticos de las capas que componen la organización estructural del pavimento flexible. La corrección se basa en la saturación presente en cada capa, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\log \frac{M_R}{M_{Ropt}} = a + \frac{b - a}{1 + EXP(\ln \frac{-b}{a} + k_m(S_r - S_{ropt}))}$$

Donde

$\frac{M_R}{M_{Ropt}}$: relación de módulo resiliente

M_R : módulo resiliente en un determinado tiempo

M_{Ropt} : módulo resiliente en una condición de referencia

a : valor mínimo de $\log \frac{M_R}{M_{Ropt}}$

b : valor máximo de $\log \frac{M_R}{M_{Ropt}}$

k_m : parámetro de regresión

$(S_r - S_{ropt})$: variación en el grado de saturación manifestado en decimal

d) Condiciones de tránsito

El tránsito debe estar subdivisionado en una cierta cantidad de grupos, cada uno de ellos con configuraciones diferentes, pesos y número de repeticiones. De la misma manera exhorta que el peso de la configuración, distancia entre ejes, el radio y la presión de contacto entre el neumático y la

superficie de rodadura son variables que se utilizan en los diferentes modelos estructurales, sin embargo, el número de repetición de los ejes equivalentes se utiliza en los módulos de deterioro.

Para las metodologías mecanicistas se deben considerar el tránsito de camiones cargados (ejes simples, tándem y trídem) en términos de ejes de espectro de carga. El enfoque de ESAL en las metodologías empíricas ya no son utilizadas como dato de entrada directa en el diseño, no obstante, para algunos casos será solicitado como un diseño preliminar o a fin de dar una revisión, también se presentan casos que los espectros de carga son convertidas en ESAL por interno del software utilizado a manera de dar utilidad de modelos matemáticos previos⁽⁴²⁾.

e) Modelos estructurales

En los países desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica, los programas computacionales más usuales o recomendadas son el ELLI – PAVE y MICHI – PAVE. Sin embargo, algunos investigadores han mencionado que dichos programas computacionales presentan una serie de deficiencias, por lo que recomiendan que deben ser corregidos antes de utilizar, uno de los problemas más resaltantes es que las soluciones elásticas lineales determinadas por esos modelos presentan una variación considerable frente a los resultados obtenidos mediante la teoría de elasticidad de capas múltiples⁽³⁹⁾.

En la actualidad tanto en el mercado nacional como internacional se tiene la disponibilidad de una variedad de programas computacionales, las comunes son ELSYM5 (FHWA), Kenlayer (Universidad de Kentucky), Vesys (MIT), DAMA (AI), IMT – PAVE (IMT) y WinDEPAV. De esta variedad de modelos el más utilizado en la actualidad es el Kenlayer, para el presente caso se utilizó el software WinDEPAV.

f) Respuesta del pavimento

La respuesta estructural de un pavimento ante una solicitud de carga está dada en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, la determinación de estas respuestas estructurales sirven como parámetros para predecir los deterioros del pavimento⁽⁴³⁾.

- **Modelo multicapa**

Joseph Boussinesq en 1885, teniendo como punto de partida la teoría de elasticidad, elaboró las primeras respuestas de repartición de esfuerzos ocasionados por una carga aplicada a la superficie de una determinada estructura de suelo, que debe ser homogénea e isotrópica de dimensiones semiinfinitas, mostrada a continuación.

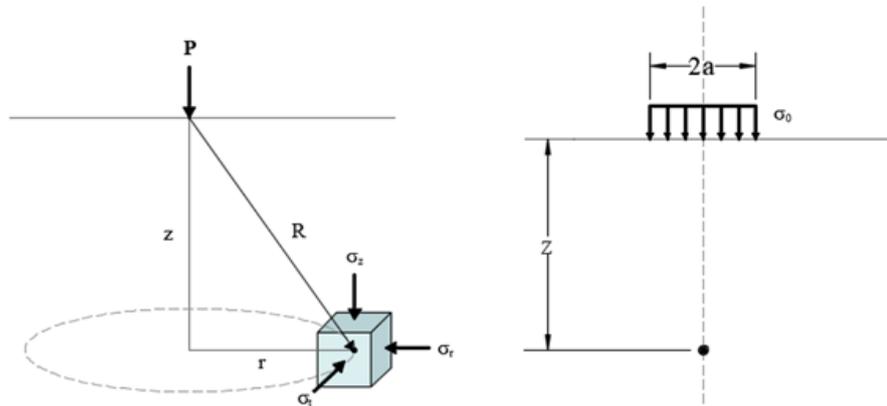


Figura 18. Esquema de Boussinesq para un espacio semiinfinito homogéneo e isotrópico, tomada de Michá⁽⁴³⁾

La aplicación de carga por medio de un neumático se aproxima a una placa flexible de radio “a” y una presión uniformemente distribuida “ σ_0 ”, en caso de que la solución de carga puntual se integre en un área circular se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_z = \sigma_0 \left[1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0}{2} \left[1 + 2\mu - \frac{2(1 + \mu)z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1 + \mu)\sigma_0}{E} \left[1 + 2\mu + \frac{2\mu z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1 + \mu)\sigma_0}{2E} \left[1 - 2\mu - \frac{2(1 + \mu)z}{(a^2 + z^2)^{0.5}} + \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{1.5}} \right]$$

A partir de ello, Burmister en 1943 propone la teoría multicapa elástica para evaluar el estado de esfuerzos en una estructuración de

pavimento, primero, ha propuesto una solución basada en dos capas y posteriormente basado en n capas.

- **Odemark – Boussinesq**

Este método se basa en la superposición de esfuerzos y deformaciones por debajo de una capa, está en función a su rigidez. Si el espesor, módulo y relación de Poisson de una capa son modificadas; sin embargo, si la rigidez permanece sin modificar, los esfuerzos y deformaciones por debajo de la capa también se mantienen sin modificar, tal como se aprecia en la siguiente figura.

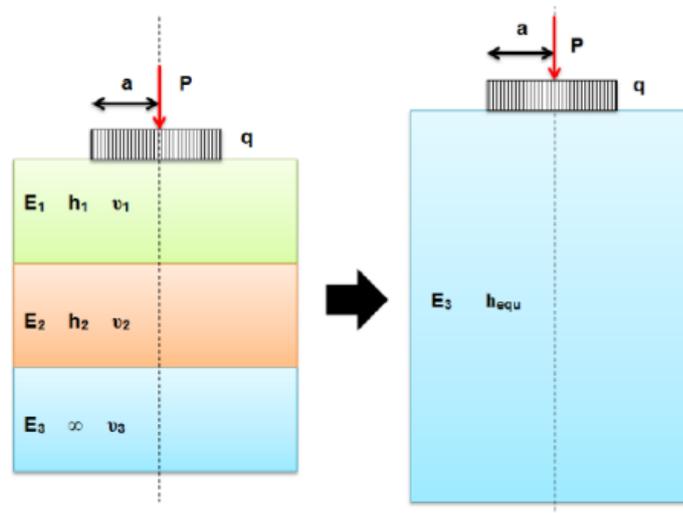


Figura 19. Espesores equivalentes de Odemark para sistemas multicapa, tomada de Coria et al. ⁽⁴⁴⁾

Por lo que, se puede decir que el uso de esta metodología consiste en determinar un espesor equivalente “ h_e ”, para la capa uno, será con un módulo igual al de la capa dos “ E_2 ”, en ese entender, se obtendría un espacio semiinfinito homogéneo en donde se puede aplicar la solución a partir de las ecuaciones de Boussinesq.

Se entiende que la metodología de Odemark es una aproximación, entonces, se debe insertar un factor de corrección f , por medio de la siguiente ecuación.

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

Donde

f : 1.0 para la primera interfaz es independiente del número de capas

f : 0.8 para la segunda capa de un sistema de capas

f : 0.9 a partir de la segunda capa en adelante

En caso de un sistema multicapa, el espesor equivalente de (n-1) en concordancia a la capa “n” se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$h_e = f * \sum_{i=1}^{n-1} h_i * \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n} * \frac{(1 - \mu_i^2)}{(1 - \mu_n^2)}}$$

g) Análisis de confiabilidad

Debido a la variabilidad que se presentan en las características de los materiales, factores climáticos, valoración de tránsito y proceso constructivo será de mucha importancia realizar una evaluación de confiabilidad.

h) Modelos de deterioro

Estos modelos de deterioro son funciones de evacuación que conectan la respuesta estructural de un sistema con numerosos tipos de deterioro. Estas metodologías necesitan una amplia y constante calibración y revisión en campo para que sean de mayor confiabilidad y también se deben tomar en consideración las condiciones de zona del lugar donde serán empleados.

Mediante la aplicación de estos modelos se pretende evaluar el tiempo de vida que le resta a una estructura de pavimento desde el momento que es puesta en servicio. Se puede referir que busca la determinación del tiempo que soportará la estructura de pavimento el tránsito vehicular con niveles de servicio aceptables, antes de requerir cualquier tipo de mantenimiento⁽⁴⁵⁾.

Con respecto a los modelos de deterioro se cuenta básicamente con el análisis por fatiga y el análisis por deformación permanente, por lo que, el Instituto Mexicano de Transportes ha creado sus propios modelos matemáticos conseguidos a partir de la elaboración de ensayos tanto en campo como en laboratorio; no obstante, también se tiene la posibilidad de

personalizar dichos modelos por intermedio de la inserción de los propios factores.

- **Modelo de rotura a causa de la fatiga**

El fenómeno de esfuerzos de tracción es la respuesta con respecto al comportamiento elástico de la estructura de un pavimento bajo las condiciones de cargas de tráfico, por lo tanto, el inicio de la formación y presencia de fisuras es el resultado del comportamiento de fatiga de la capa. Cuando los esfuerzos de tracción/deformación son mayores, serán los responsables de causar fisuramientos por fatiga, esto puede ocurrir por causas de que la capa de mezcla asfáltica sea relativamente delgada o débil, cargas muy elevadas, capas granulares relativamente débiles, que podrían ser por causas de humedad, baja densidad o compactación inadecuada⁽⁴⁶⁾, este mecanismo se puede dividir en:

- Acontecimiento de esfuerzos de tracción - deformación por tracción en la capa asfáltica
- Acontecimiento repetitivo del esfuerzo de tracción - deformación bajo las repeticiones de tráfico

De manera global el criterio de falla por fatiga es expresado mediante la siguiente ecuación.

$$N_f = f_1 * (\varepsilon_t)^{-f_2} * (E_{AC})^{-f_3}$$

Donde

N_f : número de repeticiones admisibles para la prevención del agrietamiento por fatiga.

ε_t : deformación unitaria por tensión en la fibra inferior de la capa más profunda en contacto con el asfalto en mm/mm

E_{AC} : módulo de elasticidad de la capa asfáltica

f_1, f_2, f_3 : coeficientes determinados en laboratorio por intermedio de ensayos de fatiga, con f_1 variable para correlacionar con el comportamiento real en las vías

Tabla 14. Función de transferencia para agrietamiento por fatiga

Función	f_1	f_2	f_3
CRR Bélgica	$4.856 \cdot 10^{-14}$	4.7690	0.00000
Nottingham	$8.888 \cdot 10^{-13}$	4.90200	0.00000
Hudson	$5.348 \cdot 10^{-18}$	6.17280	0.00000
SHELL	$3.981 \cdot 10^{-6} (0.856vb + 1.8)^5$	5.00000	1.80000
Asphalt Institute	$0.414 \cdot 10^{4.84} \{ [vb / (Vv + vb)] - 0.69 \}$	3.29100	0.85400
ROADENT 4.0	$2.830 \cdot 10^{-6}$	3.20596	0.00000
Animesh Pandey	2657.8721	3.56500	1.47470

Nota: tomado de Huang ⁽⁴⁷⁾

- **Modelo de ahuellamiento por deformación permanente**

Se le denomina a la deformación permanente al resultado de la repetición de carga, lo que ocasiona la acumulación e incremento de las deformaciones permanentes, los ahuellamientos se generan a causa de la densificación, consolidación y reducción en vacíos, que ocasiona la variación del volumen y esta solamente es una deformación en dirección vertical más conocido como ahuellamiento primario, el ahuellamiento bidimensional es causado por la combinación de la falla por corte y el movimiento lateral y vertical del material, que se denominan ahuellamiento secundario y terciario ⁽⁴⁶⁾.

El ahuellamiento real es la suma de la consolidación y el desplazamiento de las capas que componen la estructura del pavimento flexible y la subrasante misma; sin embargo, debido a procesos de construcción imperfectos, la estructura puede contribuir demasiado. Esta situación es controlable en términos de la deformación por compresión (ϵ_z) de la superficie de la subrasante, aunque la función de transferencia relacionada con la tensión vertical (σ_z) se ha formulado en la misma ubicación. Esta función está representada por:

$$N_d = f_4 * (\epsilon_z)^{-f_5}$$

Donde

N_d : número de repeticiones admisibles para prevenir el ahuellamiento de la superficie de la capa asfáltica.

ε_z : deformación unitaria por compresión en la parte superior de la subrasante en mm/mm.

f_4, f_5 : coeficientes determinados de observaciones de comportamiento en campo en ensayos viales como el AASHTO y a partir de un valor máximo admisible de profundidad de la huella.

Tabla 15. Funciones de transferencia para ahuellamiento

Función	f_4	f_5
Dornon y Metcalf	$6.0690 \cdot 10^{-10}$	4.76190
CRR Bélgica	$3.0505 \cdot 10^{-19}$	4.34780
Nottingham	$1.1263 \cdot 10^{-6}$	3.57140
AASHTO – SHELL		4.00000
50 % nivel de confianza	$6.1466 \cdot 10^{-7}$	4.00000
85 % nivel de confianza	$1.0498 \cdot 10^{-7}$	4.00000
95 % nivel de confianza	$1.0214 \cdot 10^{-7}$	4.16670
LCPC	$1.6076 \cdot 10^{-9}$	4.44444
Chevron	$1.3650 \cdot 10^{-9}$	4.47700
Asphalt Institute	$4.7600 \cdot 10^{-8}$	4.53370
Animaesh Pandey	$6.0690 \cdot 10^{-10}$	

Nota: tomada de Huang ⁽⁴⁷⁾

- **Hipótesis de Miner**

Es conocida por hipótesis de acumulación de daño en la estructura de pavimento.

$$D = \frac{ESAL}{N_f}$$

Donde

D : daño acumulado del pavimento

N_f : número de repeticiones admisibles para prevenir la ocurrencia de los criterios de daño de agrietamiento o ahuellamiento, deducido de las correspondientes funciones de transferencia.

$ESAL$: aplicaciones de carga que corresponde al tránsito de diseño proyectado

Esto se define como falla en caso de que el número de aplicaciones de carga, excedan el número permisible, es por lo que, debe cumplir la siguiente condición $D \leq 1.0$, este criterio de falla requiere que las funciones de transferencia utilizadas sean correlacionadas con los parámetros de falla.

i) Diseño final

Incluye una comparación del número de repeticiones del eje equivalente durante el diseño estructural del pavimento con el número de repeticiones permisibles derivadas del modelo de degradación. Si el resultado es mayor, esto indica que el material sigue siendo insatisfactorio, por lo que se debe repetir el proceso, modificando las propiedades elásticas de las secciones del pavimento o de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento flexible, como el módulo de elasticidad y módulo de resiliencia, hasta lograr un diseño que satisface las solicitudes de tráfico esperado.

2.2.9. Comparación técnica

Desde los inicios del siglo XX las estructuras de pavimentos han sufrido un desarrollo evolutivo y tecnológico de una manera muy continua, siempre con el propósito de proveer vías de comunicación terrestre con un nivel de servicio eficiente. Durante esta evolución el objetivo siempre ha sido la elección entre un pavimento flexible y un pavimento rígido; sin embargo, a causa de la aparición e implementación de nuevos materiales, tecnologías y metodologías de diseño de pavimentos. Nace la idea de comparar las diferentes alternativas de pavimentos flexibles, para el presente caso se compara una estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y otro con tratamiento superficial doble en términos de espesores, número de capas, esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

La comparación técnica entre estructuras de pavimento permite en una etapa muy temprana del desarrollo de un proyecto a evaluar el comportamiento de dos a más alternativas para predecir su vida útil. La variedad de concreto asfáltico moderno plantea el problema de encontrar las soluciones de diseño más efectivas basadas en los resultados de la comparación de los indicadores de desempeño de los pavimentos de las vías terrestres⁽⁶⁾.

Por medio de una comparación técnica se presenta una perspectiva amplia con la intención de mejorar un diálogo proactivo que encamine al diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos que cuenten con un desempeño con nivel aceptables y que sea coherente con la aplicación de los nuevos conocimientos técnicos, es muy importante recordar que los pavimentos son estructuras sometidas a cargas externas de tráfico y clima que ocasionan esfuerzos y deformaciones internas en las capas que componen la estructura del pavimento. El tipo de estructura de

pavimento que se empleará dependerá de la función que desempeñe y de los factores que intervengan durante su periodo de servicio para el que fue diseñado⁽⁵⁾.

Ahora, se muestran las principales diferencias que existen entre un pavimento flexible con capa de asfalto caliente y un pavimento flexible con tratamiento superficial de doble capa:

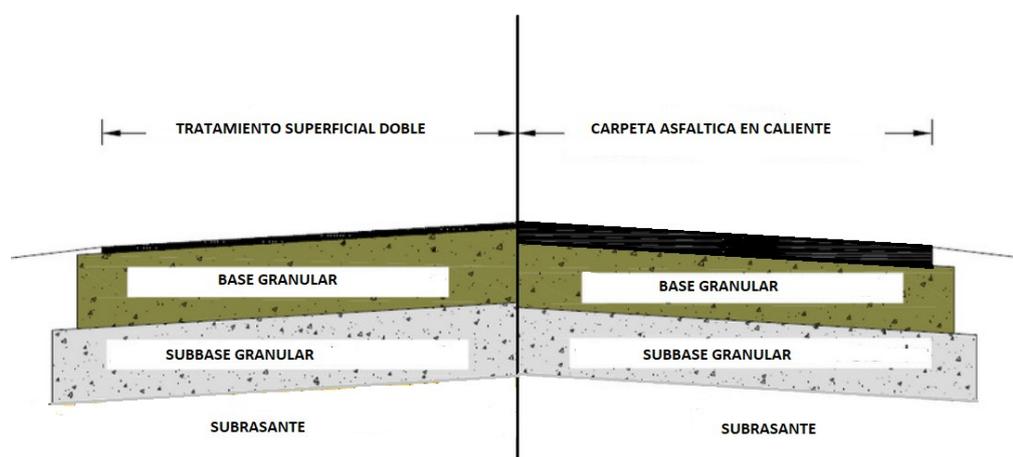


Figura 20. Comparación de estructura de pavimento flexible

a) Periodo de diseño

Los periodos varían entre 5 a 20 años, que básicamente estarán en función al número de ejes equivalentes, alternativas tecnológicas de pavimentos flexibles entre otros factores, es muy importante recalcar que los pavimentos con carpeta asfáltica en caliente tienen un periodo de diseño mayor que un pavimento con tratamiento superficial bicapa, estas recomendaciones reflejan la percepción de que los pavimentos con carpeta asfáltica en caliente tienen un periodo de vida útil más prolongado que los pavimentos con tratamiento superficial bicapa; sin embargo, se puede diseñar para ambas tecnologías de pavimento con el mismo periodo de diseño, el cumplimiento del periodo estará en función al mantenimiento que será diferente para cada alternativa de pavimento.

b) Desempeño estructural y transmisión de esfuerzos

El pavimento flexible se compone de múltiples capas, y los esfuerzos impuestos por las cargas que actúan sobre él se distribuyen gradualmente a través de la estructura del pavimento, cumplen funciones estructurales; sin embargo, debe quedar claro que la superficie de la capa de tratamiento de doble capa no tiene una función estructural.

c) Tipos de fallas

Las principales fallas que presentan las estructuras de pavimento flexibles con normalidad son fallas por fatiga y falla por deformación permanente de la subrasante o de alguna capa que conforma la estructura del pavimento flexible. Las fallas por fatiga se manifiestan como fisuras longitudinales en la huella del neumático y con el paso del tiempo, en caso de no ser tratada en el momento oportuno, se convierte en una falla tipo piel de cocodrilo, en cambio, la deformación permanente ocurre a causa de las deformaciones plásticas acumuladas no recuperables en periodo de acción cíclica de las cargas, su manifestación se aprecia como ahuellamientos.

d) Serviciabilidad

Es la habilidad de un pavimento de prestar un servicio al tipo de tráfico que utiliza una determinada vía, que son medibles mediante la metodología PSI en escalas de 0 a 5 en donde el 0 califica una vía intransitable y califica un pavimento nuevo o en una condición excelente, y mediante la metodología PSI en escalas de 0 a 100 en donde 0 califica una vía de muy mala calidad y 100 califica como una vía de muy buena calidad⁽⁴⁸⁾.

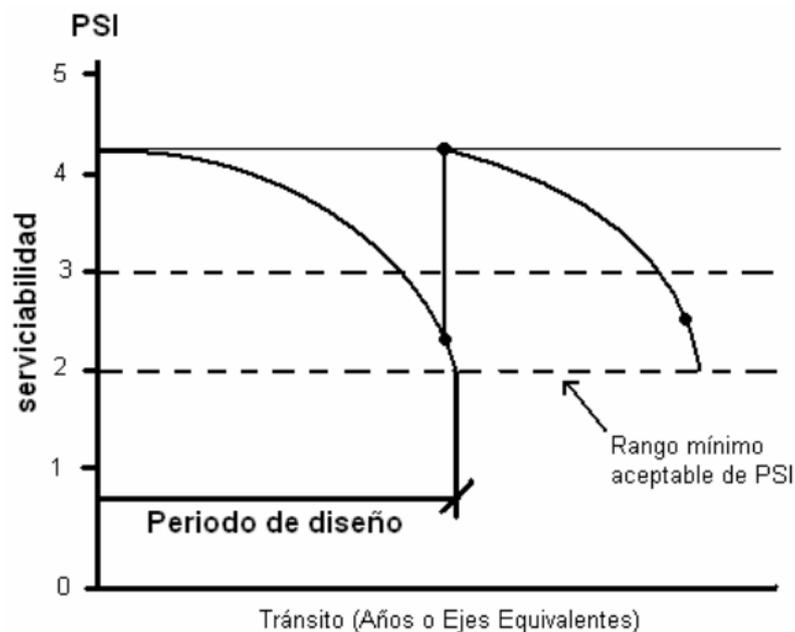


Figura 21. Curva típica de deterioro, tomada de Martínez y Noguera ⁽⁴⁸⁾

2.2.10. Comparación económica

La comparación económica tiene como objetivo el análisis del desarrollo de los resultados y la rentabilidad de los capitales utilizados, para determinar la rentabilidad de una alternativa a comparación de otra.

2.2.10.1. Metodología de costo - efectividad

Es un método de análisis económico que hace la comparación de los costos relativos con los resultados (efectos) de dos a más proyectos, el análisis de costo – efectividad es diferente al análisis de costo beneficio, que asigna un valor monetario a la medida del efecto, que se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$CE = \frac{VAC}{IE}$$

Donde

CE: cociente costo efectividad

VAC: valor actual de los costos del proyecto

IE: indicador de efectividad

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Ubicación de la zona a estudiar

Esta investigación se realizó en Arequipa, provincia de Caraveli entre los distritos de Chala y Huanuhuanu.



Figura 22. Ubicación de la zona de estudio, tomada de Google Earth

3.2. Método y alcance de la investigación

3.2.1. Método de investigación

La metodología que se utiliza para la presente investigación es el científico, debido a que según Galarza⁽⁴⁹⁾ manifiesta que es un proceso objetivo, metodológico y

de mucha utilidad para crear conocimientos, la metodología científica es muy flexible y dinámico; se mantiene en constantes mejoras y perfeccionamientos.

3.2.2. Alcance de la investigación

3.2.2.1. Tipo de investigación

Corresponde al tipo de investigación correlacional, porque tiene el propósito de hacer una comparación técnica y económica entre una estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y otro con tratamiento superficial bicapa diseñadas mediante los métodos AASHTO 93 y empírico mecanicista. Según Galarza⁽⁴⁹⁾ cuenta con el objetivo de determinar el grado de relación que tienen de dos a más conceptos o variables, dicha correlacional puede resultar como positivo o negativo.

3.2.2.2. Nivel de investigación

Corresponde a un nivel de investigación aplicativo.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Tipo de diseño de la investigación

Para la presente investigación corresponde el de tipo no experimental.

3.3.2. Población y muestra

3.3.2.1. Población

La población es un conjunto delimitado con características muy similares, por lo que, las conclusiones de la investigación serán amplias, esta queda delimitada por los objetivos y el problema de investigación⁽⁵⁰⁾, para la presente investigación se tiene como población la carretera Chala – Mollehuaca.

3.3.2.2. Muestra

La muestra es un subconjunto en específico de manera limitada y representativa que se sustrae de la población accesible, es por lo que, una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, lo que permite al investigador hacer inferencias o generalizar resultados por el resto de la población⁽⁵⁰⁾, al respecto, para la presente investigación se consideró un subconjunto representativo de 5 kilómetros (prog. 00+000 a la prog. 05+000) en donde se realizará la exploración de 10 calicatas a cada 500 metros para la determinación de 10 unidades de clasificación de suelo, 5 unidades de Proctor, 5 unidades de CBR,

5 unidades de contenido de humedad, con respecto al estudio de tráfico se realiza 1 punto de aforo o conteo vehicular, de igual manera, se realizará el diseño de la estructura de pavimento flexible con mezcla asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante la aplicación de dos metodologías (AASHTO-93 y empírico mecanicista). Todo ello, con fines de realizar la comparación técnica y económica.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas para la recolección de datos

Son procedimientos y actividades que facilita al investigador recopilar la información requerida para dar cumplimiento al objetivo de la investigación, además, la técnica debe señalar el procedimiento para alcanzar un fin o hechos planteados, por lo que, tiene un carácter práctico y operativo⁽⁵¹⁾.

Por lo tanto, para la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Observación
- Análisis documental
- Análisis de contenido

3.4.2. Instrumentos empleados en la recolección de datos

Los instrumentos son conocidos como herramientas que serán utilizados para determinar los datos de la realidad que se investiga⁽⁵¹⁾.

Por lo tanto, para la presente investigación se utilizó los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- Guía de observación
- Fichas digitales
- Cuadro de registros

3.5. Procedimientos de recolección de datos

3.5.1. Estudio de suelos

Con respecto al estudio de suelos se ha solicitado a la municipalidad distrital de Huanuhuanu, debido a que la municipalidad ha realizado los estudios de mecánica de suelos para la elaboración del perfil del proyecto para la ejecución de la carretera Chala - Mollehuaca.

3.5.2. Estudio de clima

Con respecto al estudio de clima se ha obtenido información de precipitación y temperatura de la página web de Senamhi.

3.5.3. Estudio de tráfico

El conteo vehicular se ha realizado por un periodo de 7 días calendarios durante las 24 horas, ubicado en la progresiva 00+520 (puerta de la minera Paraíso).

3.5.4. Diseño de pavimento flexible

Se diseñó mediante el método AASHTO 93 y empírico mecanicista, tanto para una estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa.

3.5.5. Comparación técnica y económica

Una vez determinadas las dimensiones de la estructura de pavimento flexible para ambas alternativas y mediante las dos metodologías, se procede a realizar la comparación técnica y económica mediante la metodología costo efectividad, por lo que se realiza el presupuesto para ambas alternativas y metodologías.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Estudio de suelos de la subrasante

4.1.1.1. Clasificación de suelos

Para la presente investigación se ha realizado 10 unidades de clasificación de suelos mediante los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Resumen de clasificación de suelos

Prog.	N.º de calicata	Profundidad (m)	Sistema de clasificación	
			AASHTO	SUCS
00+500	C – 01	1.50	A – 3 (0)	SP
01+000	C – 02	1.50	A – 3 (0)	SP
01+500	C – 03	1.50	A – 3 (0)	SP
02+000	C – 04	1.50	A – 1 – b (0)	SP
02+500	C – 05	1.50	A – 1 – b (0)	SP
03+000	C – 06	1.50	A – 1 – b (0)	SP
03+500	C – 07	1.50	A – 1 – b (0)	SP
04+000	C – 08	1.50	A – 1 – b (0)	SP
04+500	C – 09	1.50	A – 1 – b (0)	SP
05+500	C - 10	1.50	A – 1 – b (0)	SP

Nota: tomada de municipalidad distrital de Huanuhuanu

4.1.1.2. Proctor modificado

Se han realizado 5 unidades de ensayo de Proctor modificado con fines de determinar la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad del suelo de fundación o subrasante, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Resumen de Proctor modificado

Prog.	N.º de calicata	Densidad máxima seca (gr/cc)	Cont. óptimo de humedad (%)
00+000 – 01+000	C – 01	1.820	8.80
01+000 – 02+000	C – 02	1.790	12.60
02+000 – 03+000	C – 03	1.820	8.80
03+000 – 04+000	C – 04	2.015	9.90
04+000 – 05+000	C - 05	2.124	9.00

Nota: tomada de municipalidad distrital de Huanuhuanu

4.1.1.3. Razón de soporte de california (CBR)

Se han realizado 5 unidades de ensayo de CBR a fin de determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación o subrasante, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18. Resumen CBR

Prog.	N.º de calicata	CBR al 95 %	CBR al 100 %
00+000 – 01+000	C – 01	25.60	47.00
01+000 – 02+000	C – 02	25.00	45.00
02+000 – 03+000	C – 03	24.00	51.00
03+000 – 04+000	C – 04	27.00	48.00
04+000 – 05+000	C - 05	26.00	59.00

Nota: tomada de municipalidad distrital de Huanuhuanu

4.1.2. Estudio de clima

4.1.2.1. Precipitación y temperatura

En el portal de transparencia del servicio nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), se ha hecho la descarga correspondiente de los datos hidrometeorológicos (precipitación y temperatura), las estaciones consideradas y que operan dentro del área de estudio son:

Estación Caravelí: está situada en el departamento de Arequipa, provincia y distrito de Caravelí, latitud 15°46'32.45" Sur, longitud 73°21'31" Oeste, altitud 1755 m s. n. m., tipo convencional – meteorológica, código 15018.

Se han analizado datos de 30 años (1991 – 2020), obteniendo así una precipitación máxima de 40.20 mm, temperatura máxima de 34.20 °C y una temperatura mínima de 3.40 °C, que se presentan en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 19. Precipitación máxima en 24 horas “estación Caravelí”

Año	P-máx. (mm)	Año	P-máx. (mm)
1991	0.00	2006	4.20
1992	0.00	2007	2.60
1993	2.00	2008	5.00
1994	11.00	2009	9.10
1995	15.20	2010	1.30
1996	1.90	2011	7.20
1997	33.00	2012	20.80
1998	18.50	2013	8.10
1999	7.10	2014	1.70
2000	15.60	2015	4.00
2001	11.50	2016	30.00
2002	13.70	2017	11.70
2003	0.00	2018	5.00
2004	1.50	2019	34.30
2005	16.50	2020	40.20

Nota: adoptada de portal de transparencia Senamhi

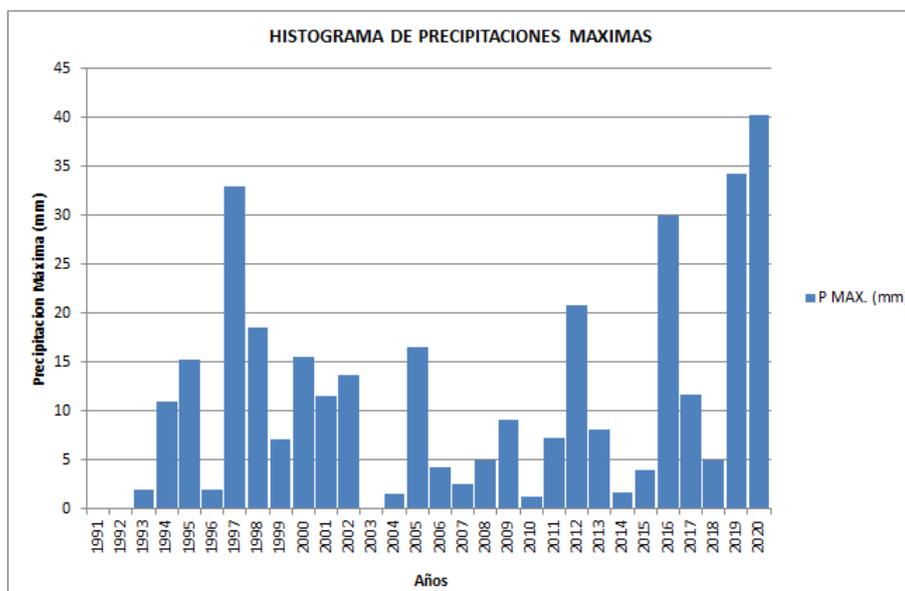


Figura 23. Histograma de precipitaciones máximas en 24 horas

Tabla 20. Temperatura máxima y mínima “estación Caravelí”

Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)	Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)	Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)
1991	32.50	6.60	2001	32.00	5.60	2011	32.60	6.00
1992	31.50	5.00	2002	32.00	5.80	2012	32.20	5.60
1993	31.50	5.40	2003	32.00	7.20	2013	32.20	10.00
1994	32.00	3.40	2004	32.60	6.40	2014	31.80	7.60
1995	32.50	5.00	2005	31.70	6.20	2015	31.00	6.00
1996	32.00	6.00	2006	33.10	6.20	2016	30.40	3.60
1997	33.00	7.20	2007	32.60	6.60	2017	33.20	4.20
1998	34.00	5.80	2008	32.40	6.60	2018	33.40	6.20
1999	30.90	4.80	2009	33.00	6.40	2019	33.00	4.20
2000	31.50	6.40	2010	33.50	5.20	2020	34.20	6.20

Nota: adoptada del portal de transparencia Senamhi

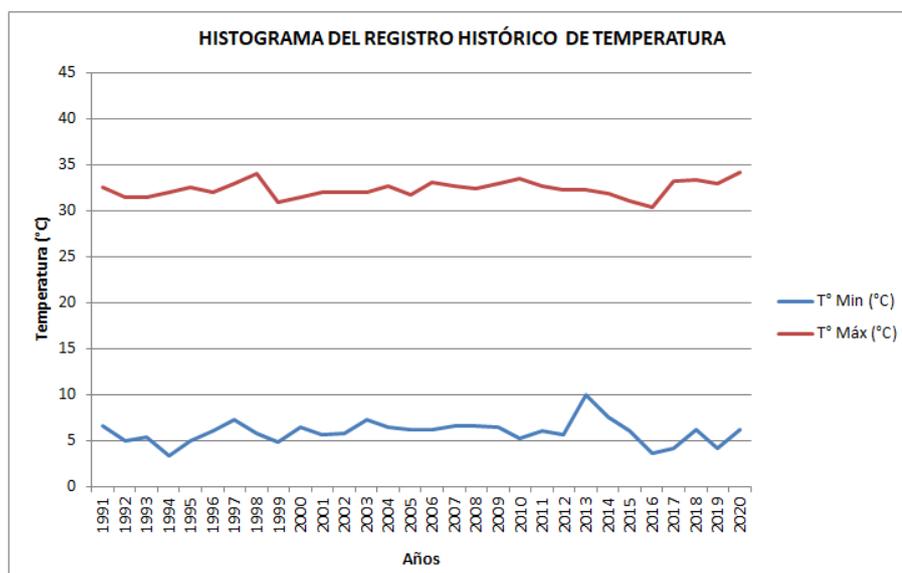


Figura 24. Registro histórico de temperaturas máxima y mínima

Estación Punta Ático: se encuentra en Arequipa, provincia y distrito de Caravelí, latitud 16°13'54.27" Sur, longitud 73°41'46.95" Oeste, altitud 30 m s. n. m., tipo convencional – meteorológica, código 116011.

Se han analizado datos de 30 años (1991 – 2020), obteniendo una precipitación máxima de 18.40 mm, temperatura máxima de 30.20 °C y una temperatura mínima de 9.50 °C, que se presentan en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 21. Precipitación máxima en 24 horas “estación Atico”

Año	P-máx. (mm)	Año	P-máx. (mm)
1991	0.00	2006	0.01
1992	7.30	2007	0.01
1993	2.30	2008	1.50
1994	0.00	2009	4.50
1995	0.10	2010	0.10
1996	0.40	2011	0.30
1997	5.40	2012	0.01
1998	4.70	2013	1.40
1999	0.20	2014	0.01
2000	8.50	2015	0.01
2001	1.30	2016	1.40
2002	2.90	2017	18.40
2003	0.01	2018	6.00
2004	15.40	2019	4.50
2005	1.40	2020	12.00

Nota: adoptada de portal de transparencia Senamhi

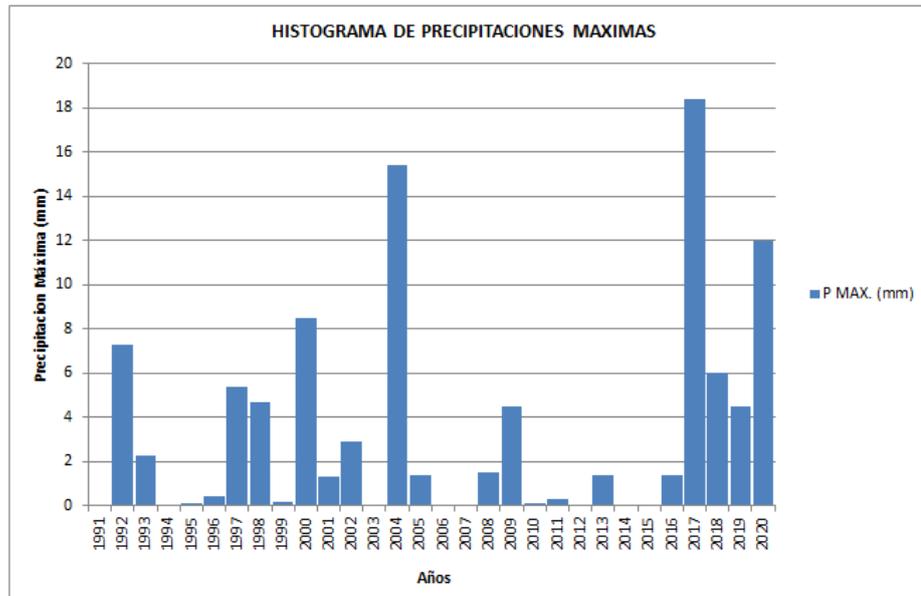


Figura 25. Histograma de precipitaciones máximas en 24 horas

Tabla 22. Temperatura máxima y mínima “estación Atico”

Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)	Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)	Año	T° máx. (°C)	T° mín. (°C)
1991	26.60	12.00	2001	28.60	12.80	2011	27.80	12.00
1992	29.40	13.40	2002	26.60	12.50	2012	28.80	12.70
1993	28.30	13.50	2003	28.00	12.70	2013	28.60	12.00
1994	27.20	13.00	2004	27.70	12.80	2014	27.60	12.20
1995	27.50	12.50	2005	28.50	12.00	2015	28.00	12.40
1996	25.70	9.50	2006	27.40	13.50	2016	30.20	13.10
1997	28.80	15.50	2007	28.50	11.50	2017	29.50	13.20
1998	29.10	12.80	2008	27.20	12.50	2018	27.20	12.80
1999	28.70	13.00	2009	28.50	12.20	2019	28.70	11.00
2000	27.50	12.00	2010	28.20	11.50	2020	29.20	13.60

Nota: adoptada de portal de transparencia Senamhi

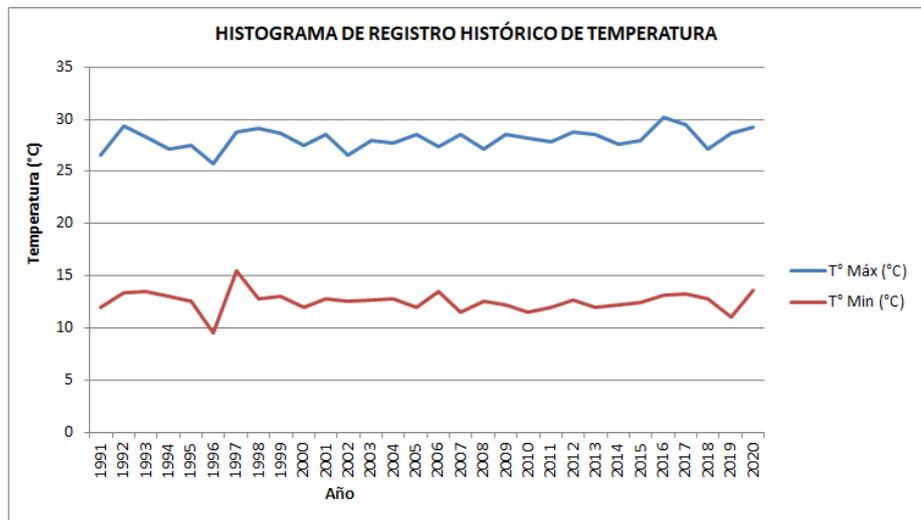


Figura 26. Registro histórico de temperaturas máxima y mínima

4.1.3. Estudio de tráfico

4.1.3.1. Conteo y clasificación vehicular

Se ha realizado el conteo vehicular en la prog. 00+520 de la carretera Chala - Mollehuaca situado específicamente en la puerta de ingreso de la minera “El Paraíso” por un periodo de 7 días calendarios durante las 24 horas, teniendo como fecha de inicio el jueves 22 de julio del 2021 y fecha de culminación el miércoles 28 de julio del 2021, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 23. Resumen del conteo y clasificación vehicular

Tipo de vehículo	Jue 22/7/21	Vie 23/7/21	Sáb 24/7/21	Dom 25/7/21	Lun 26/7/21	Mar 27/7/21	Mier 28/7/21	Total semanal
Auto	63	60	62	69	93	73	60	480
S. Wagon	94	82	86	61	86	124	81	614
Pick Up	109	100	88	90	106	119	79	691
Panel	37	6	8	5	9	19	21	105
C. Rural	55	52	46	37	53	23	51	317
Micro	0	1	1	5	4	3	0	14
O – 2E	0	1	0	0	1	3	0	5
C – 2E	52	69	61	56	65	22	64	389
C – 3E	33	32	32	29	39	5	14	184
C – 4E	1	2	1	6	0	3	3	16
2S1	8	0	0	0	0	0	1	9
2S2	0	2	0	0	0	0	0	2
2S3	3	4	2	0	4	0	0	13
3S1	7	0	0	0	0	7	6	20
3S2	13	0	2	0	2	3	12	32
>=3S3	1	13	2	13	3	0	0	32
2T2	2	0	0	0	0	0	0	2
Total IMD	478	424	391	371	465	404	392	2925

4.1.3.2. Índice medio diario semanal

Para determinar el índice medio diario semanal se utilizó la siguiente ecuación:

$$IMDs = \frac{\text{Tráfico semanal}}{7}$$

$$IMDs = \frac{478 + 424 + 391 + 371 + 465 + 404 + 392}{7}$$

$$IMDs = 418$$

4.1.3.3. Índice medio diario anual

Para obtener el IMDa se requiere de los factores de corrección tanto de vehículos de carga liviana como vehículos de carga pesada. Asumiendo así, los factores de corrección de la unidad de peaje Yauca por ser la más cercana al área de investigación. Factor de corrección para vehículos de carga liviana = 0.958001872704873 y Factor de corrección para vehículos de carga pesada = 1.03453043289989, la que se puede determinar a partir de la ecuación siguiente.

$$IMDa = \text{factor de corrección} \times IMDs$$

IMDa vehículos livianos (caso auto)

$$IMDa = 0.9580 * 69$$

$$IMDa = 66$$

IMDa vehículos pesados (caso C-2E)

$$IMDa = 1.0345 * 56$$

$$IMDa = 59$$

Se ha determinado el IMDa 2023, tomando en consideración el tiempo que pueda transcurrir desde el estudio hasta la ejecución del proyecto.

Tabla 24. Resumen del índice medio diario semanal e índice medio diario anual

Tipo de Vehículo	IMD	Fc	IMDa 2021	Distrib. (%)	IMDa 2023
Auto	69	0.9580	66	16.00	67
S. Wagon	88	0.9580	84	21.00	85
Pick Up	99	0.9580	95	23.00	96
Panel	15	0.9580	14	3.00	14
C. Rural	45	0.9580	43	11.00	43
Micro	2	0.9580	2	0.495	2
O – 2E	1	1.0345	1	0.25	1
C – 2E	56	1.0345	57	14.00	59
C – 3E	26	1.0345	27	6.63	28
C – 4E	2	1.0345	2	0.49	2
2S1	1	1.0345	1	0.25	1
2S2	0	1.0345	0	0.00	0
2S3	2	1.0345	2	0.49	2
3S1	3	1.0345	3	0.74	3
3S2	5	1.0345	5	1.23	5
>=3S3	5	1.0345	5	1.23	5
2T2	0	1.0345	5		
Total IMD	418	1.0345	407	100.00	414

4.1.3.4. Pesos por eje

La relación de cargas para la determinación de los ejes equivalentes (EE), para pavimentos flexibles se determina mediante la aplicación de las siguientes formulas:

Eje simple de ruedas sencillo

$$EE_{S1} = \left(\frac{P}{6.6}\right)^{4.0}$$

Eje simple de ruedas duales

$$EE_{S2} = \left(\frac{P}{8.2}\right)^{4.0}$$

Eje tándem (1 eje de ruedas dual +1 eje de rueda sencillo)

$$EE_{TA1} = \left(\frac{P}{14.8}\right)^{4.0}$$

Eje tándem (2 ejes de rueda dual)

$$EE_{TA1} = \left(\frac{P}{15.1}\right)^{4.0}$$

Ejes trídem (2 ejes de ruedas duales + 1 eje de rueda sencillo)

$$EE_{TA1} = \left(\frac{P}{20.7}\right)^{3.9}$$

Ejes trídem (3 ejes de ruedas duales)

$$EE_{TA1} = \left(\frac{P}{21.8}\right)^{3.9}$$

Donde

P: peso real por eje en toneladas

Tabla 25. Pesos y dimensiones de circulación

Símbolo	IMDa	Descrip	Eje delant.	Eje posterior			Total
				1er eje	2do eje	3er eje	
Livianos	614.51	C (t)	1.00	1.00			0.00105
		F. EE.	0.00053	0.00053			0.32385
O - 2E	1.04	C (t)	7.00	11.00			4.50365
		F. EE.	1.26537	3.23829			4.65543
C - 2E	59.05	C (t)	7.00	11.00			4.50365
		F. EE.	1.26537	3.23829			265.359
C - 3E	27.97	C (t)	7.00	18.00			3.28458
		F. EE.	1.26537	2.01921			91.6723
C- 4E	2.07	C (t)	7.00	23.00			2.77355
		F. EE.	1.26537	1.50818			5.73404
2S1	1.04	C (t)	7.00	11.00	11.00		7.74194
		F. EE.	1.26537	3.23829	3.23829		8.00284
2S3	2.07	C (t)	7.00	11.00	25.00		6.20968
		F. EE.	1.26537	3.2829	1.70603		12.8378
3S1	3.11	C (t)	7.00	18.00	11.00		6.52287
		F. EE.	1.26537	2.01921	3.23829		20.2281
3S2	5.18	C (t)	7.00	18.00	18.00		5.30379
		F. EE.	1.26537	2.01921	2.01921		27.4127
>=S3	5.18	C (t)	7.00	18.00	25.00		4.99061
		F. EE.	1.26537	2.01921	1.70603		25.7939
Sumatoria IMDa							462.02036

4.1.3.5. ESAL de diseño

Para determinar el ESAL se requiere los siguientes datos:

a) Tasa anual de crecimiento (r)

$$r = 3.37 \%$$

b) Tiempo de vida útil del pavimento (n)

$$n = 10 \text{ años}$$

c) Factor Fca vehículos pesados

$$Fca = 11.66$$

d) Número de calzadas, sentidos y carriles por sentido

1 calzada, 2 sentidos y 1 carril por sentido

e) Factor direccional * factor carril

$$F_c * F_d = 0.50$$

f) Cálculo de ESAL

$$ESAL = 365 * 462.02036 * 11.66 * 0.50$$

$$ESAL = 983\ 254 = 9.83E + 05$$

4.1.4. Diseño de pavimento flexible

En la presente investigación se diseña la estructura de pavimento con dos alternativas tecnológicas de pavimentos, uno con carpeta asfáltica en caliente y otro con tratamiento superficial con doble capa bajo las mismas condiciones de los parámetros o variables de diseño, las que serán diseñadas mediante la aplicación de dos metodologías tales como: el método AASHTO 93 y el método empírico – mecanicista.

4.1.4.1. Método AASHTO 93

Esta metodología para el diseño de pavimentos asfálticos aplica un modelo o ecuación con la finalidad de obtener el parámetro conocido como número de estructural en sus siglas en inglés (SN) que es un parámetro fundamental para calcular los espesores que conforman la estructura de un pavimento flexible, por lo que se requiere contar con las siguientes variables de diseño.

a) Periodo de diseño

$$\text{Periodo de diseño} = 10 \text{ años}$$

b) Ejes equivalentes (W18)

$$W18 = 983\ 254$$

c) Módulo de resiliencia (Mr)

$$CBR = 25.50 \% \text{ Subrasante muy buena}$$

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

$$Mr = 2555 * 25.50^{0.64}$$

$$Mr = 20303.77 \text{ psi}$$

d) Confiabilidad (%R)

$$\%R = 80 \%$$

e) Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr)

$$Zr = -0.842$$

f) Desviación estándar combinada (So)

$$So = 0.45$$

g) Índice de serviciabilidad presente (PSI)

- Serviciabilidad inicial (PI)

$$PI = 3.80$$

- Serviciabilidad terminal (PT)

$$PT = 2.00$$

- Variación de serviciabilidad (APSI)

$$APSI = 1.80$$

e) Cálculo del número estructural

El número estructural calculado se aplica para las dos alternativas, tanto para MAC como para TSB.

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{APSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR) - 8.07$$

Figura 27. Cálculo de SN mediante la ecuación de AASHTO 93

Tabla 26. Cálculo de número estructural requerido

ESAL	Tp	CBR %	R %	Zr	So	APSI	Mr	SNr
9.38E+05	TP4	25.50	80	-0.842	0.45	1.80	20303.77	2.19

f) Diseño estructural con carpeta asfáltica en caliente

Tabla 27. Cálculo de SN propuesto

SNr	MAC		Base granular			Subbase			SNp	Cond.
	a1	d1	a2	m2	d2	a3	m3	d3		
2.19	0.17	5.00	0.052	1.00	15.00	0.047	1.00	20.00	2.57	Aprobado

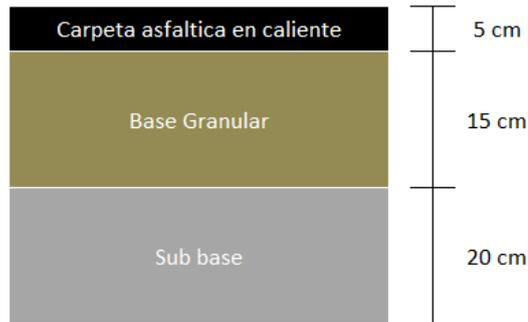


Figura 28. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vázquez Varela, M.Sc.

Archivo: DEPAV Agerca de

Descripción del proyecto (no use comas): VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASSHTO 93

Número de capas: 2 3 4 5 6

Archivo: _____

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	ν	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión			
					C*k1*(1/E)*k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado	
1	51622	0.30	5	✓	7.5731E-07	3.2910	983254	✓	1.3650E-09	4.4770	983254
2	3818.7	0.35	15	✓				✓	1.3650E-09	4.4770	983254
3	2016.21	0.35	20	✓				✓	1.3650E-09	4.4770	983254
4	1428	0.40		✓				✓	1.3650E-09	4.4770	983254

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm): 10.80
 Distancia entre ruedas (cm): 32.40
 Presión de contacto (kgf/cm²): 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vázquez Varela, 2018.

Figura 29. Se aprecia la pantalla principal de WinDEPAV 2.6 con los datos ingresados de la estructura ASSHTO 93

Resultados del análisis

Archivo: _____

Descripción del proyecto: VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASSHTO 93

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm): 10.80, Distancia entre los centros de las ruedas (cm): 32.40, Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²): 5.594

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple, B Bajo una de las ruedas de la carga, C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm ²)	ν	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión									
				Sigma T (kgf/cm ²)	Sigma Z (kgf/cm ²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño				
1	5.162E+04	0.30	0.00	2.131E+01	B	5.598E+00	A	271.0	B						
			5.00	-1.285E+01	A	3.518E+00	B	-204.0	B	1.0575E+06	0.930	-125.0	B	Infinito	
			5.00	7.576E-01	B	3.518E+00	B	-204.0	B			217.0	A		
			20.00	-7.576E-01	B	1.162E+00	B	-276.0	C			779.0	A	1.1265E+05	8.729
			20.00	-1.183E-01	C	1.162E+00	B	-276.0	C			415.0	B		
			40.00	-2.090E-01	C	5.354E-01	C	-173.0	C			585.0	B	4.0605E+05	2.422
			40.00	-2.172E-02	C	5.354E-01	C	-173.0	C			325.0	C		
			40.00		C		C	-173.0	C			373.0	C	3.0450E+06	0.323

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm): 36.74
 Radio de curvatura (m): 120.73
 Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100): 4435.9

Salir y descartar los resultados

Figura 30. Resultados de la verificación de la estructura de AASHTO 93 con WinDEPAV 2.6

Tabla 28. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente, diseñado con el método AASHTO 93

N.º de capa	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	σ T (kgf/cm ²)	σ Z (kgf/cm ²)	ε T (microstrain)	ε z (microstrain)
1	5.162E+04	0.30	0.00	2.131E+01	5.598E+00	271.00	-125.00
			5.00	-1.285E+01	3.518E+00	-204.00	217.00
2	3.819E+03	0.35	5.00	7.576E-01	3.518E+00	-204.00	779.00
			20.00	-7.576E-01	1.162E+01	-276.00	415.00
3	2.016E+03	0.35	20.00	-1.183E-01	1.162E+01	-276.00	585.00
			40.00	-2.090E-01	5.354E-01	-173.00	325.00
4	1.428E+03	0.40	40.00	-2.172E-02	5.354E-01	-173.00	373.00

Tabla 29. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)

Capa	N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
Capa asfáltica	1.0575E+06	9.83254E+05	0.930 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por tracción (fatiga)

Tabla 30. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento)

Capa	N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
Base	1.1265E+05	9.83254E+05	8.729 > 1.0	Presentará falla por compresión en la capa base a partir del año 1.3 del periodo de diseño.
Subbase	4.0605E+06	4.0605E+05	2.422 < 1.0	Presentará falla por compresión en la capa base a partir del año 4.5 del periodo de diseño.
Subrasante	3.0450E+07	3.0450E+06	0.323 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión

g) Diseño estructural con tratamiento superficial bicapa

Tabla 31. Cálculo de SN propuesto

SNr	TSB		Base granular			Subbase			SNp	Cond.
	a1	d1	a2	m2	d2	a3	m3	d3		
2.18	0.00	2.5	0.052	1.00	20.00	0.047	1.00	30.00	2.38	Aprobado

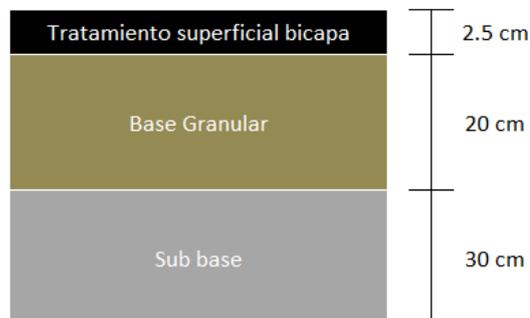


Figura 31. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con tratamiento superficial bicapa

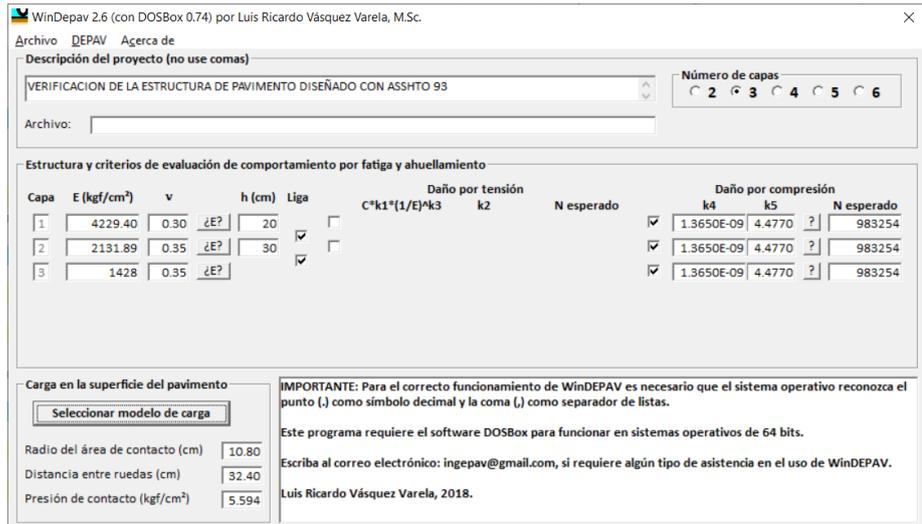


Figura 32. Se aprecia la pantalla principal de WinDEPAV 2.6 con los datos ingresados de la estructura ASSHTO 93

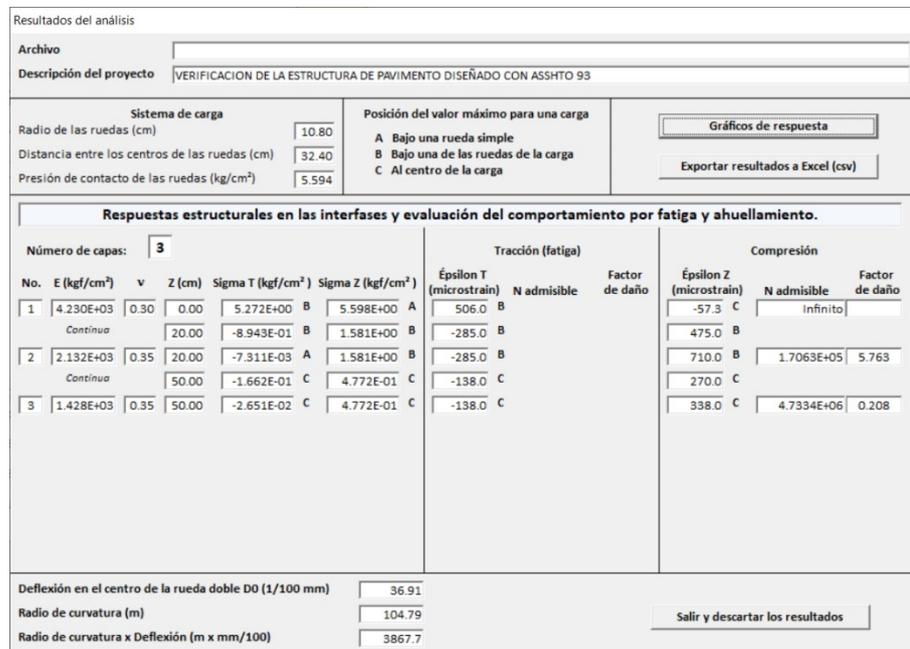


Figura 33. Resultados de la verificación de la estructura de AASHTO 93 con WinDEPAV 2.6

Tabla 32. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93

N.º de capa	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	σ T (kgf/cm ²)	σ Z (kgf/cm ²)	ε T (microstrain)	ε Z (microstrain)
1	4.249E+03	0.35	0.00	5.537E+00	5.598E+00	419.00	-107.00
			20.00	-8.953E-01	1.570E+00	-295.00	487.00
2	2.132E+03	0.35	20.00	-3.426E-02	1.570E+00	-295.00	715.00
			50.00	-1.876E-01	4.691E-01	-143.00	273.00
3	1.428E+03	0.40	50.00	-4.375E-03	4.691E-01	-143.00	321.00

Tabla 33. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)

N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
--	9.83254E+05	--	Los tratamientos superficiales no tienen aporte estructural por lo que no se realizó el análisis de falla por tracción

Tabla 34. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento)

N admisible (EE 8.2 Ton)	N esperado (EE 8.2 Ton)	Factor de daño	Observaciones
1.6535+05	9.83254E+05	5.946 > 1.0	Presentará falla por compresión en la capa de la subbase a partir del año 2 del periodo de diseño
4.7334E+08	5.9636E+06	0.165 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión

4.1.4.2. Método empírico – mecanicista

Para la presente investigación se utilizó el software WinDEPAV 2.6, este programa computacional es una de las herramientas muy útiles para realizar el análisis y diseño de estructuras de pavimentos con enfoques mecanicistas, esta herramienta computacional ha sido desarrollada con el apoyo y en relación con el software DEPAV perteneciente al Instituto de Vías de la Universidad de Cauca en Colombia, el autor del software WinDEPAV es el ingeniero Luis Ricardo Varela, quien es profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia.

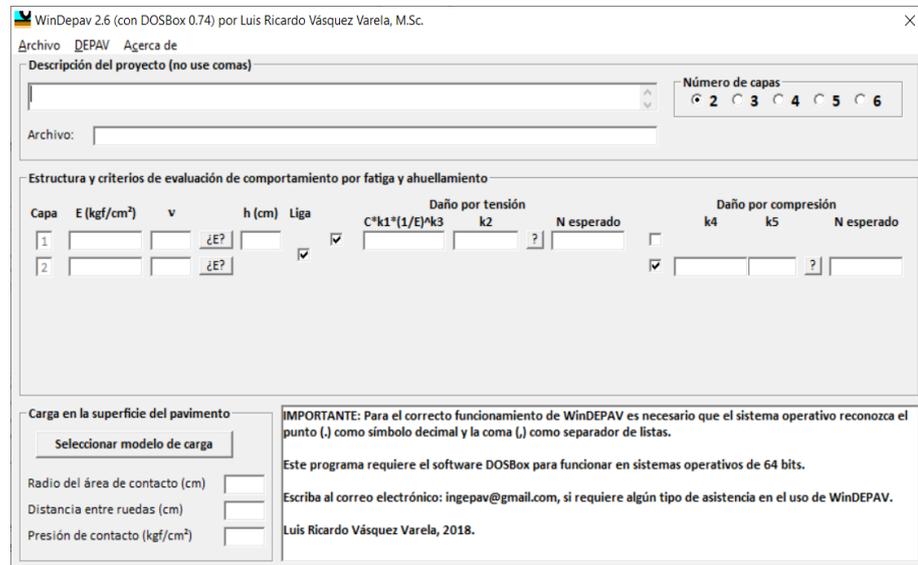


Figura 34. Ventana de inicio de WinDEPAV 2.6, tomada de Vásquez⁽⁵²⁾

Para dar inicio con el diseño de la estructura del pavimento flexible mediante el uso del software WinDEPAV 2.6, se deben definir algunas indicaciones como nombre del proyecto, número de capas, espesores de cada

capa, parámetros elásticos de cada capa (módulo de elasticidad y relación de Poisson), daño a compresión que está asociada a la deformación permanente, el tráfico esperado y, finalmente, se debe seleccionar un modelo de carga que actuará sobre la estructura del pavimento flexible. Y como resultado del software se tiene los valores de deformaciones, tracción, deformación vertical, esfuerzos a tracción, y un dato muy importante que es el factor de daño, si esta es > 1.0 , es indicador de que la estructura de pavimento propuesto aún no cumple y presenta fallas antes del periodo de diseño requerido, entonces, a continuación, se definen los parámetros de entrada.

a) Cálculo de módulo resiliente de la subrasante a partir del CBR

$$Mr = 2555 * (CBR)^{0.64}$$

$$Mr = 2555 * (25.5)^{0.64}$$

$$Mr = 20303.77 \text{ Psi}$$

$$Mr = 1428.00 \text{ kg/cm}^2$$

b) Cálculo del módulo resiliente de la subbase a partir del módulo resiliente de la subrasante

$$E_{SB} = E_{SB+1} [1 + 7.18 * \log(h_{SB}) - 1.56 * \log(E_{SB+1}) * \log(h_{SB})]$$

$$E_n = 20303.77 [1 + 7.18 * \log(10") - 1.56 * \log(20303.77) * \log(10")]$$

$$E_n = 29647.16 \text{ Psi}$$

$$E_n = 2084.40 \text{ kg/cm}^2$$

c) Cálculo del módulo resiliente de base a partir del módulo resiliente de la subbase

$$E_n = E_{n+1} [1 + 10.52 * \log(h_n) - 2.1 * \log(E_{n+1}) * \log(h_n)]$$

$$E_n = 29647.16[1 + 10.52 * \log(8'') - 2.1 * \log(29647.16) * \log(8'')]$$

$$E_n = 59870.67 \text{ Psi}$$

$$E_n = 4209.33 \text{ kg/cm}^2$$

d) Estimación de relación de Poisson

$$\nu = 0.40 \text{ para subrasante}$$

$$\nu = 0.35 \text{ para subbase y base}$$

e) Cálculo del módulo resiliente y la relación de Poisson de la carpeta asfáltica

Tabla 35. Información del diseño de mezcla asfáltica en caliente con PEN 60/70

Información del diseño de mezcla	
% contenido de vacíos de aire	3.8
% contenido de asfalto efectivo	6.92
% acumulado retenido en la malla 19 mm	0
% acumulado retenido en la malla 9.5 mm	18.5
% acumulado retenido en la malla 4.76 mm	44.8
% que pasa la malla 0.075 mm	5.3

Nota: tomada de Villafana y Ramires ⁽⁵³⁾

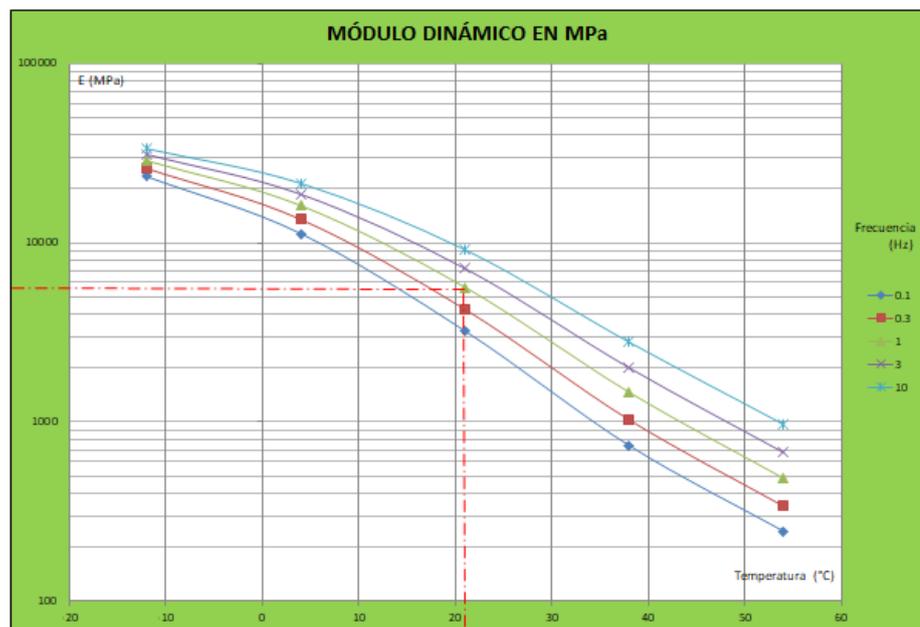


Figura 35. Gráfica de módulo dinámico vs. temperatura a diferentes frecuencias

De la gráfica para una temperatura de 21 °C y una frecuencia de 1 Hz se obtiene lo siguiente:

$$E_n = 5062.38 \text{ Mpa}$$

$$E_n = 734236.99 \text{ Psi}$$

$$E_n = 51622.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\nu = 0.30 \text{ para capa asfáltica}$$

f) Diseño de la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Una vez determinados los parámetros de diseño, se ingresan los datos de entrada tales como el módulo de elasticidad, relación de Poisson, espesor de capa, daño por tensión, daño por compresión, modelo de carga y el tránsito esperado durante el periodo de diseño, que se aprecia en la siguiente captura de pantalla.

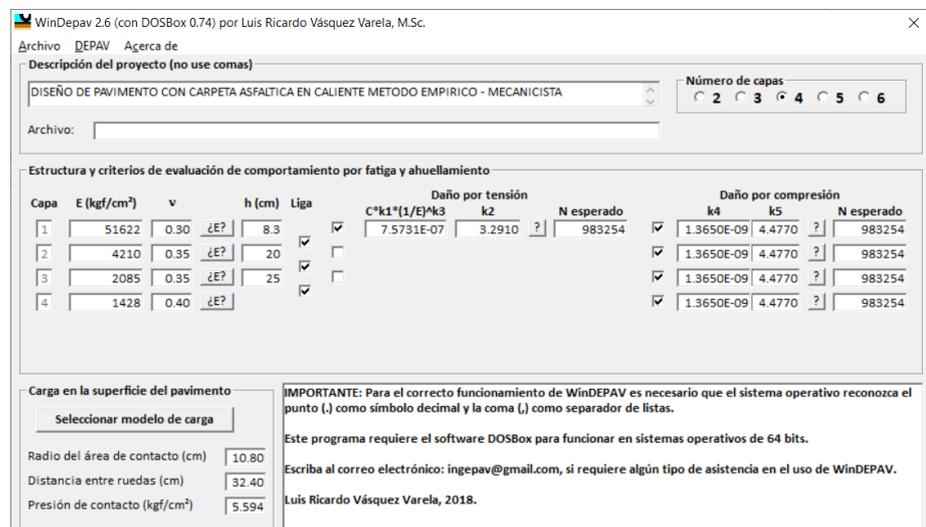


Figura 36. Se aprecia la ventana principal de WinDEPAV 2.6 con los datos de diseño

Luego se procede a la verificación y análisis de los datos ingresados, lo que da los siguientes resultados:

Resultados del análisis

Archivo:

Descripción del proyecto: DISEÑO DE PAVIMENTO CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE METODO EMPIRICO - MECANICISTA

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm) 10.80; Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40; Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple; B Bajo una de las ruedas de la carga; C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta:

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión						
				Sigma T (kgf/cm ²)	Sigma Z (kgf/cm ²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño	
1	5.162E+04	0.30	0.00	1.540E+01	5.598E+00	190.0	B		-71.0	C	Infinito	
			8.30	-1.020E+01	2.223E+00	-162.0	B	2.2582E+06	0.435	154.0	A	
2	4.210E+03	0.35	8.30	2.274E-01	2.233E+00	-162.0	B		478.0	B	1.0031E+06	0.980
			28.30	-5.649E-01	7.138E-01	-163.0	C			246.0	C	
3	2.085E+03	0.35	28.30	-8.576E-02	7.138E-01	-163.0	C		354.0	C	3.8481E+06	0.256
			53.30	-1.346E-01	3.171E-01	-99.5	C			193.0	C	
4	1.428E+03	0.40	53.30	-1.417E-02	3.171E-01	-99.5	C		226.0	C	2.8694E+07	0.034

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 29.42

Radio de curvatura (m) 220.43

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 6485.6

Salir y descartar los resultados

Figura 37. Resultados de WinDEPAV 2.6

Tabla 36. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente

N.º de capa	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	σ T (kgf/cm ²)	σ Z (kgf/cm ²)	ε T (microstrain)	ε z (microstrain)
1	5.162E+04	0.30	0.00	1.540E+01	5.598E+00	190.00	-71.00
			8.30	-1.020E+01	2.223E+00	-162.00	154.00
2	4.210E+03	0.35	8.30	2.274E-01	2.233E+00	-162.00	478.00
			28.30	-5.649E-01	7.138E-01	-163.00	246.00
3	2.085E+03	0.35	28.30	-8.576E-02	7.138E-01	-163.00	354.00
			53.30	-1.346E-01	3.171E-01	-990.50	193.00
4	1.428E+03	0.40	53.30	-1.417E-02	3.171E-01	-990.50	226.00

Tabla 37. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)

Capa	N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
Capa asfáltica	2.2582E+06	9.83254E+05	0.435 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por tracción (fatiga)

Tabla 38. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento)

Capa	N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
Base	1.0031E+06	9.83254E+05	0.980 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión
Subbase	3.8481E+06	9.83254E+05	0.256 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión
Subrasante	2.8694E+07	9.83254E+05	0.034 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión

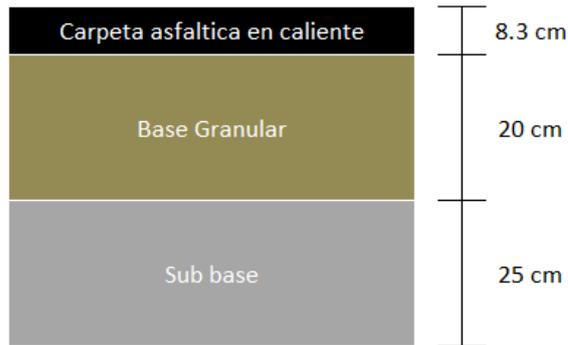


Figura 38. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente, diseñado con el método empírico mecanicista

g) Diseño de la estructura con tratamiento superficial bicapa

Es importante aclarar que los tratamientos superficiales no tienen aporte estructural, por lo que, en el presente diseño solo se han analizado las capas de subbase y base.

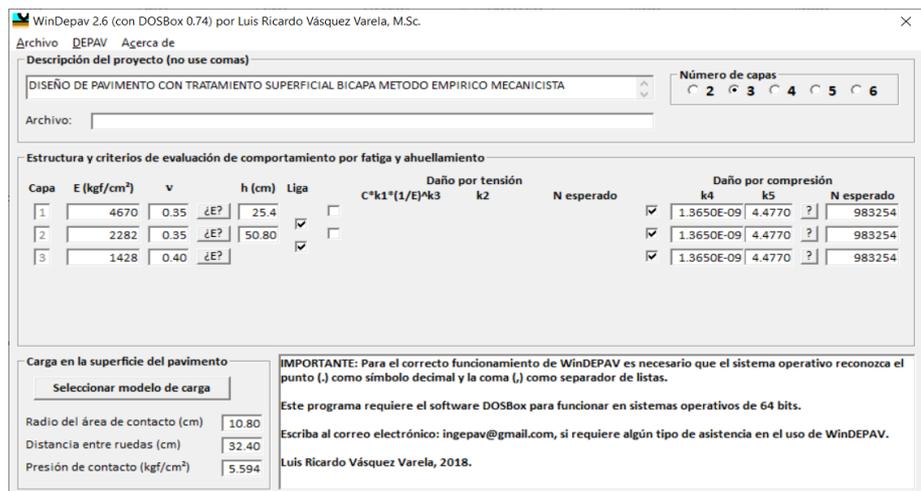


Figura 39. Se aprecia la ventana principal de WinDEPAV 2.6 con los datos de diseño

Resultados del análisis

Archivo: _____

Descripción del proyecto: DISEÑO DE PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA METODO EMPIRICO MECANICISTA

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm) 10.80, Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40, Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple, B Bajo una de las ruedas de la carga, C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta, Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Sigma T (kgf/cm ²)		Sigma Z (kgf/cm ²)		Tracción (fatiga)		Compresión			
								Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño
1	4.670E+03	0.35	0.00	5.343E+00	B	5.598E+00	A	350.0	B	-74.8	C	Infinito	
			25.40	-7.179E-01	B	1.132E+00	B	-218.0	C	328.0	B		
2	2.282E+03	0.35	25.40	-4.211E-02	C	1.132E+00	B	-218.0	C	487.0	B	9.2271E+05	1.066
			76.20	-1.081E-01	C	2.284E-01	C	-68.0	C	131.0	C		
3	1.428E+03	0.40	76.20	-4.089E-03	C	2.284E-01	C	-68.0	C	160.0	C	1.3468E+08	0.007

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 30.74, Radio de curvatura (m) 125.15, Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 3847.4

Salir y descartar los resultados

Figura 40. Resultados de WinDEPAV 2.6

Tabla 39. Respuestas estructurales en las interfaces de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa

N.º de capa	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	σ T (kgf/cm ²)	σ Z (kgf/cm ²)	ε T (microstrain)	ε Z (microstrain)
1	4.670E+03	0.35	0.00	5.343E+00	5.598E+00	350.00	-74.80
			25.40	-7.179E-01	1.132E+00	-218.00	328.00
2	2.282E+03	0.35	25.40	-4.211E-02	1.132E+00	-218.00	487.00
			76.20	-1.081E-01	2.284E-01	-148.00	131.00
3	1.428E+03	0.40	76.20	-4.089E-03	2.284E-01	-148.00	160.00

Tabla 40. Resultados y evaluación de falla por tracción (fatiga)

N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
-.	9.83254E+05	-.	Los tratamientos superficiales no tienen aporte estructural, por lo que, no se realizó el análisis de falla por tracción

Tabla 41. Resultados y evaluación de falla por compresión (ahuellamiento)

N admisible (EE 8.2 t)	N esperado (EE 8.2 t)	Factor de daño	Observaciones
9.2271E+05	9.83254E+05	1.046 > 1.0	Presentará falla por compresión en la capa subbase a partir del año 8.6 del periodo de diseño.
1.3468E+08	9.83254E+05	0.184 < 1.0	Durante el periodo de diseño no presentará falla por compresión

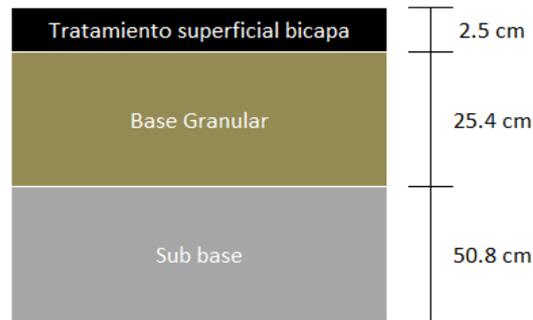


Figura 41. Capas y espesores de la estructura de pavimento flexible con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método empírico mecanicista

4.1.5. Comparación técnica

4.1.5.1. Periodo de diseño

Se ha planteado un periodo de diseño de 10 años para las dos alternativas y metodologías de diseño, debido a que el tipo de tráfico corresponde a un TP4 (tráfico medio).

Tabla 42. Periodo de diseño

AASHTO 93		Empírico - mecanicista	
MAC	TSB	MAC	TSB
10 años	10 años	10 años	10 años

4.1.5.2. Desempeño estructural y transmisión de esfuerzos

a) Comparación entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93

Tabla 43. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Capa	Espesor (cm)	Punto de análisis Z (cm)	Esfuerzos		Deformaciones	
			σT (kgf/cm ²)	σZ (kgf/cm ²)	ϵT (microstrain)	ϵZ (microstrain)
MAC	5	0	2.13E+01	5.60E+00	271	-125
		5	-1.29E+01	3.52E+00	-204	217
base	20	5	7.58E-01	3.52E+00	-204	779
		25	-7.58E-01	1.16E+01	-276	415
subbase	25	25	-1.18E-01	1.16E+01	-276	585
		50	-2.09E-01	5.35E-01	-173	325
subrasante	∞	50	-2.17E-02	5.35E-01	-173	373

Tabla 44. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa

Capa	Espesor (cm)	Punto de análisis Z (cm)	Esfuerzos		Deformaciones	
			σT (kgf/cm ²)	σZ (kgf/cm ²)	ϵT (microstrain)	ϵZ (microstrain)
TSB	2.5		No tiene aporte estructural			
base	20	0	5.54E+00	5.60E+00	419	-107
		20	-8.95E-01	1.57E+00	-295	487
subbase	30	20	-3.43E-02	1.57E+00	-295	715
		50	-1.88E-01	4.69E-01	-143	273
subrasante	∞	50	-4.38E-03	4.69E-01	-143	321

b) Comparación entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método empírico – mecanicista

Tabla 45. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Capa	Espesor (cm)	Punto de análisis Z (cm)	Esfuerzos		Deformaciones	
			σT (kgf/cm ²)	σZ (kgf/cm ²)	ϵT (microstrain)	ϵZ (microstrain)
MAC	8.3	0	1.54E+01	5.60E+00	190	-71
		8.3	-1.02E+01	2.22E+00	-162	154
base	20	8.3	2.27E-01	2.23E+00	-162	478
		28.3	-5.65E-01	7.14E-01	-163	246
Subbase	25	28.3	-8.58E-02	7.14E-01	-163	354
		53.3	-1.35E-01	3.17E-01	-990.5	193
Subrasante	∞	53.3	-1.42E-02	3.17E-01	-990.5	226

Tabla 46. Esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa

Capa	Espesor (cm)	Punto de análisis Z (cm)	Esfuerzos		Deformaciones	
			σT (kgf/cm ²)	σZ (kgf/cm ²)	ϵT (microstrain)	ϵZ (microstrain)
TSB	2.5		No tiene aporte estructural			
Base	20	0	5.34E+00	5.60E+00	350	-74.8
		25.4	-7.18E-01	1.13E+00	-218	328
Subbase	25	25.4	-4.21E-02	1.13E+00	-218	487
		76.2	-1.08E-01	2.28E-01	-148	131
Subrasante	∞	76.2	-4.09E-03	2.28E-01	-148	160

4.1.5.3. Tipo de falla

a) Comparación entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93

Tabla 47. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Capa	$\frac{N}{\text{admisible}}$ (EE 8.2 t)	$\frac{N}{\text{esperado}}$ (EE 8.2 t)	Factor de daño	Tipo de falla
MAC	1.06E+06	9.83E+05	0.930 < 1.0	no presenta
Base	1.13E+05	9.83E+05	8.729 > 1.0	falla por compresión a partir del año 1.3
Subbase	4.06E+06	9.83E+05	2.422 < 1.0	falla por compresión a partir del año 4.5
Subrasante	3.05E+07	9.83E+05	0.323 < 1.0	no presenta

Tabla 48. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa.

Capa	$\frac{N}{\text{admisible}}$ (EE 8.2 t)	$\frac{N}{\text{esperado}}$ (EE 8.2 t)	Factor de daño	Tipo de falla
TSB				
Base				
Subbase	1.6535E+05	9.83E+05	5.946 > 1.0	falla por compresión a partir del año 2
Subrasante	4.73E+08	9.83E+05	0.165 < 1.0	no presenta

b) Comparación entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método empírico – mecanicista

Tabla 49. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Capa	$\frac{N}{\text{admisible}}$ (EE 8.2 t)	$\frac{N}{\text{esperado}}$ (EE 8.2 t)	Factor de daño	Tipo de falla
MAC	2.26E+06	9.83E+05	0.435 < 1.0	no presenta
Base	1.00E+06	9.83E+05	0.980 < 1.0	no presenta
Subbase	3.85E+06	9.83E+05	0.256 < 1.0	no presenta
Subrasante	2.87E+07	9.83E+05	0.034 < 1.0	no presenta

Tabla 50. Tipos de falla en las diferentes capas de la estructura del pavimento con tratamiento superficial bicapa

Capa	N admisible	N esperado	Factor de daño	Tipo de falla
	(EE 8.2 t)	(EE 8.2 t)		
TSB				
Base				
Subbase	9.23E+05	9.83E+05	1.046 > 1.0	falla por compresión a partir del año 8.6
Subrasante	1.35E+08	9.83E+05	0.184 < 1.0	no presenta

4.1.5.4. Serviciabilidad

Tabla 51. Comparación de serviciabilidad

AASHTO 93		Empírico - mecanicista	
MAC	TSB	MAC	TSB
regular	regular	bueno	bueno

4.1.5.5. Espesores

Tabla 52. Comparación de espesores

Capa	AASHTO 93		Empírico - mecanicista	
	MAC	TSB	MAC	TSB
Capa de rodadura (cm)	5.00	2.50	8.00	2.50
Base (cm)	15.00	20.00	20.00	25.40
Subbase (cm)	20.00	30.00	25.00	50.80
Total	40.00	52.50	53.00	78.70

4.1.6. Comparación económica

4.1.6.1. Análisis de la demanda

Para la determinación de la demanda de vehículos se ha tomado en consideración la cantidad de vehículos que transitan a lo largo de la carretera Chala - Mollehuaca.

Para el cálculo del IMD se ha considerado el conteo total realizado en el tramo correspondiente durante un periodo de 7 días calendarios obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 53. Tránsito actual

Tipo de Vehículo	Jue 22/7/21	Vie 23/7/21	Sáb 24/7/21	Dom 25/7/21	Lun 26/7/21	Mar 27/7/21	Mier 28/7/21
Auto	63	60	62	69	93	73	60
S. Wagon	94	82	86	61	86	124	81
Pick Up	109	100	88	90	106	119	79
Panel	37	6	8	5	9	19	21
C. Rural	55	52	46	37	53	23	51
Micro	0	1	1	5	4	3	0
O – 2E	0	1	0	0	1	3	0
C – 2E	52	69	61	56	65	22	64
C – 3E	33	32	32	29	39	5	14
C – 4E	1	2	1	6	0	3	3
2S1	8	0	0	0	0	0	1
2S2	0	2	0	0	0	0	0
2S3	3	4	2	0	4	0	0
3S1	7	0	0	0	0	7	6
3S2	13	0	2	0	2	3	12
>=3S3	1	13	2	13	3	0	0
2T2	2	0	0	0	0	0	0
Total IMD	478	424	391	371	465	404	392

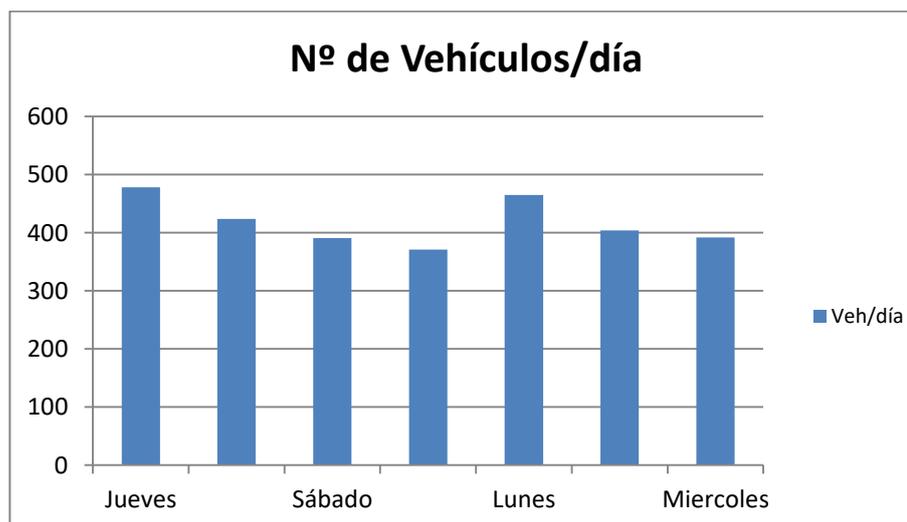


Figura 42. Número de vehículos por día

4.1.6.2. Análisis de oferta

a) Oferta sin proyecto

Tabla 54. Caracterización de la vía sin proyecto

Carretera	Tramo de prueba
1. Características de la vía y pavimento	
Longitud (km)	39.91
Tipo de material de superficie	Tierra
Ancho de calzada (m)	4.60
Estado de conservación	Malo
Tipo de daño	Encalaminado
Pendiente (%)	8.00
Bombeo	No
N.º de canteras	5
N.º de plazoletas de paso	10
Señalización	No
2. Obras de arte	
N.º puentes y luz (m)	1 (27.00 m)
Estado de conservación	Bueno
Badenes	2
Estado de conservación	Regular
Muro de sostenimiento (h < 4 m)	4
Estado de conservación	Malo
3. Drenaje	
Alcantarillas de TMC 24"	3
Estado de conservación	Regular
Tajeas	4
Estado de conservación	Malo
4. Impacto Ambiental	
Zona de botaderos	Sí

b) Oferta con proyecto

Tabla 55. Caracterización de la vía sin proyecto

Carretera	Tramo de prueba
1. Características de la vía y pavimento	
Longitud (km)	39.91
IMD (Veh. / día)	407
Velocidad de diseño (km/h)	40.00
Superficie de rodadura	Carpeta asfáltica en caliente
Ancho de calzada (m)	6.00
Ancho de berma (m)	0.50
Radio mínimo (m)	50
Perlate máximo (%)	6.0
Pendiente máxima (%)	8.0
Bombeo (%)	2.0
Taludes	H 1: V 1.5
Señalización (unid.)	108
Postes kilométricos (unid.)	40
Postes delineadores (unid.)	677
Guardavía de Acero (unid.)	386
Capta faros (unid.)	548
Marcas en el Pavimento (m ²)	15375
Tachas bidireccionales (unid.)	5000
2. Obras de arte	
Badenes	C° F'c=175kg/cm ²
Muros de sostenimiento (h < 4.50 m)	Mampostería de Piedra
3. Drenaje	
Alcantarillas	TMC
Tipo y sección	Circular D=48"
Cunetas	C° F'c=175 kg/cm ²
Tipo y sección (cm)	Triangular/0.30*0.60
4. Impacto ambiental	
Campamento	Sí
Patio de maquinaria	Sí
Zona de botaderos	Sí

4.1.6.3. Costos de operación y mantenimiento

- Costo de mantenimiento en US\$-km

Tabla 56. Costo de mantenimiento sin proyecto

Descripción	Precios de mercado
Mant. rutinario	1,144.06
Mant. periódico	1,724.98

Nota: tomada de Curso de actualización, pautas para la identificación, formulación y evaluación social de PIP a nivel de perfil ⁽⁵⁴⁾

Tabla 57. Costo de mantenimiento con proyecto

Descripción	Precios de mercado
Mant. rutinario	2288.12
Mant. periódico	3449.96

Nota: tomada de Curso de actualización pautas para la identificación, formulación y evaluación social de PIP a nivel de perfil ⁽⁵⁴⁾

- **Costo de mantenimiento a precios sociales**

Tabla 58. Factores sociales

Obras	Factor
Inversión	0.79
Mant. y operación	0.75

Nota: tomada de Curso de actualización pautas para la identificación, formulación y evaluación social de PIP a nivel de perfil ⁽⁵⁴⁾

a) Estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado con el método AASHTO 93

- **Costo de inversión**

Tabla 59. Presupuesto para pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Concepto	Alternativa
Obras preliminares	1,177,067.30
Movimiento de tierras	3,946,893.61
Subbase y base	6,254,622.99
Pavimentos	13,866,279.60
Obras de arte y drenaje	6,107,443.83
Transporte	3,669,684.13
Señalización	684,946.13
Plan de manejo ambiental	300,551.54
Seguridad y salud	42,997.51
Elaboración y trámite del plan de monitoreo arqueológico	78,585.44
Costos directos	36,129,072.08
Gastos generales 10 %	3,612,907.21
Utilidad 5 %	1,806,453.60
Subtotal general	41,548,432.89
IGV 18 %	7,478,717.92
Presupuesto de obra	49,027,150.81
Supervisión de obra 5 %	1,806,453.60
Estudio definitivo 6 %	2,167,744.32
Total de inversión	53,001,348.74
Costo US\$	13,802,434.57
Costo US\$/km	345,865.00

- Costos de inversión y mantenimiento

Tabla 60. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios del mercado.

Año	Sin proyecto	Con proyecto	
	Costos de mantenimiento	Inversión	Mantenimiento*
0		53,001,348.74	0
1	290,774.99		385,701.91
2	192,850.95		385,701.91
3	192,850.95		567,252.00
4	290,774.99		385,701.91
5	192,850.95		385,701.91
6	192,850.95		567,252.00
7	290,774.99		385,701.91
8	192,850.95		385,701.91
9	192,850.95		567,252.00
10	290,774.99		385,701.91

Tabla 61. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales

Año	Sin proyecto	Con proyecto	
	Costos de mantenimiento	Inversión	Mantenimiento
0		41,871,065.51	-
1	218,081.25		289,276.43
2	144,638.22		289,276.43
3	144,638.22		425,439.00
4	218,081.25		289,276.43
5	144,638.22		289,276.43
6	144,638.22		425,439.00
7	218,081.25		289,276.43
8	144,638.22		289,276.43
9	144,638.22		425,439.00
10	218,081.25		289,276.43

- Costos incrementales

Tabla 62. Costos incrementales para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	41,871,066	
1		71,195
2		144,638
3		280,801
4		71,195
5		144,638
6		280,801
7		71,195
8		144,638
9		280,801
10	-4,187,107	71,195

- Evaluación económica

Tabla 63. Evaluación de costo de efectividad para pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Año	Inversión	Costo de operación y mantenimiento	Flujo de costos
0	41,871,065.51		41,871,065.51
1		71,195.19	71,195.19
2		144,638.22	144,638.22
3		280,800.78	280,800.78
4		71,195.19	71,195.19
5		144,638.22	144,638.22
6		280,800.78	280,800.78
7		71,195.19	71,195.19
8		144,638.22	144,638.22
9		280,800.78	280,800.78
10	-4,187,107	71,195.19	-4,115,911.36
VACT		S/	41,199,468.96
C/E			3,099.58
C/E		US\$	807.18

b) Estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93

- Costo de inversión a costos privados

Tabla 64. Presupuesto para pavimento con tratamiento superficial bicapa

Concepto		Alternativa
Obras preliminares		1,177,067.30
Movimiento de tierras		3,946,893.61
Subbase y base		7,517,894.58
Pavimentos		5,560,407.09
Obras de arte y drenaje		6,107,443.83
Transporte		4,193,691.66
Señalización		684,946.13
Plan de manejo ambiental		300,551.54
Seguridad y salud		42,997.51
Elaboración y trámite del plan de monitoreo arqueológico		78,585.44
Costos directos		29,610,478.69
Gastos generales	10 %	2,961,047.87
Utilidad	5 %	1,480,523.93
Subtotal general		34,052,050.49
IGV	18 %	6,129,369.09
Presupuesto de obra		40,181,419.58
Supervisión de obra	5 %	1,480,523.93
Estudio definitivo	6 %	1,776,628.72
Total de inversión		43,438,572.24
Costo US\$		11,312,128.19
Costo US\$/km		283,462.25

- **Costos de inversión y mantenimiento**

Tabla 65. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios del mercado.

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		43,438,572	0
1	290,774.99		385,701.91
2	192,850.95		385,701.91
3	192,850.95		567,252.00
4	290,774.99		385,701.91
5	192,850.95		385,701.91
6	192,850.95		567,252.00
7	290,774.99		385,701.91
8	192,850.95		385,701.91
9	192,850.95		567,252.00
10	290,774.99		385,701.91

Tabla 66. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento
0		34,316,472.07	0
1	218,081.25		289,276.43
2	144,638.22		289,276.43
3	144,638.22		425,439.00
4	218,081.25		289,276.43
5	144,638.22		289,276.43
6	144,638.22		425,439.00
7	218,081.25		289,276.43
8	144,638.22		289,276.43
9	144,638.22		425,439.00
10	218,081.25		289,276.43

- Costos incrementales

Tabla 67. Costos incrementales para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	34,316,472	
1		71,195
2		144,638
3		280,801
4		71,195
5		144,638
6		280,801
7		71,195
8		144,638
9		280,801
10	-3,431,647	71,195

- Evaluación económica

Tabla 68. Evaluación del costo de efectividad para pavimento con tratamiento superficial bicapa

Año	Inversión	Costo de operación y mantenimiento	Flujo de costos
0	34,316,472.07		34,316,472.07
1		71,195.19	71,195.19
2		144,638.22	144,638.22
3		280,800.78	280,800.78
4		71,195.19	71,195.19
5		144,638.22	144,638.22
6		280,800.78	280,800.78
7		71,195.19	71,195.19
8		144,638.22	144,638.22
9		280,800.78	280,800.78
10	-3,431,647	71,195.19	-3,360,452.02
VACT		S/.	33,936,137.81
C/E		S/.	2,553.13
C/E		US\$	664.88

c) Estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado con el método empírico - mecanicista

- Costo de inversión y mantenimiento a costos privados

Tabla 69. Presupuesto para pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Concepto		Alternativa
Obras preliminares		1,177,067.30
Movimiento de tierras		3,946,893.61
Subbase y base		7,101,336.63
Pavimentos		20,559,923.37
Obras de arte y drenaje		6,107,443.83
Transporte		4,191,352.78
Señalización		684,946.13
Plan de manejo ambiental		300,551.54
Seguridad y salud		42,997.51
Elaboración y trámite del plan de monitoreo arqueológico		78,585.44
Costos directos		44,191,098.14
Gastos generales	10 %	4,419,109.81
Utilidad	5 %	2,209,554.91
Subtotal general		50,819,762.86
IGV	18 %	9,147,557.31
Presupuesto de obra		59,967,320.18
Supervisión de obra	5 %	2,209,554.91
Estudio definitivo	6 %	2,651,465.89
Total de inversión		64,828,340.97
Costo US\$		16,882,380.46
Costo US\$/km		423,043.09

- Costos de inversión y mantenimiento

Tabla 70. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios del mercado

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		64,828,341	0
1	290,774.99		385,701.91
2	192,850.95		385,701.91
3	192,850.95		567,252.00
4	290,774.99		385,701.91
5	192,850.95		385,701.91
6	192,850.95		567,252.00
7	290,774.99		385,701.91
8	192,850.95		385,701.91
9	192,850.95		567,252.00
10	290,774.99		385,701.91

Tabla 71. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento
0		51,214,389.37	0
1	218,081.25		289,276.43
2	144,638.22		289,276.43
3	144,638.22		425,439.00
4	218,081.25		289,276.43
5	144,638.22		289,276.43
6	144,638.22		425,439.00
7	218,081.25		289,276.43
8	144,638.22		289,276.43
9	144,638.22		425,439.00
10	218,081.25		289,276.43

- **Costos incrementales**

Tabla 72. Costos incrementales para pavimento con carpeta asfáltica en caliente en soles a precios sociales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	51,214,389	
1		71,195
2		144,638
3		280,801
4		71,195
5		144,638
6		280,801
7		71,195
8		144,638
9		280,801
10	-5,121,439	71,195

- Evaluación económica

Tabla 73. Evaluación del costo de efectividad para pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Año	Inversión	Costo de Operación y Mantenimiento	Flujo de Costos
0	51,214,389.37		51,214,389.37
1		71,195.19	71,195.19
2		144,638.22	144,638.22
3		280,800.78	280,800.78
4		71,195.19	71,195.19
5		144,638.22	144,638.22
6		280,800.78	280,800.78
7		71,195.19	71,195.19
8		144,638.22	144,638.22
9		280,800.78	280,800.78
10	-5,121,439	71,195.19	-5,050,243.75
		VACT	50,182,567.24
		C/E	3,775.40
		C/E (US\$)	983.18

d) Estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método empírico - mecanicista

- Costo de inversión y mantenimiento a costos privados

Tabla 74. Presupuesto para pavimento con tratamiento superficial bicapa

Concepto	Alternativa
Obras preliminares	1,177,067.30
Movimiento de tierras	3,946,893.61
Subbase y base	11,984,447.25
Pavimentos	5,560,407.09
Obras de arte y drenaje	6,107,443.83
Transporte	6,285,636.04
Señalización	684,946.13
Plan de manejo ambiental	300,551.54
Seguridad y salud	42,997.51
Elaboración y trámite del plan de monitoreo arqueológico	78,585.44
Costos directos	36,168,975.74
Gastos generales 10 %	3,616,897.57
Utilidad 5 %	1,808,448.79
Subtotal general	41,594,322.10
IGV 18 %	7,486,977.98
Presupuesto de obra	49,027,150.81
Supervisión de obra 5 %	1,808,448.79
Estudio definitivo 6 %	2,170,138.54
Total de inversión	53,059,887.41
Costo US\$	13,817,679.01
Costo US\$/km	346,247.00

- Costos de inversión y mantenimiento

Tabla 75. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios del mercado

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		53,059,887	0
1	290,774.99		385,701.91
2	192,850.95		385,701.91
3	192,850.95		567,252.00
4	290,774.99		385,701.91
5	192,850.95		385,701.91
6	192,850.95		567,252.00
7	290,774.99		385,701.91
8	192,850.95		385,701.91
9	192,850.95		567,252.00
10	290,774.99		385,701.91

Tabla 76. Costo de inversión y mantenimiento para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales

Año	Sin proyecto Costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento
0		41,917,311.05	0
1	218,081.25		289,276.43
2	144,638.22		289,276.43
3	144,638.22		425,439.00
4	218,081.25		289,276.43
5	144,638.22		289,276.43
6	144,638.22		425,439.00
7	218,081.25		289,276.43
8	144,638.22		289,276.43
9	144,638.22		425,439.00
10	218,081.25		289,276.43

- Costos incrementales

Tabla 77. Costos incrementales para pavimento con tratamiento superficial bicapa en soles a precios sociales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	41,917,311	
1		71,195
2		144,638
3		280,801
4		71,195
5		144,638
6		280,801
7		71,195
8		144,638
9		280,801
10	-4,191,731	71,195

- Evaluación económica

Tabla 78. Evaluación costo efectividad para pavimento con tratamiento superficial bicapa.

Año	Inversión	Costo de operación y mantenimiento	Flujo de costos
0	41,917,311.05		41,917,311.05
1		71,195.19	71,195.19
2		144,638.22	144,638.22
3		280,800.78	280,800.78
4		71,195.19	71,195.19
5		144,638.22	144,638.22
6		280,800.78	280,800.78
7		71,195.19	71,195.19
8		144,638.22	144,638.22
9		280,800.78	280,800.78
10	-4,191,731	71,195.19	-4,120,535.92
VACT		S/.	41,243,931.55
C/E			3,102.92
C/E		US\$	808.05

4.1.6.4. Comparación de alternativas

Tabla 79. Cuadro comparativo de costo de inversión de las alternativas

Método de diseño	Método AASHTO 93 pavimento con MAC	Método AASHTO 93 pavimento con TSB	Método empírico - mecanicista pavimento con MAC	Método empírico - mecanicista pavimento con TSB
Costo S/	53,001,348.74	43,438,572.24	64,828,340.97	53,059,887.41
Costo US\$	13,802,434.57	11,312,128.19	16,882,340.97	13,817,679.01
Costo US\$/km	345,865.00	284,462.25	423,04.09	346,247.00

Tabla 80. Cuadro comparativo de la relación costo efectividad de las alternativas

Método de diseño	Método AASHTO 93 pavimento con MAC	Método AASHTO 93 pavimento con TSB	Método empírico - mecanicista pavimento con MAC	Método empírico - mecanicista pavimento con TSB
C/E	<u>3,099.58</u> Beneficiarios	<u>2,553.13</u> Beneficiarios	<u>3,775.40</u> Beneficiarios	<u>3,102.92</u> Beneficiarios

De los resultados obtenidos se escoge a la alternativa con el menor C/E, para el presente caso, es efectiva al menor VAC la alternativa más rentable mediante el método costo – efectividad, es la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñada mediante el método AASHTO 93.

4.2. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos de la comparación técnica para el presente trabajo de investigación, se logró determinar que la alternativa más factible es la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado mediante el método empírico - mecanicistas (software WinDEPAV 2.6), con las siguientes capas, espesores y factor de daño: carpeta asfáltica en caliente = 8.30 cm. Con un factor de daño de $0.435 < 1.0$, base = 20.00 cm con un factor de daño de $0.980 < 1.0$ y una subbase = 25.00 cm. Con un factor de daño de $0.256 < 1.0$, los factores de daño de todas las capas son menores a 1.0, que permite predecir que dicha estructura de pavimento no presenta fallas durante su periodo de diseño. Económicamente, la alternativa más factible es la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado mediante la metodología AASHTO 93, con las siguientes capas y espesores: TSB = 2.5 cm, base = 20 cm y subbase = 30 cm, que ha sido comprobado con el software WinDEPAV 2.6 obteniendo un factor de daño de $5.763 > 1.0$, que hace predecir que este pavimento presenta falla por compresión a partir del año 2.0 del periodo de diseño, por lo que se descarta dicha alternativa.

En la investigación realizada por Isidro y Chambi⁽⁹⁾ concluye que al realizar la comparación técnica de pavimentos, empleando las metodologías AASHTO 93 y empírico-mecanicista se puede afirmar que los diseños obtenidos por el método empírico-mecanicista obtienen espesores menores a las mismas condiciones de tráfico y suelo. Con respecto a la comparación económica, empleando el método costo beneficio concluyen que la mejor alternativa de pavimento con la mejor rentabilidad es el pavimento flexible diseñado mediante el método empírico-mecanicista.

CONCLUSIONES

- El pavimento más factible en términos técnicos y económicos es la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado por el método empírico-mecanicista.
- Los resultados del estudio de suelo a nivel de subrasante determinaron un CBR promedio de 25.50 % que califica como una subrasante muy buena.
- Los resultados del estudio de clima determinaron una temperatura promedio de 20.33 °C en la estación Ático y una temperatura promedio de 19.13 °C en la estación Caravelí, con respecto a la precipitación se determinaron una precipitación máxima de 18.40 mm en la estación Ático y una precipitación promedio de 40.20 mm en la estación Caravelí.
- Los resultados del estudio de tráfico determinaron un IMDa de 407 veh./día, que clasifica como una carretera de segunda clase, el Esal de diseño para un periodo de diseño de 10 años es de $EE\ 8.2\ t = 9.83E+05$, que corresponde a un tráfico TP4.
- Los resultados de los diseños de la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante el método AASHTO 93 y empírico-mecanicista son los siguientes:

Tabla 81. Resultados de los diseños de estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Capa	AASHTO 93		Empírico - mecanicista	
	MAC	TSB	MAC	TSB
Capa de rodadura (cm)	5.00	2.50	8.30	2.50
Base (cm)	15.00	20.00	20.00	25.40
Subbase (cm)	20.00	30.00	25.00	50.80
Total	40.00	52.50	53.30	78.70

- Los resultados de la comparación técnica determina que la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado por el método AASHTO 93, presenta falla por compresión a partir del año 1.3 del periodo de diseño, la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado por el método AASHTO 93 presenta falla por compresión a partir del año 2.0 del periodo de diseño, la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñado por el método empírico-mecanicista no presenta falla durante el periodo de diseño y, por último, la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado por el método empírico-mecanicista presenta falla por compresión a partir del año 8.60 del periodo de diseño.

- Los resultados de la comparación económica determinan que la alternativa con el menor costo de inversión es la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado por el método AASHTO 93; sin embargo, mediante la evaluación técnica se ha demostrado que esta alternativa de pavimento presenta falla por compresión a partir del año 2.0 del periodo de diseño, por lo que queda descartado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el diseño de pavimentos mediante la metodología empírico-mecanicista se debe conocer con bastante precisión las características físicas y mecánicas de los materiales, como el módulo elástico de los materiales granulares y el módulo dinámico de la mezcla asfáltica.
- Para el diseño de la estructura de pavimento de la carretera Chala - Mollehuaca se recomienda utilizar el método empírico-mecanicista debido a que el método AASHTO 93 no garantiza el periodo de vida útil requerido.
- Se recomienda a los investigadores realizar un diseño de estructura de pavimentos con bases estabilizadas y mezclas asfálticas modificadas diseñadas con los métodos mecanicistas o racionales.
- Se recomienda a los investigadores realizar comparaciones de estructuras de pavimentos mediante los diferentes softwares disponibles que se tiene en el mercado.
- Se recomienda la implementación del manual de diseño de pavimentos con enfoques mecanicistas en el Perú.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **NASCIMENTO, F. et al.** A method to select a road pavement structure with life cycle assessment. *In Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2020. Vol. 271, p. 8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122210>.
2. **CASA CHIRIHUAYA, L. A.; TOBAR ULLAURI, X. A.** *Análisis comparativo técnico-económico entre pavimento flexible y rígido para alternativa vial de 3.15 km, para enlazar las vías: Aurora-Samborondón y Aurora-Salitre, ubicada en los cantones Samborondón y Salitre, provincia del Guayas.* [en línea]. Universidad de Guayaquil, 2021. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59227>.
3. **ARÉVALO PISCO, M. G.; DÍAZ VILALOBOS, J. R.** *Evaluación técnica y económica del tratamiento superficial bicapa (tsb) y slurry seal, de la carretera cacatachi – chirapa, departamento de San Martín* [en línea]. Universidad Científica del Perú, 2021. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1638>.
4. **BURGOS CAMPUZANO, A. A.; BENALCÁZAR VACA, G. R.** *Análisis de costos de la estructura del pavimento flexible de la vía Nanegal- Palmitopamba, provincia de Pichincha, considerando tres alternativas: membrana sintética, mejoramiento de la subrasante y sin mejoramiento.* [en línea]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2020. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/19648>.
5. **RUIZ URRUTIA, M. N.; RODRÍGUEZ PERALTA, J. C.** *Comparación técnico-económica del uso de pavimento rígido y pavimento flexible en Nicaragua. Estudio de caso: tramo Unikwas-Mulukuku.* [En línea]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN - Managua, 2016. <https://repositorio.unan.edu.ni/1356/1/73956.pdf>.
6. **AROUS, N. N.; GORYACHEV, M. G.** Comparative evaluation of the performance of different asphalt concrete road pavements on reinforced concrete road structures. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [En línea]. 2021. Vol. 1159, no. 1, p. 012033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.142>.
7. **MASCIO, P. D. et al.** *Technical and Economic Criteria to Select Pavement Surfaces of Port Handling Plants.* 2019.
8. **CANAHUIRI MOLLO, R. R.** *Análisis comparativo técnico – económico entre pavimento flexible y rígido por los métodos instituto de asfalto y AASHTO- 93, en Jr Abraham Valdelomar, urbanización Tambopata, distrito Juliaca, provincia San Román - Puno* [en línea]. Universidad Peruana Unión, 2021. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4771>.
9. **CHAMBI CHAMBILLA, M. A.; ISIDRO CHAGUA, R.** *Estudio comparativo técnico-económico entre pavimento rígido y pavimento flexible como alternativa de pavimentación de la Avenida Circunvalación del distrito de Yunguyo, provincia de*

- Yunguyo – Puno* [en línea]. Universidad Nacional del Altiplano Puno, 2017.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7542>.
10. **TRUJILLO CAMPO, F. N.** *Evaluación técnica económica entre el pavimento flexible y rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Las Pampas - Tomayquicha - Ambo* [en línea]. Universidad Nacional Hermilio Valdizan, 2018. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4548>.
 11. **FARFAN HILAQUITA, J.; RODRIGUEZ SANDOVAL, A. A.** *Análisis del costo de ciclo de vida para la elección del tipo de pavimento flexible o rígido de la Av. 101 Apipa-Cerro Colorado* [en línea]. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2020. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/11502>.
 12. **ORTIZ MANCERA, A. L.** *Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible*. Bogotá, 2017.
 13. **KRÖGER, S.; KRÖGER, I.** *Tratamientos superficiales de alto desempeño 2.1*. Ed. Sud. © Stalori S. A. Canelones - Uruguay, 2020.
 14. **VINCES, C. E. L.** *Diseño de la estructura del pavimento flexible en la avenida Che Guevara, acceso al terminal terrestre del cantón Vinces, provincia de Los Ríos* [en línea]. Universidad de Guayaquil, 2019. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50995>.
 15. **APAZA, C. O. R.** *Incidencia de las patologías en la superficie y estructura del pavimento flexible, en la Av. Jorge Basadre Grohmann tramo calle 22 – Av. Pinto – Tacna, 2018* [en línea]. Universidad Privada de Tacna, 2019.
<http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>.
 16. **CEREZO, C. M. E.; CEBALLOS, M. J. R.** *Diseño de la estructura del pavimento flexible para las vías del barrio “La Revancha” en la ciudad de Manta, provincia de Manabí, por la metodología AASHTO 93* [en línea]. Universidad de Guayaquil, 2022.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60497>.
 17. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos*. Ed. Lima, Perú, 2014. 302 p.
 18. **SOUSA, D. H. V., et al.** *Análise comparativa da implementação de concreto betuminoso usinado a quente e tratamento superficial duplo em bairros de papagaios – MG*. [en línea]. 2021. p. 92267–92284. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-408>.
 19. **DELGADO, Y. G. E.** *Selección y diseño de pavimento de bajo tráfico con tratamiento superficial del paso inferior San Clemente - Pisco - Ica, 2020*. Universidad Señor de Sipán, 2020.
 20. **HERRERA CABREJO, D. F.; MÉNDEZ SÁNCHEZ, J. D.** *Verificación mediante el método racional de las alternativas estructurales de pavimentos flexibles para vías con bajos volúmenes de tránsito del Invias* [en línea]. Universidad Católica de Colombia, 2021. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26737>.

21. **RAMOS, A. J. L.** *Mecánica de suelos aplicada al diseño de estructura de pavimento para el mejoramiento de la transitabilidad en vías urbanas* [en línea]. Universidad Nacional Federico Villarreal, 2019. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3207>
22. **CASTILLO, B. A.** *Estudio geotécnico para el diseño del túnel dos de la Vía Evitamiento – Huánuco* [en línea]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/16613>
23. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Directorio general de caminos y ferrocarriles.* 2016.
24. **SUÁREZ, V. J. S.** *Guías de laboratorio del área de suelos.* [en línea]. Universidad Católica de Colombia, 2013. <http://hdl.handle.net/10983/1088>
25. **ARCE, W., et al.** *Diseño de software de clasificación de suelo programado en la plataforma .net de Visual Studio bajo las normas de los sistemas SUCS y AASTHO.* [en línea]. 2021. Vol. 1, p. 1–5. https://revistatierra.unan.edu.ni/index.php/revista_tierra/article/view/26/19.
26. **SOUSA PRASS, A., et al.** *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas a solos do município de Alta Floresta – MT.* [en línea]. 2019. https://revistatierra.unan.edu.ni/index.php/revista_tierra/article/view/26/19.
27. **LÓPEZ MALDONADO, G.** *Ensayos de compactación en carreteras : Proctor normal y modificado.* [en línea]. 2020. <http://hdl.handle.net/10251/139866>.
28. **CONTRERAS AVILA, J. F.; GARCIA, A. E.** *Correlación del penetrómetro dinámico de cono (P.D.C.) con ensayo de relación de soporte de california (C.B.R.) para suelos en la localidad de Engativá de la ciudad de Bogotá, utilizando la norma del Instituto Nacional de Vías.* [en línea]. Universidad Católica de Colombia, 2019. <https://hdl.handle.net/10983/23933>.
29. **MENDOZA SÁNCHEZ, J. F., et al.** *Carreteras, cambios climáticos y medidas de adaptación.* 2021. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2018/10/carreteras-cambio-climatico-y-medidas-de-adaptacion/>.
30. **CHÁVEZ DE LA LIMA, J. D., et al.** *Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, región Sierra de Amula, Jalisco, México Rainfall and temperature consistency, uniformity and distribution, Sierra de Amula, region Jalisco, Mexico.* [en línea]. 2022. Vol. 68, no. 1. <<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.13>>.
31. **LEIVA, V. F., et al.** *Simulación de variables climáticas en ensayos de daño acelerado de pavimentos a escala natural.* [en línea]. 2016. p. 20–29. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/29774>.
32. **CLEMENTE HUARCAYA, P.** *Influencia de los factores climáticos en el*

- comportamiento estructural de pavimentos flexibles en el distrito de Chilca* [en línea]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5913>
33. **MITMA MAYTA, W.; ZARAVIA MALLMA, R. M.** *Estudio de tráfico y optimización de la red vial que comprende el Jr. Libertad, Jr. Olímpico y Av. Gandolini de la ciudad de Lircay – Angaraes* [en línea]. Universidad Nacional de Huancayo, 2019. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2982>
 34. **CHIPANA JIMENEZ, L. M.; PARI JIMENEZ, S. D.** *Diseño de pavimento flexible por método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en el camino vecinal, tramo Río Seco – límite Calana, distrito de Pocollay, Tacna – 2019* [en línea]. Universidad Privada de Tacna, 2021. <<http://hdl.handle.net/20.500.12969/2093>>.
 35. **AASHTO.** *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. 1993. ISBN 1-56051-055-2.
 36. **MELCHOR BARRIGA, J. O.** *Modelo de simulación empírico-mecanicista para determinar la vida útil de pavimentos flexibles basado en Monte Carlo* [en línea]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2018. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3142.
 37. **ANGUAS, P. G.; CORREA, A.** *Publicaciones técnicas*. [en línea]. México, 2004. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt258.pdf>>.
 38. **CORIA, C., et al.** *Elaboración de un programa de diseño de pavimentos flexibles*. [en línea]. 2012. Vol. 2. https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/5_Vias_terrestres/I4COGC_1.pdf>.
 39. **RICO, R. A., et al.** *Pavimentos flexibles. problemática, metodologías de diseño y tendencias*. [en línea]. 1998. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt104.pdf>.
 40. **ELIZONDO, F., et al.** *Predicción de módulos resilientes en mezclas asfálticas mediante el modelo de Witczak*. [en línea]. 2007. n.º 506, p. 1–20. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/447/CILA-03-07>
 41. **MELCHOR, J. O., et al.** *Implementación de un modelo climático a un sistema probabilístico de diseño de pavimentación flexibles empírico- mechanicista*. [en línea]. 2020. p. 13–23. <https://www.asefma.es/wp-content/uploads/2020/03/articulo-implementacion.pdf>.
 42. **SOLES REYES, D. A.; VÁSQUEZ GUAYLUPO, K. A.** *Evaluación estructural de la carretera puente Virú – Virú, utilizando el método mecanístico* [en línea]. Universidad Nacional del Santa, 2018. <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllo>

wed=y.

43. **MICHA BUENO, M.** *Desarrollo de software para el diseño de pavimentos por el método mecánico – empírico (MEPDG) AASHTO* [interaktyvus]. [s.l.]: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2794>.
44. **CORIA GUTIÉRRES, C. A., et al.** *Documento técnico*. [en línea]. México, 2018. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt72.pdf>.
45. **CERECEDA, M. G. A.** *Cálculo de vida remanente de pavimentos asfálticos con un enfoque mecanicista*. [en línea]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2020. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/10590>.
46. **OLIVAS MENDOZA, R. N.** *Aplicación de metodo empirico mecanicista para la evaluacion de probables fallas del pavimento flexible diseñado con AASHTO 93 de la habilitacion urbana los Anitos – Barranca, 2016* [en línea]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2016. [http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/1025/1/Richard Hidalgo Mozombite_Rafael Pacheco Gonzaga.pdf](http://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/1025/1/Richard%20Hidalgo%20Mozombite_Rafael%20Pacheco%20Gonzaga.pdf).
47. **HUANG, Y.** *Pavement-analysis-and-design*. 2004.
48. **MARTINEZ OSPINO, L. M.; NOGUERA NUÑEZ, R. D.** *Modelos de serviciabilidad de pavimentos a partir del indice de condicion del pavimento (PCI) con relación a las velocidades de operación*. [en línea]. Universidad de la Costa, 2020. <https://hdl.handle.net/11323/6265>.
49. **GALARZA, C. R.** *The scope of an investigation*. [en línea]. 2020. Vol. 9. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>.
50. **ARIAS, F. G.** *El proyecto de la investigación : introducción a la metodología científica* 2012. ISBN 9800785299.
51. **USECHE, M. C., et al.** *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali - cuantitativos* Colombia ISBN 9789566037040.
52. **VASQUEZ VARELA, L. R.** *Windepav*. [en línea]. .2018. <https://sites.google.com/site/windepav>.
53. **VILLAFANA HUAMÁN, G. L.; RAMÍRES VILLANUEVA, R. M.** *Análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y una mezcla asfáltica convencional 60/70* [en línea]. Universidad Privada del Norte, 2019. <https://hdl.handle.net/11537/21259>.
54. **GARCÍA AQUINO, L.** *Pautas para perfil*. Lima - Perú, 2014. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/Pautas_para_la_I,FyES_de_PIP,_perfil.pdf.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 82. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general				
¿Cuál pavimento es más factible mediante la comparación técnica y económica entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, diseñado con el método AASHTO 93 y Empírico Mecanicista en la carretera Chala - Mollehuaca - 2021?	Determinar el pavimento más factible mediante la comparación técnica y económica entre estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa, diseñado con el método AASHTO 93 y Empírico Mecanicista en la carretera Chala Mollehuaca – 2021.	El pavimento más factible técnica y económicamente, es la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñada con el método empírico mecanicista.	VI: Estructura de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa	Estudio de suelos Estudio de clima Estudio de tráfico	Clasificación de suelos	Método Método científico
					Proctor modificado CBR	
					Precipitación Temperatura	Tipo de Investigación Correlacional
					IMDA ESAL	
					Periodo de diseño Ejes equivalentes	Nivel de Investigación Aplicativo
			Módulo resiliente			
¿Cuál será el estudio de suelos a nivel de sub rasante de la carretera Chala - Mollehuaca?	Determinar el estudio de suelos a nivel de sub rasante de la carretera Chala - Mollehuaca.	Los estudios de suelos a nivel de sub rasante son favorables para el diseño de pavimentos.		Método de diseño AASHTO 93	Confiabilidad Desv. estándar normal Desv. Estándar combinado Índice de serviciabilidad	Diseño de Investigación No experimental
¿Cuál será el clima de la carretera Chala - Mollehuaca?	Determinar el clima de la carretera Chala - Mollehuaca.	El área de estudio de la carretera Chala - Mollehuaca presenta un clima cálido.			Drenaje	
¿Cuál será el tráfico de la carretera Chala - Mollehuaca?	Determinar el tráfico de la carretera Chala - Mollehuaca.	La carretera Chala - Mollehuaca corresponde a un tráfico TP4			Módulo de elasticidad Relación de Poisson	Población Carretera Chala Mollehuaca
¿Cuál será la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial	Diseñar la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial	Las estructuras de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñada por los métodos AASHTO 93 y		Método de diseño empírico mecanicista		
						Muestra 05 kilómetros (prog. 00+000 a la prog.

bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista?	bicapa empleando el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.	Empírico Mecanicista presentan espesores menores que las estructuras de pavimento con tratamiento superficial bicapa.		Esesor de capa Tipo de falla Modelo de carga Transito esperado Periodo de diseño Desempeño estructural Transmisión de esfuerzos	05+000) en donde se realizará la exploración de 10 calicatas a cada 500 metros para la determinación de 10 unidades de clasificación de suelo, 05 unidades de Proctor, 05 unidades de CBR, 05 unidades de contenido de humedad, con respecto al estudio de tráfico se realizará 01 punto de aforo vehicular
¿Cuál será la comparación técnica entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista?	Comparar técnicamente entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.	La comparación técnica demuestra que el pavimento con carpeta asfáltica en caliente es superior que el pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con el método AASHTO 93 y empírico mecanicista.	VD: Comparación técnica y económica	Comparación técnica deformaciones	
¿Cuál será la comparación económica entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante la metodología costo efectividad?	Comparar económicamente entre la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente y tratamiento superficial bicapa mediante la metodología costo efectividad.	La comparación económica mediante el análisis costo efectividad demuestra que los pavimentos con tratamiento superficial bicapa tienen menores costos frente a los pavimentos con carpeta asfáltica en caliente.		Comparación económica Costo – Efectividad	Instrumentos Guía de observación Fichas digitales Cuadro de registros

Anexo 2

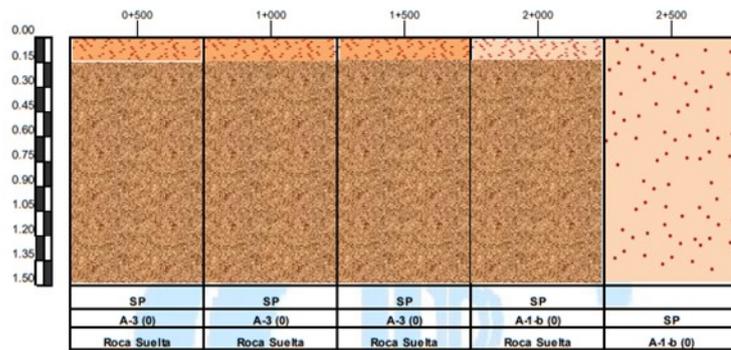
Clasificación de suelos según sistema SUCS y AASHTO



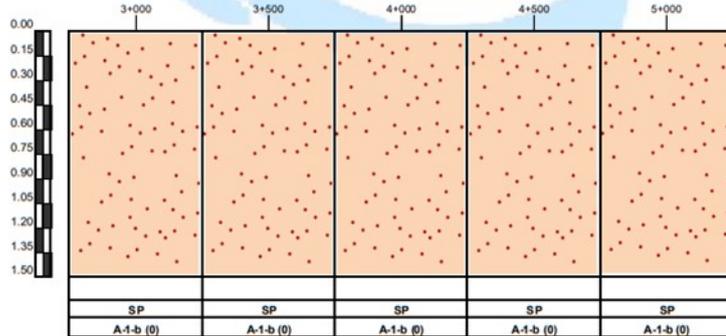
Estudio de Mecánica de Suelos y Rocas
 Concreto y Asfalto
 Asesoría Técnica
 Supervisión de Obras Civiles

PERFILES ESTRATIGRAFICOS

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITALAR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITALAR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020



Anexo 3

Ensayos de Proctor modificado



Estudio de Mecánica de Suelos y Rocas
 Concreto y Asfalto
 Asesoría Técnica
 Supervisión de Obras Civiles

PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

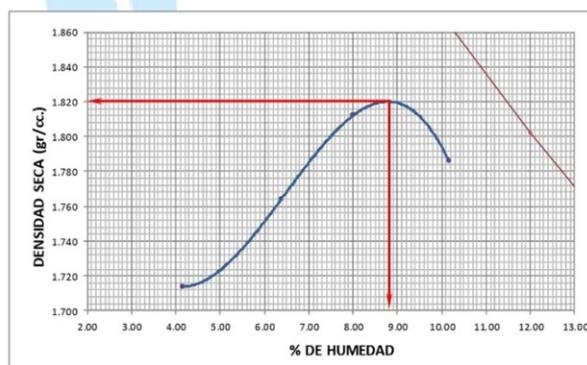
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU

FECHA : MAYO DEL 2020

MATERIAL : SP A-3 (0)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2137.5		PESO DEL MOLDE (gr.) :				2709		MOLDE Nro	1	
NUMERO DE ENSAYOS			1	2	3	4			5	6	
PESO SUELO + MOLDE			6525	6721	6892	6915					
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO			3816	4012	4183	4206					
DENSIDAD HUMEDA			1.785	1.877	1.957	1.968					
CAPSULA Nro.			4	4	4	4					
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA			69.00	72.50	73.10	78.80					
PESO SUELOS SECO + CAPSULA			67.20	69.60	69.50	73.70					
PESO DE LA CAPSULA			24.00	24.20	24.50	23.50					
PESO DE AGUA			1.80	2.90	3.60	5.10					
PESO DE SUELO SECO			43.20	45.40	45.00	50.20					
CONTENIDO DE AGUA			4.17	6.39	8.00	10.16					
DENSIDAD SECA			1.714	1.764	1.812	1.786					
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.820	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:				8.80	%			



PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

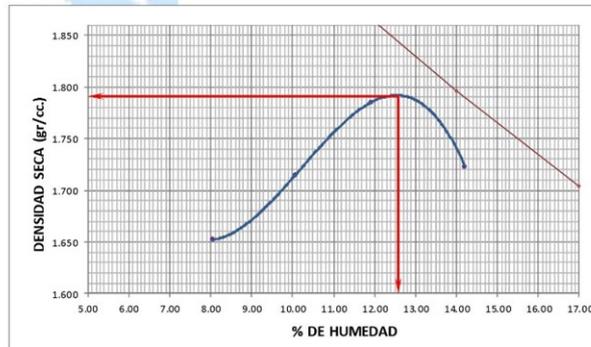
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU

FECHA : MAYO DEL 2020

MATERIAL : SP A-1-b (0)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	PESO DEL MOLDE (gr) :				MOLDE Nro	
2137.5	1	2	3	4	5	6
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	5	6
PESO SUELO + MOLDE	6525	6744	6979	6915		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3816	4035	4270	4206		
DENSIDAD HUMEDA	1.785	1.888	1.998	1.968		
CAPSULA Nro.	4	4	4	4		
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	85.50	69.90	55.30	70.90		
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	80.80	65.80	52.00	65.10		
PESO DE LA CAPSULA	22.50	25.10	24.30	24.30		
PESO DE AGUA	4.70	4.10	3.30	5.80		
PESO DE SUELO SECO	58.30	40.70	27.70	40.80		
CONTENIDO DE AGUA	8.06	10.07	11.91	14.22		
DENSIDAD SECA	1.652	1.715	1.785	1.723		
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.790	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		12.60	%



PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

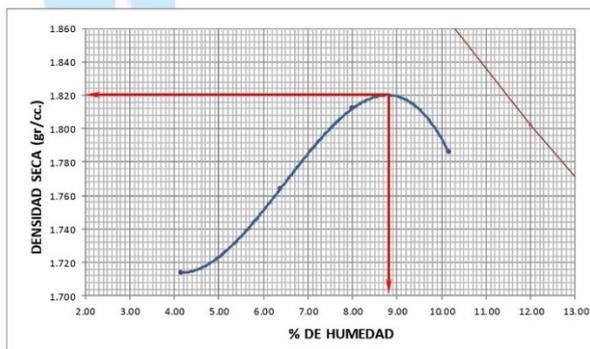
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU

FECHA : MAYO DEL 2020

MATERIAL : SP A-3 (0)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	PESO DEL MOLDE (gr.) :				MOLDE Nro	
2137.5	1	2	3	4	1	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	5	6
PESO SUELO + MOLDE	6525	6721	6892	6915		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3816	4012	4183	4206		
DENSIDAD HUMEDA	1.785	1.877	1.957	1.968		
CAPSULA Nro.	4	4	4	4		
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	69.00	72.50	73.10	78.80		
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	67.20	69.60	69.50	73.70		
PESO DE LA CAPSULA	24.00	24.20	24.50	23.50		
PESO DE AGUA	1.80	2.90	3.60	5.10		
PESO DE SUELO SECO	43.20	45.40	45.00	50.20		
CONTENIDO DE AGUA	4.17	6.39	8.00	10.16		
DENSIDAD SECA	1.714	1.764	1.812	1.786		
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.820	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:	8.80	%	



PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

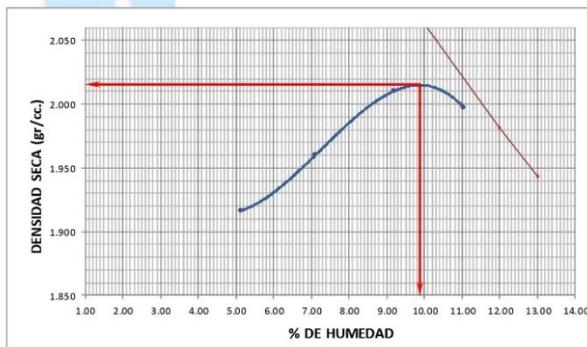
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU

FECHA : MAYO DEL 2020

MATERIAL : SW-SM A-1-a (0)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2137.5		PESO DEL MOLDE (gr.) :		2709		MOLDE Nro	1
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	5	6		
PESO SUELO + MOLDE	7015	7195	7402	7450				
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4306	4486	4693	4741				
DENSIDAD HUMEDA	2.015	2.099	2.196	2.218				
CAPSULA Nro.	8	4	6	7				
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	74.50	70.40	82.10	85.60				
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	72.00	67.20	77.20	79.40				
PESO DE LA CAPSULA	23.20	22.10	24.00	23.20				
PESO DE AGUA	2.50	3.20	4.90	6.20				
PESO DE SUELO SECO	48.80	45.10	53.20	56.20				
CONTENIDO DE AGUA	5.12	7.10	9.21	11.03				
DENSIDAD SECA	1.916	1.960	2.010	1.998				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.015	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:		9.90	%		



PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

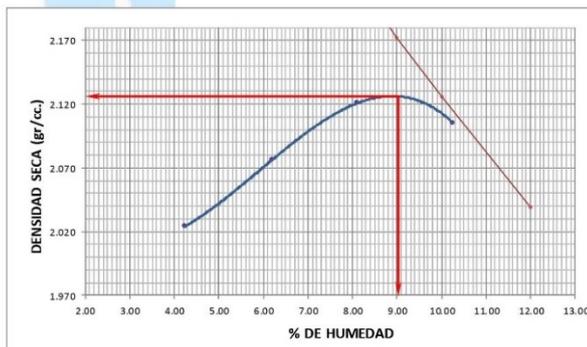
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA

SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU

FECHA : MAYO DEL 2020

MATERIAL : GP A-1-a (0)

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2137.5		PESO DEL MOLDE (gr.) :		2709		MOLDE Nro	1
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	5	6		
PESO SUELO + MOLDE	7218	7422	7609	7671				
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4509	4713	4900	4962				
DENSIDAD HUMEDA	2.109	2.205	2.292	2.321				
CAPSULA Nro.	1	2	4	5				
PESO SUELO HUMEDO + CAPSULA	82.30	95.80	105.30	90.40				
PESO SUELOS SECO + CAPSULA	80.00	91.50	99.20	84.30				
PESO DE LA CAPSULA	25.60	22.10	23.90	24.80				
PESO DE AGUA	2.30	4.30	6.10	6.10				
PESO DE SUELO SECO	54.40	69.40	75.30	59.50				
CONTENIDO DE AGUA	4.23	6.20	8.10	10.25				
DENSIDAD SECA	2.024	2.076	2.121	2.106				
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2.124	gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:	9.00	%			



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 01 SP A-3 (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes / capa	10		25		56	
Cond. De la mucst.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	8,417	8,384	8,568	8,566	8,709	8,728
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	4,318	4,285	4,469	4,467	4,610	4,629
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	1.85	1.84	1.92	1.92	1.98	1.99
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	205.60	196.30	188.80	193.20	179.50	194.10
Tarro + suelo seco	189.60	181.10	174.10	178.00	165.80	178.90
Agua	16.00	15.20	14.70	15.20	13.70	15.20
Peso del tarro	24.50	25.10	24.90	25.00	24.40	24.30
Peso del suelo seco	165.10	156.00	149.20	153.00	141.40	154.60
% de humedad	8.90	9.30	8.70	9.50	8.80	9.60
Densidad seca	1.7030	1.6840	1.7660	1.7520	1.8200	1.8140

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
				NO EXPANSIVO				

PENETRACIÓN

Penet	Carga std.PSI	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
		Carga	Lb	Corrección	%	Carga	Lb	Corrección	%	Carga	Lb	Corrección	%
0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		5	36	12		16	119	40		31	229	77	
0.050		12	89	30		25	188	63		48	364	122	
0.075		29	221	74		48	364	122		75	563	189	
0.100	1,000	42	316	106	21.0%	77	581	195	31.0%	121	906	304	47.0%
0.200		120	903	303		205	1538	516		312	2339	785	
0.300		239	1791	601		333	2494	837		546	4098	1375	
0.400		335	2515	844		427	3201	1074		765	5737	1925	
0.500		406	3046	1022		501	3758	1261		852	6392	2145	



Anexo 4

Ensayos de CBR



Estudio de Mecánica de Suelos y Rocas
Concreto y Asfalto
Asesoría Técnica
Supervisión de Obras Civiles

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 01 SP A-3 (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes / capa	10		25		56	
Cond. De la muestr.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	8,417	8,384	8,568	8,566	8,709	8,728
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	4,318	4,285	4,469	4,467	4,610	4,629
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	1.85	1.84	1.92	1.92	1.98	1.99
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	205.60	196.30	188.80	193.20	179.50	194.10
Tarro + suelo seco	189.60	181.10	174.10	178.00	165.80	178.90
Agua	16.00	15.20	14.70	15.20	13.70	15.20
Peso del tarro	24.50	25.10	24.90	25.00	24.40	24.30
Peso del suelo seco	165.10	156.00	149.20	153.00	141.40	154.60
% de humedad	8.90	9.30	8.70	9.50	8.80	9.60
Densidad seca	1.7030	1.6840	1.7660	1.7520	1.8200	1.8140

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión

PENETRACIÓN

Penet	Carga std.PSI	MOLDE		1				MOLDE				2				MOLDE				3							
		Carga	Corrección	Lb	Lb	PSI	%	Carga	Lb	Lb	PSI	%	Carga	Lb	Lb	PSI	%	Carga	Lb	Lb	PSI	%					
0		0	0	0	0			0	0	0			0	0	0			0	0	0			0	0	0		
0.025		5	36	12				16	119	40			31	229	77												
0.050		12	89	30				25	188	63			48	364	122												
0.075		29	221	74				48	364	122			75	563	189												
0.100	1,000	42	316	106	21.0%			77	581	195	31.0%		121	906	304	47.0%											
0.200		120	903	303				205	1538	516			312	2339	785												
0.300		239	1791	601				333	2494	837			546	4098	1375												
0.400		335	2515	844				427	3201	1074			765	5737	1925												
0.500		406	3046	1022				501	3758	1261			852	6392	2145												



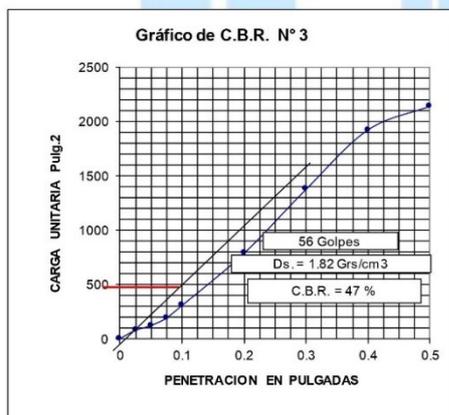
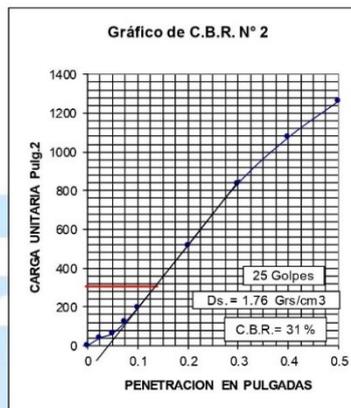
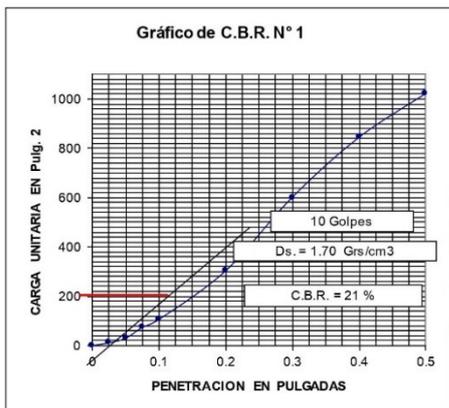
Av. Mariscal Castilla 1227 Urb. Santa Rosa – Mariano Melgar - Arequipa RUC: 20604438331

(054)614121 - Claro: 976 783295
Email : conslabertt@gmail.com



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 01 SP A-3 (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.



CBR AL 100%	47.0%
CBR AL 95%	25.6%



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHU
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 02 SP A-1-b (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°	1	2	3			
N° de capas	5	5	5			
N° de golpes / capa	10	25	56			
Cond. De la muestr.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	8,485	8,486	8,630	8,640	8,792	8,790
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	4,386	4,387	4,531	4,541	4,693	4,691
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	1.88	1.88	1.95	1.95	2.02	2.01
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	184.4	177.6	148.3	159.5	170.2	169.3
Tarro + suelo seco	166.2	159.4	134.5	143.5	153.9	152.4
Agua	18.17	18.19	13.75	15.99	16.32	16.85
Peso del tarro	24.26	24.65	24.52	24.16	24.39	24.78
Peso del suelo seco	141.97	134.76	110.03	119.35	129.49	127.67
% de humedad	12.80	13.50	12.50	13.40	12.60	13.20
Densidad seca	1.6700	1.6600	1.7300	1.7200	1.7900	1.7800

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
NO EXPANSIVO								

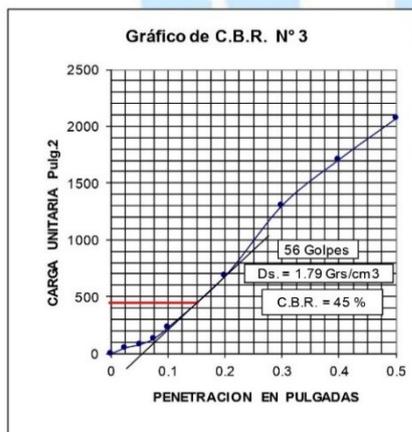
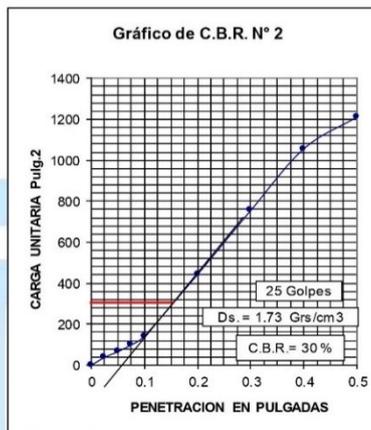
PENETRACIÓN

Penet Pulg	Carga std.PSI	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
		Carga Lb.	Corrección Lb	PSI	%	Carga Lb	Corrección Lb	PSI	%	Carga Lb	Corrección Lb	PSI	%
0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		7	51	17		15	113	38		21	155	52	
0.050		16	122	41		26	197	66		32	241	81	
0.075		29	215	72		39	295	99		52	393	132	
0.100	1,000	39	292	98	21.0%	56	423	142	30.0%	92	688	231	45.0%
0.200		128	963	323		176	1320	443		271	2035	683	
0.300		227	1702	571		300	2250	755		518	3883	1303	
0.400		303	2274	763		420	3147	1056		678	5084	1706	
0.500		357	2679	899		481	3609	1211		821	6157	2066	



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHU
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 02 SP A-1-b (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.



CBR AL 100%	45.0%
CBR AL 95%	25.0%

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°		1		2		3
N° de capas		5		5		5
N° de golpes / capa		10		25		56
Cond. De la muestr.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	9,066	9,078	9,213	9,200	9,359	9,368
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	4,967	4,979	5,114	5,101	5,260	5,269
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	2,13	2,14	2,20	2,19	2,26	2,26
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	177,40	179,60	165,20	175,20	182,30	177,60
Tarro + suelo seco	165,72	166,69	154,54	162,72	170,48	165,24
Agua	11,68	12,91	10,66	12,48	11,82	12,36
Peso del tarro	25,00	24,80	24,60	24,10	24,60	24,80
Peso del suelo seco	140,72	141,89	129,94	138,62	145,88	140,44
% de humedad	8,30	9,10	8,20	9,00	8,10	8,80
Densidad seca	1,9700	1,9600	2,0300	2,0100	2,0900	2,0800

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión

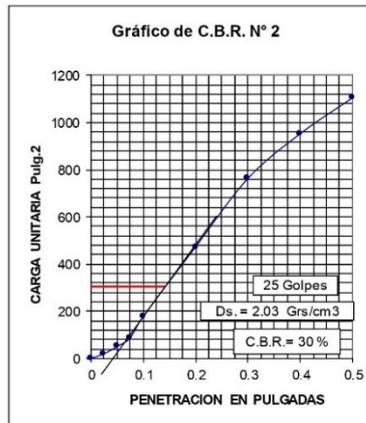
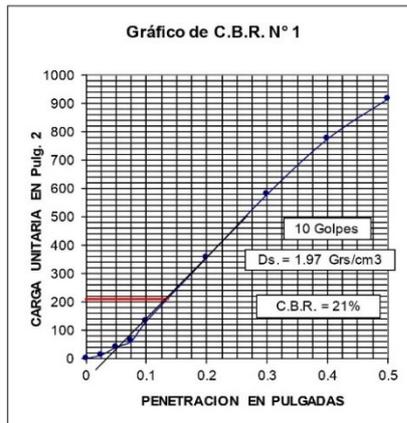
PENETRACIÓN

Penet	Carga	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
		Carga	Corrección			Carga	Corrección			Carga	Corrección		
Pulg	std.PSI	Lb.	Lb	PSI	%	Lb	Lb	PSI	%	Lb	Lb	PSI	%
0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		5	39	13		8	63	21		18	137	46	
0.050		16	122	41		20	152	51		29	218	73	
0.075		25	185	62		35	262	88		48	364	122	
0.100	1,000	53	396	133	21.0%	71	533	179	30.0%	98	736	247	49.0%
0.200		142	1067	358		188	1410	473		309	2318	778	
0.300		231	1731	581		303	2271	762		494	3707	1244	
0.400		308	2312	776		378	2834	951		693	5197	1744	
0.500		365	2736	918		438	3287	1103		808	6058	2033	



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 03 GW A-1-a (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.



CBR AL 100%	51.0%
CBR AL 95%	24.0%

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 04 SW-SM A-1-a (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°	1	2	3			
N° de capas	5	5	5			
N° de golpes / capa	10	25	56			
Cond. De la muestr.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	8,956	8,944	9,105	9,116	9,268	9,235
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	4,857	4,845	5,006	5,017	5,169	5,136
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	2.09	2.08	2.15	2.15	2.22	2.21
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	201.50	195.20	181.20	146.60	184.50	177.30
Tarro + suelo seco	185.68	178.72	167.35	134.97	170.08	163.06
Agua	15.82	16.48	13.85	11.63	14.42	14.24
Peso del tarro	24.26	24.65	24.52	24.16	24.39	24.78
Peso del suelo seco	161.42	154.07	142.83	110.81	145.69	138.28
% de humedad	9.80	10.70	9.70	10.50	9.90	10.30
Densidad seca	1.9000	1.8800	1.9600	1.9500	2.0200	2.0000

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
NO EXPANSIVO								

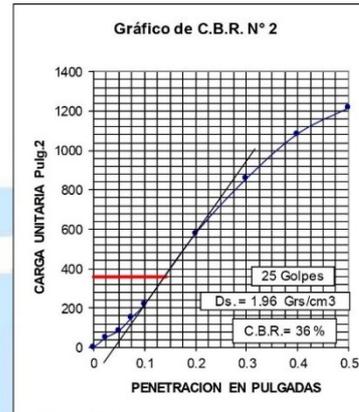
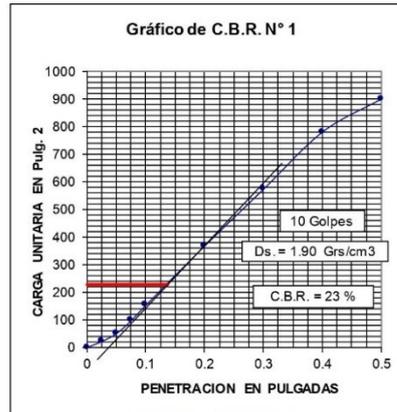
PENETRACIÓN

Penet	Carga std. PSI	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
		Carga Lb.	Corrección Lb.	PSI	%	Carga Lb.	Corrección Lb.	PSI	%	Carga Lb.	Corrección Lb.	PSI	%
0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		9	66	22		20	152	51		31	229	77	
0.050		20	152	51		34	256	86		48	364	122	
0.075		39	292	98		60	453	152		75	563	189	
0.100	1,000	61	459	154	23.0%	87	650	218	36.0%	121	906	304	48.0%
0.200		147	1100	369		229	1719	577		312	2339	785	
0.300		228	1714	575		340	2551	856		546	4098	1375	
0.400		311	2330	782		430	3224	1082		765	5737	1925	
0.500		358	2688	902		482	3618	1214		852	6392	2145	



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHUACA
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 04 SW-5M A-1-a (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.



CBR AL 100%	48%
CBR AL 95%	27%

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHU/ PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 05 GP A-1-a (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.

Molde N°	1		2		3	
N° de capas	5		5		5	
N° de golpes / capa	10		25		56	
Cond. De la muestr.	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
Peso molde+suelo h.	9,179	9,179	9,322	9,309	9,479	9,472
Peso del molde	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099	4,099
Peso del suelo h.	5,080	5,080	5,223	5,210	5,380	5,373
Volumen del suelo	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328	2,328
Densidad húmeda	2.18	2.18	2.24	2.24	2.31	2.31
Tarro N°	1	2	3	4	5	6
Tarro + suelo h.	156.90	195.20	166.30	196.20	177.20	186.60
Tarro + suelo seco	145.85	179.42	154.72	181.07	164.59	172.03
Agua	11.05	15.78	11.58	15.13	12.61	14.57
Peso del tarro	24.40	24.70	24.60	25.10	24.50	24.90
Peso del suelo seco	121.45	154.72	130.12	155.97	140.09	147.13
% de humedad	9.10	10.20	8.90	9.70	9.00	9.90
Densidad seca	2.0000	1.9800	2.0600	2.0400	2.1200	2.1000

EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansión	Dial	Expansión	Dial	Expansión
NO EXPANSIVO								

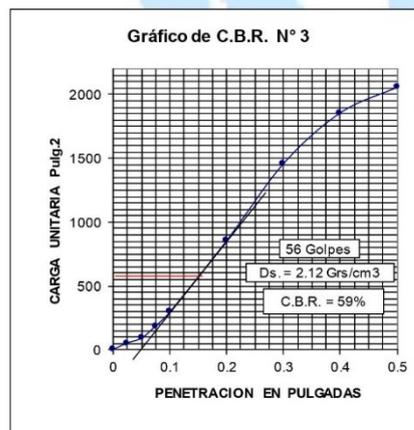
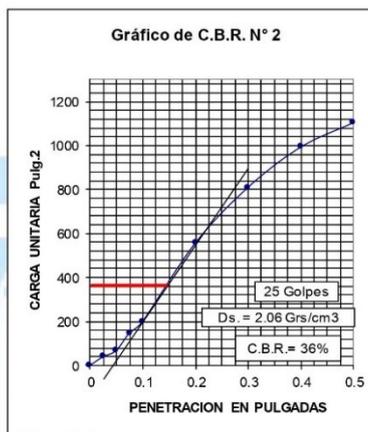
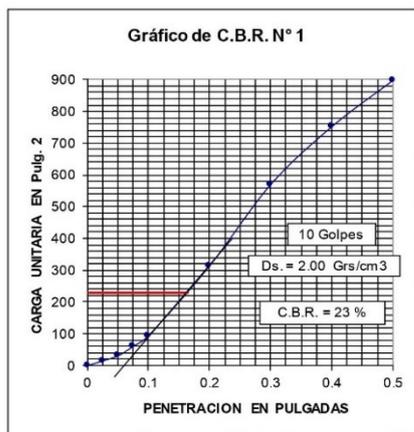
PENETRACIÓN

Penet Pulg	Carga std.PSI	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
		Carga	Corrección			Carga	Corrección			Carga	Corrección		
		Lb.	Lb.	PSI	%	Lb.	Lb.	PSI	%	Lb.	Lb.	PSI	%
0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.025		6	45	15		16	119	40		20	152	51	
0.050		12	92	31		27	203	68		35	265	89	
0.075		24	182	61		59	441	148		74	551	185	
0.100	1,000	38	283	95	21.0%	79	596	200	30.0%	117	879	295	45.0%
0.200		125	939	315		221	1657	556		340	2548	855	
0.300		227	1702	571		321	2411	809		579	4345	1458	
0.400		299	2244	753		394	2956	992		737	5528	1855	
0.500		357	2679	899		438	3287	1103		817	6124	2055	



PROYECTO : MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA INTERDISTRITAL AR - 510, AR - 513, CHALA - MOLLEHU
 PROGRESIVA 0+000 - 40+086.54 KM, DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
UBICACIÓN : DISTRITO DE HUANUHUANU - CARAVELI - AREQUIPA
SOLICITA : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUANUHUANU
FECHA : MAYO DEL 2020
MUESTRA : 05 GP A-1-a (0)

RAZON SOPORTE CALIFORNIA C.B.R.



CBR AL 100%	59%
CBR AL 95%	26%

Anexo 5 Clima estación Caravelí

Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional

The interface includes a map on the left with a zoom control (+/-) and a central form with the following fields:

- Usuario: EDGAR HIPOLINARIO, SILVA CHUCUYA
- Estación: CARAVELI
- Código de seguridad: 6h0sL (with a dropdown menu showing 6h0sL)
- Términos y condiciones
- Descargar button
- [¿Cómo descargar los datos históricos?](#)

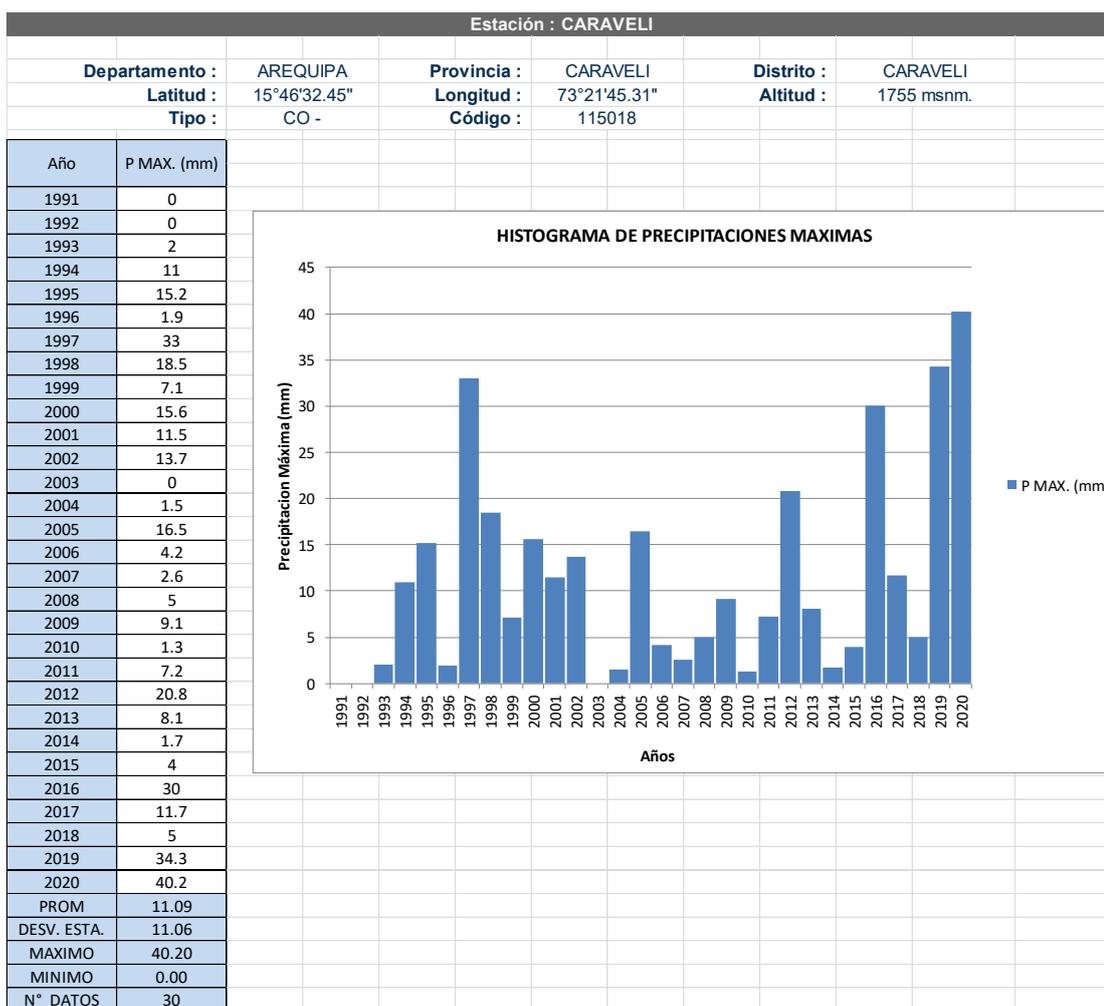
On the right, a list of regions is shown with radio buttons:

- IMAIA
- PILLONES
- SIBAYO
- YANAQUIHUA
- PULLHUAY (AYAHUASI)
- COTAHUASI
- PAMPA BLANCA
- SALAMANCA
- MACHAHUAY
- CHOCO
- CHACHAS
- AYO
- ANDAHUA
- APLAO
- PUNTAATICO
- CARAVELI
- LA JOYA
- PAMPA DE MAJES
- HUAMBO
- LA ANGOSTURA
- CHIVAY
- ORCOPAMPA
- EL FRAYLE
- CHIGUATA
- LAS SALINAS
- LA PAMPILLA
- CHICHAS
- PORPERA
- AYACUCHO
- CAJAMARCA
- CUSCO

Reporte precipitación máxima

Estación : CARAVELI													
Departamento :	AREQUIPA				Provincia :	CARAVELI			Distrito :	CARAVELI			
Latitud :	15°46'32.45"				Longitud :	73°21'45.31"			Altitud :	1755 msnm.			
Tipo :	CO - Meteorológica				Código :	115018							
Año	Ene (mm)	Feb (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	May (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Oct (mm)	Nov (mm)	Dic (mm)	PP MAX. (mm)
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
1992			0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
1993	1.7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1994	9	11	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	11
1995	10	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2
1996	1.9	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9
1997	1.6	7.4	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	33
1998	1.6	6.7	18.5	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0.5	18.5
1999	1.2	6.3	7.1	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	7.1
2000	15.6	0.8	2.1	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	15.6
2001	2.9	6.1	11.5	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	11.5
2002	5.6	13.7	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	1.5	0	0	0	0			0	0	0	0	1.5
2005	16.5	2.8	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	16.5
2006	0	4.2	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2
2007	1.2	1.6	0	2.6	0	0		0	0	0	0	0.5	2.6
2008	5	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
2009	9.1	5.9	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.1
2010	0	1.3	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1.3
2011	0.5	4	0	7.2	0	0	3	0	0	0	0	0	7.2
2012	7.8	13.2	20.8	18.5	0	0	0	0	0	0	0	1.5	20.8
2013	3.7	8.1											8.1
2014	1.7	0											1.7
2015	4	2.4	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	4
2016	30	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	30
2017	11.7	11.7	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.7
2018	5	3.8	0.3	1.9	0	1.4	0	0	0	0	0	0	5
2019	34.3	13.1	0	0	0	0	0	0.9	0.8	0	0	0	34.3
2020	40.2	5.6	7.7	0		0	0	0	0	0	0	4.1	40.2
PROM	7.65	4.69	4.88	1.09	0.02	0.05	0.12	0.07	0.03	0.04	0.05	0.50	11.09
DESV. ESTA.	10.54	4.39	8.12	3.71	0.12	0.26	0.59	0.27	0.15	0.22	0.25	1.17	11.06
MAXIMO	40.20	13.70	33.00	18.50	0.60	1.40	3.00	1.10	0.80	1.10	1.30	4.50	40.20
MINIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N° DATOS	29	29	28	28	27	28	26	27	28	26	28	27	30

Histograma de precipitaciones máximas



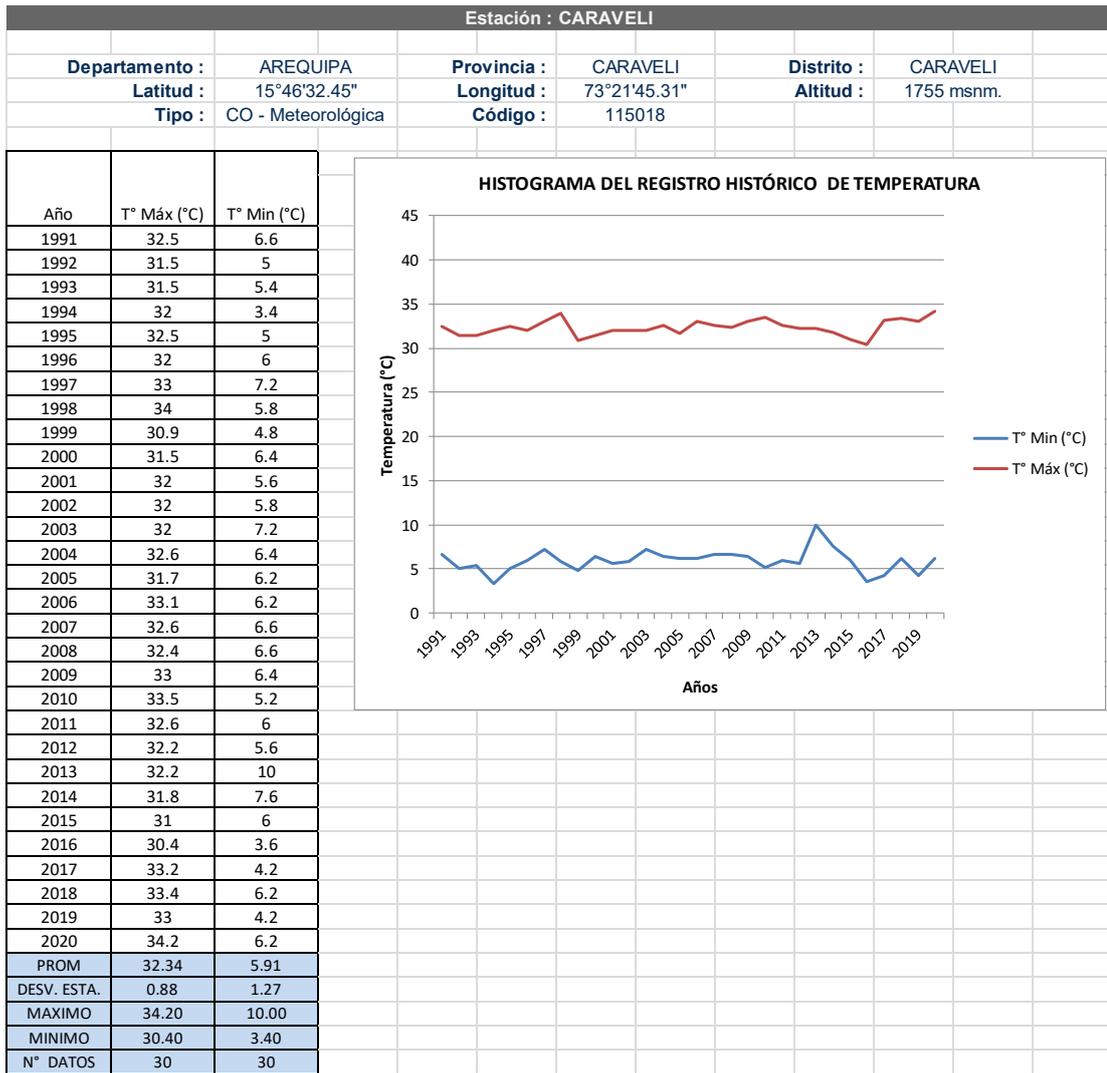
Reporte de temperaturas máximas y mínimas

Año	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Total			
	T° Máx (°C)	T° Min (°C)																										
1991	30	11.2	32.5	11.8	29	12	31	12.2	30	6	31.5	8.6	29	8.6	30	6.6	32	6.8	30	6.6	31.5	7.4	30.5	7	31.5	6.6		
1992	30.5	8.6	29	8	31	31	30.5	9.2	30.5	6.8	31.5	5.4	30.5	5.8	30.5	6.4	30.5	5.6	31.5	8.2	31.5	7.2	30.5	7	31.5	5.4		
1993	30.5	8.2	30.5	8.2	31.5	8.4	31.5	5.6	30	7.4	30	3.4	30.5	6.2	31.5	7	31	7.2	31.5	7	32	6.4	31.5	6.8	31.5	5.4		
1994	32.5	8.6	31.5	8	31.5	7.4	31	6.8	31.5	5	30.5	7.2	29.5	7	31.5	5.3	32.5	7.9	31.5	6.8	30	7.6	31.5	7.8	32.5	5		
1996	30.5	9.2	31	11	29.5	10.8	30.5	9.2	31	7	31.5	6	30	6.4	31.5	7.8	31.5	8.2	30.5	7	32	8.2	30.5	8.6	32	6		
1997	28.5	9.4	30	10	30.5	9.4	29.5	8.4	31	8.8	30	7.2	31	8.6	32.5	7.8	31.5	8.4	31	7.6	31	8.4	33	9.2	33	7.2		
1998	34	12.8	32	13	31.5	11.6	31	10	32.5	5.8	30	7	31	8.6	30.5	5.8	30	6.6	32	8.4	29.5	8.4	30.5	7.6	34	5.8		
1999	30	8.2	29.5	11.2	29.5	11.2	28.5	9.4	28	6.6	28.5	6.8	30.5	6	30.5	8.5	29.5	4.8	29.3	7	30.9	6.8	30.2	8.8	30.9	4.8		
2000	29.5	10.8	27.5	11.2	28	11.2	28	9.8	29.5	6.8	29.5	6.4	29.4	6.6	31.5	8.2	30	7.4	31	8.8	30.2	7.2	31	8.8	30.9	6.4		
2001	29.2	9.6	30	11.4	29	11.8	30.2	9	29.9	7.2	32	6.2	30.1	5.6	31.6	8	30	7.4	31.8	9.2	31	8.8	31.2	9.8	32	5.6		
2002	31	9	29.5	12.4	31	10.2	30	9.4	31.5	8.8	31	8	29.4	5.8	31	9.2	30.5	8.2	31	8.8	31.1	8.2	32	10.2	32	5.8		
2003	31.2	10	30	10.8	30.2	11.4	30.5	7.4	32	9.8	30.5	7.6	29.9	7.2	32	7.8	31	9.4	31.5	8.6	31	9	30.5	9.6	32	7.2		
2004	31.5	9.2	30	10.2	31.5	11.4	30.6	7.4	31.5	6.4	30.5	7.2																
2005	30	31.2	31.2	31.2	30.8	31.2	31.5	31.5	31.5	31.5	29.7	30.2	30.2	30.2	31.4	31.4	31.7	31.7	29.9	32	6.4	30.5	8.8	30.6	9.2	32.6	6.4	
2006	32	29.6	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4
2007	31	11.2	28.7	9.8	31.5	9.2	31.2	8.8	30.3	6.6	30.5	6.6	29.6	7.2	31	6.8	31.7	7.6	32.4	8.6	31.5	8.4	31.8	8.6	32.4	6.6		
2008	30.3	11.2	28.7	9.8	31.5	9.2	31.2	8.8	30.3	6.6	30.5	6.6	29.6	7.2	31	6.8	31.7	7.6	32.4	8.6	31.5	8.4	31.8	8.6	32.4	6.6		
2009	30.2	10.6	29.5	12	30.6	10	30.5	10	31.6	7.6	31	6.8	30.7	6.6	31.6	6.8	32.9	6.8	32.6	9.2	33	9.2	32	10.8	33	6.4		
2010	31.5	10.2	31.5	12	32.2	10.6	30.5	10.2	31.5	8.8	31.3	8.2	30.8	5.2	31.9	7.6	31.2	6.8	31	8	30.1	7.2	29.8	8.6	30.5	5.2		
2011	30.5	10	29.8	10.2	31	9.2	30.4	10	31.8	7.4	31.4	7.6	31.6	6.8	30.8	6.8	32.6	8.6	31.2	6	31.6	8.8	31.8	8.8	30.6	6		
2012	31.2	10.2	29.4	11.2	31.4	11.8	31.6	9.6	31.6	8.4	30.2	7.4	31.2	7.4	31.8	5.6	32.2	8.6	32.2	7.4	32.2	9	31.8	8.8	32.2	5.6		
2013	32.2	10	30.6	10.2	30	9.4	30.8	9.2	30.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2		
2014	31.8	7.6	30.8	8.6	30	9.4	30.8	9.2	30.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2		
2015	31	9.2	29.6	9.8	28.8	9.8	28.8	6.4	30.4	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2	28.8	6.2		
2016	27.8	8.2	28	10	29.2	6.4	29	5.2	29.4	7	28.8	5.6	29.4	6.4	30.4	3.6	29.4	7.4	29.4	7.4	30.4	3.6	29.4	7.4	30.4	3.6		
2017	30.2	12	30.8	10.8	31.8	10.6	31.8	9.2	30.8	7.6	31.4	8.6	31.2	6.6	31.8	4.2	31	7.8	33.2	6.4	30.8	7.6	31.4	7.2	33.2	4.2		
2018	31.4	9.2	30.2	9.4	31.8	8.2	30.2	8.4	31.2	6.2	30.8	7.6	31	7.8	31.4	6.8	33.2	7.4	32	8.8	31.2	6.8	33.4	7.4	33.4	6.2		
2019	33	9.4	31.6	12.4	31.6	9.4	31.4	8.8	31.6	7.4	32.8	6.2	31	4.2	31.8	7.2	32.4	7	31.6	6.8	32.2	8.2	31.2	9.4	33	4.2		
2020	34.2	10.2	31.6	11.4	30.8	12.2	0	0	0	0	0	0	0	0	30.8	6.2	31.4	6.4	32.8	8.2	32.4	7.2	30.2	8.4	34.2	6.2		
PROM	30.99	9.78	30.36	10.63	30.54	10.07	29.51	8.55	30.96	7.39	29.46	6.75	29.23	6.27	31.10	6.88	31.27	7.45	31.35	7.56	31.15	7.88	31.14	8.58	31.34	5.91		
DESVESTA	1.45	1.24	1.36	1.30	1.08	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46		
MAXIMO	34.20	12.80	33.50	13.00	32.20	12.20	33.50	11.60	32.50	9.20	33.20	8.60	33.00	8.60	32.80	9.20	33.20	9.40	33.20	9.30	33.00	9.20	33.40	10.80	34.20	10.00		
MINIMO	27.80	7.60	27.50	8.00	28.00	6.40	0.00	0.00	28.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.80	3.60	28.60	4.80	28.80	6.00	28.60	6.40	28.20	6.40	30.40	3.40		
N° DATOS	29	27	29	27	29	27	29	28	28	27	26	26	26	26	24	27	25	28	26	28	27	28	27	26	30	30		

Estación: CARAVELI

Departamento: AREQUIPA Provincia: CARAVELI Distrito: CARAVELI
 Latitud: 15°46'32.45" Longitud: 73°21'45.31" Altitud: 1755 msnm.
 Tipo: CO - Código: 115018

Histograma de registro histórico de temperatura



Anexo 6 Clima estación Ático

Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional

The screenshot shows a web application interface for downloading meteorological data. The background is a map of Peru with several green location markers. A white modal window is centered on the screen, containing the following information:

- Navigation tabs: **Histograma**, **Ingreso**, **Descarga** (active), **Video**
- Form fields:
 - Usuario: EDGAR HIPOLINARIO, SILVA CHUCUYA
 - Estación: PUNTA ATICO
 - Código de seguridad:
- Checkboxes: **Términos y condiciones**
- Buttons: **Descargar** (blue)
- Link: [¿Cómo descargar los datos históricos?](#)

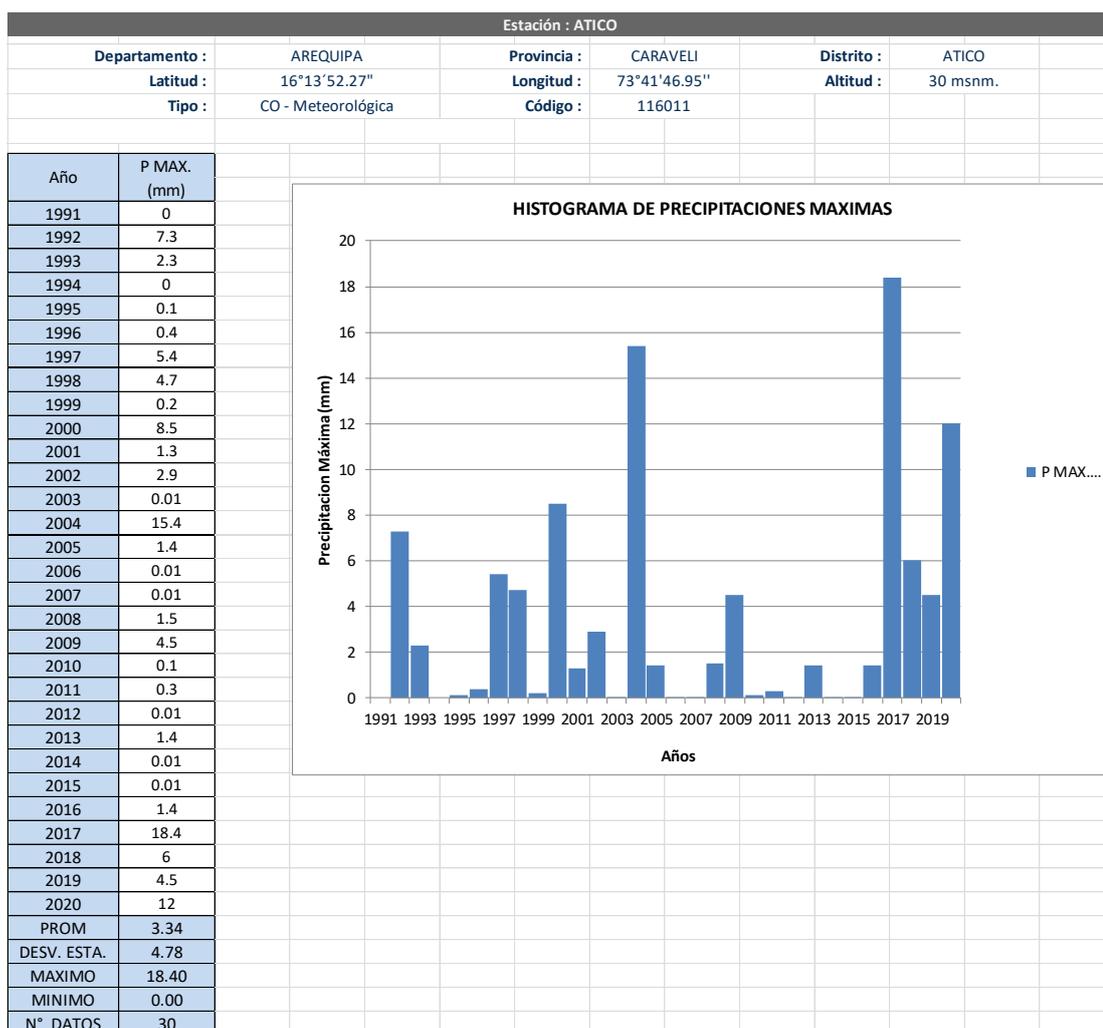
On the right side of the map, there is a vertical list of station names:

- MADRIGAL
- IMATA
- PILLONES
- SIBAYO
- YANAQUIHUA
- PULLHUAY (AYAHUASI)
- COTAHUASI
- PAMPA BLANCA
- SALAMANCA
- MACHAHUAY
- CHOCO
- CHACHAS
- AYO
- ANDAHUA
- APLAO
- PUNTA ATICO
- CARAVELI
- LA JOYA
- PAMPA DE MAJES
- HUAMBO
- LA ANGOSTURA
- CHIVAY
- ORCOPAMPA
- EL FRAYLE
- CHIGUATA
- LAS SALINAS
- LA PAMPILLA
- CHICHAS
- PORPERA

Reporte precipitación máxima

Estación : ATICO													
Departamento :	AREQUIPA				Provincia :	CARAVELI			Distrito :	ATICO			
Latitud :	16°13'52.27"				Longitud :	73°41'46.95"			Altitud :	30 msnm.			
Tipo :	CO - Meteorológica				Código :	116011							
Año	Ene (mm)	Feb (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	May (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Oct (mm)	Nov (mm)	Dic (mm)	PP MAX. (mm)
1991	0	0			0	0	0	0	0				0
1992				0	4.3	7.3	0			0	0	0	7.3
1993	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	2.3	0	0	2.3
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1
1996	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.4
1997	0	0.5	5.4	0	0	0	0.5	2.8	3.7	0.2	1.7	1	5.4
1998	4.7	0.4	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0.6	4.7
1999	0.01	0.2	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.2
2000	8.5	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	8.5
2001	1.3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	1.3
2002	0.01	0.01	0	0.01	0.1	0	2.9	0.1	0.01	0.4	0	0.01	2.9
2003	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2004	0.01	0.01	0	0	0	0.01	7.6	0.01	0	0.01	0.01	15.4	15.4
2005	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0.01	1.4	0.01	0.01	0.01	1.4
2006	0.01	0	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2007	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01
2008	1.5	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	1.5
2009	0.01	0.01	0	0	0.01	0	0.3	2	0.01	0.01	4.5	2	4.5
2010	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.1	0		0.01	0.01	0.01	0	0.1
2011	0	0	0.01	0.01		0.01	0.3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.3
2012	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01
2013	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	1.4
2014	0.01	0			0	0	0.01	0.01	0.01	0	0	0.01	0.01
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
2016	0.01	0	0	0	0	0.8	0.01	1.4	0.01	0	0	0	1.4
2017	0	0	0.1	18.4	0	0	0	0	0	0	0	0	18.4
2018	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0	0	6	0	0	6
2019	0.3	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	0	4.5
2020	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
PROM	0.98	0.16	0.21	0.66	0.15	0.29	0.40	0.24	0.39	0.31	0.22	0.66	3.34
DESV. ESTA.	2.77	0.56	1.04	3.48	0.80	1.33	1.46	0.68	1.09	1.18	0.88	2.87	4.78
MAXIMO	12.00	3.00	5.40	18.40	4.30	7.30	7.60	2.80	4.50	6.00	4.50	15.40	18.40
MINIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N° DATOS	29	29	27	28	29	30	30	28	29	29	29	29	30

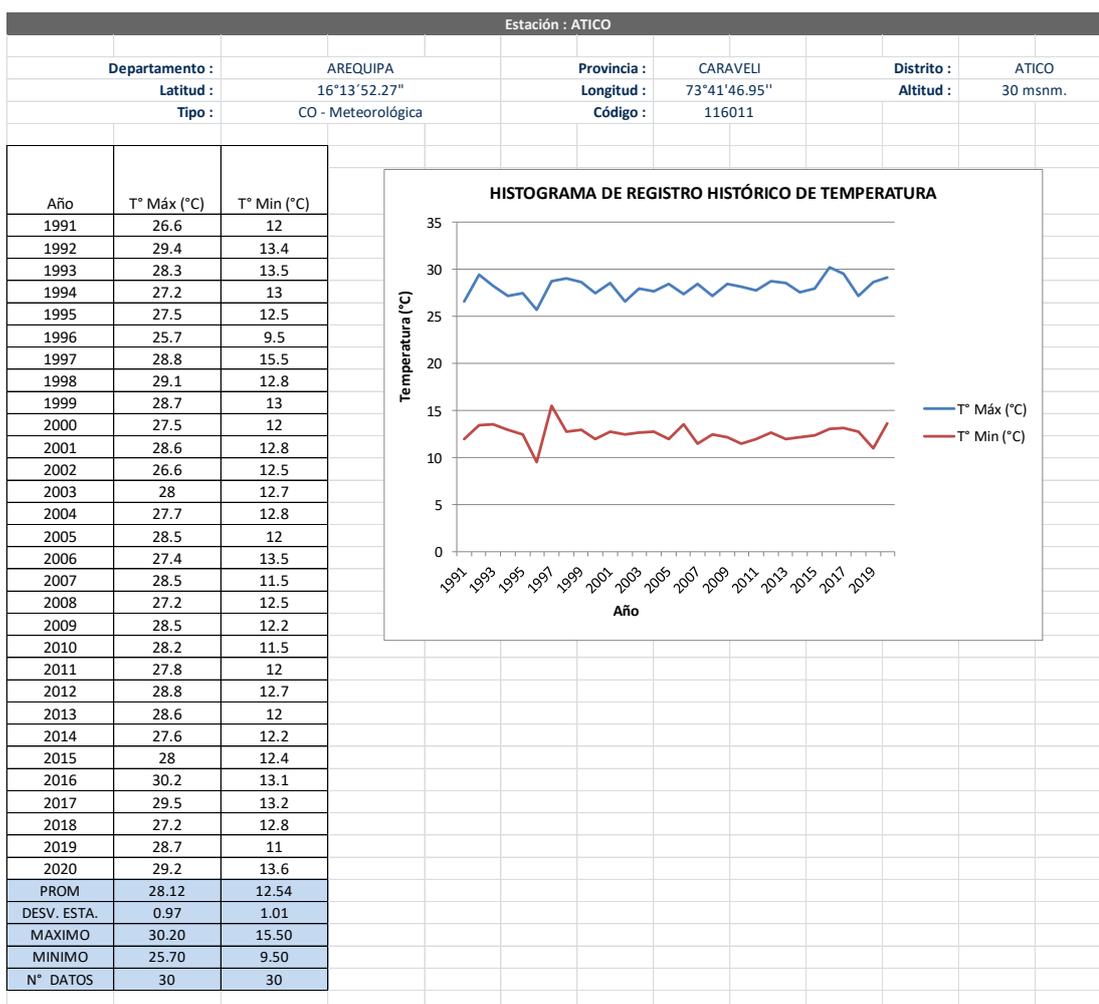
Histograma de precipitaciones máximas



Reporte de temperaturas máximas y mínimas

Año		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Total			
		T [°] Máx (°C)	T [°] Mín (°C)																										
1991	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	26.5	16	
1992	27	17.5	28.3	16	28	16	28.3	16	28.5	18.4	25.5	16.5	23.5	15	24.5	13.4	20	14	21	14	23	13.5	24	15.5	25.3	16	28.4	13.4	
1993	28	16.3	28.3	16	28	16	28.3	16	28.5	18.4	25.5	16.5	23.5	15	24.5	13.4	20	14	21	14	23	13.5	24	15.5	25.3	16	28.3	13.5	
1994	27.2	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	26.5	17	
1995	27.5	17.6	26.5	18	26.8	16.4	25.8	15	23	14.8	22	13.7	20.6	12.5	19.1	12.8	19.6	13.2	22.2	13.5	23	14.6	24.3	15.2	25.2	16.8	27.2	13	
1996	25.4	15.6	25.2	15.8	25.6	15.2	24.4	20	13.8	18.8	11.6	22.3	12.1	21.2	11.9	24.2	9.5	25.7	15.4	25.2	12.5	23.5	14.6	24.3	15.2	27.5	12.5		
1997	28.8	16.4	26.8	16	27.2	16.1	26.3	16	24.9	17	23.8	17.3	22.8	15.5	22.8	16.2	22.6	16	23.4	15.8	24.8	16.7	27	19.1	28.8	15.5	25.7	9.5	
1998	29.1	20.3	28.9	21.3	28.3	20	26.4	17	24.7	16.4	22.6	22.4	14.3	20.2	12.8	20.6	13.3	22	13.6	24.1	16	24.7	14.6	29.1	12.8	28.8	15.5	24.7	13.8
1999	26.1	15.8	26.7	16.7	27.4	16.1	24.9	14.6	22	13.7	21.6	14.3	20	13	21	13.5	20.6	13.7	22	13.4	23.6	13.8	26.2	15.5	28.7	13	27.5	12	
2000	27.5	17.3	26.6	16.2	27.4	15.4	26.6	15.3	23.6	14.5	22.6	13.8	20	13.5	19.5	12	21.2	13.3	22.2	13.8	14.5	26.4	17	27.5	12	27.5	12	27.5	12
2001	27.8	16.6	26.6	16.5	27.9	15.8	24.3	15.2	23	15	20.6	13.5	19.5	12.8	19.9	13	19.8	13	22.6	13	23.5	14.6	25.6	15.5	28.6	12.8	28.6	12.8	
2002	26.6	17.4	26.6	16.8	26.3	16.4	25	15.8	23	14.2	20.4	13.5	19.5	13	19	12.5	20.8	13.5	22	14.4									
2003	27.1	17.5	28	18	25.9	16	24.3	15.7	23	15.5	21	13.7	19.6	13.4	19.2	12.7	20.6	12.8	22.8	14.5	25	15.8	24.5	16.2	28	12.7	28	12.7	
2004	27.7	16.6	27.2	16.7	26	16.5	24.4	15.5	22.2	14	19.6	13.4	19.2	12.8	20.4	13.3	21	13.8	21.2	13.8	14.5	25	15.8	16.5	27.7	12.8	27.7	12.8	
2005	28.5	17.4	26.8	16.5	26.5	15.6	25.4	15.5	22.2	14	19.6	13.4	19.2	12.8	20.4	13.3	21	13.8	21.2	13.8	14.5	25	15.8	16.5	27.7	12.8	27.7	12.8	
2006	27	16.6	27.4	17	26.4	16.5	25	15.5	21.9	15	21.8	14.4	21	13.5	21.6	13.8	20.8	13.8	22.8	14.5	24.6	15.3	25	16.4	27.4	13.5	27.4	13.5	
2007	28.5	16	26.6	17	26.5	16.5	24	15	21.6	14	18.5	12.5	19.2	12	17.8	11.5	18	11.5	21.6	13	23.8	14.5	28.5	14.5	28.5	14.5	28.5	14.5	
2008	27.2	15.6	26.6	16.5	27	16	24.8	14.5	22	14.4	20.8	14	19.9	14	19.8	12.5	21	13	21.4	13.5	23.8	14.5	25.8	15.7	27.2	12.5	27.2	12.5	
2009	27.6	16.7	28.5	16.5	27.2	16.5	25.5	15.5	23.6	15	20.6	13	18.6	12	18.6	11.5	19.5	12	21.2	12	23.4	15	23.8	14.5	28.2	11.5	28.2	11.5	
2010	28	18.2	28.2	18.5	27	17	25.5	16.5	24.8	15	20.6	13	18.6	12	18.6	11.5	19.5	12	21.2	12	23.4	15	23.8	14.5	28.2	11.5	28.2	11.5	
2011	25.8	15	27.8	16	25.6	15.5	25	14.5	22	15	22	15	22	15	19.6	14	19.8	12.5	21	13	22.4	12	23.8	15	27.8	12	27.8	12	
2012	26	16	27	17.3	28.8	17.5	26.4	15	23.4	15.2	22.5	15.5	25.6	14.5	20	12.7	21.7	13.8	22	13.2	26.6	14.8	25.6	17	28.8	12.7	28.8	12.7	
2013	26.8	16.5	26.6	17.6	26.4	16.8	24.8	15.2	22.6	14.2	21.5	13	20.2	13.2	19.8	12	20.8	12.5	24.5	13.5	25.4	15	26.4	15.2	28.6	12	28.6	12	
2014	27.6	17.5	26.4	16.5	26.5	16	24.6	16	22.6	14.6	22	13.3	20.2	13.3	20.3	12.2	19.6	12.7	21.2	13.2	23.8	14.6	25.6	15.3	27.6	12.2	27.6	12.2	
2015	27.2	15.4	28	16.1	27.8	14.6	24.8	15.4	23.2	14	20.7	13.2	20.1	12.4	19.4	12.6	19.2	12.6	22.2	12.5	24	14	26.6	15.4	28	12.4	28	12.4	
2016	30.2	13.6	27	16.5	26.4	15.6	26	15.4	23.4	15.4	22.8	14.3	20.5	14.1	20.2	13.3	21	13.1	22.8	13.6	28	15	28	16.6	30.2	13.1	30.2	13.1	
2017	29.5	17.8	29.2	17.6	28.5	18.2	25.2	17.4	26.8	16.7	21.6	16.7	21.3	14.2	21	14	20.4	13.2	22	13.6	23.6	14.4	25.2	15	29.5	13.2	29.5	13.2	
2018	27	16.4	27.2	16	27	16	25.4	15.8	23.8	15.4	21	16.6	20.5	13.6	19.3	13	22	12.8	22.8	14.3	25.4	15	26.8	16.3	27.2	12.8	27.2	12.8	
2019	28	17.2	28.7	17.4	27	15	25.2	16.2	24.8	11	23.5	11	20	14	20.6	13.6	20.4	13.8	23.6	14	24.2	15.8	27	17	28.7	11	28.7	11	
2020	27.8	17.8	27.8	17.4	29.2	18.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.2	13.6	22.5	14.7	21.5	15	25	16.4	28.2	13.6	28.2	13.6	
2021	27.5	16.7	27.48	16.96	27.06	16.49	15.17	12.65	14.35	13.59	19.89	12.98	19.20	12.48	20.80	13.19	22.40	13.57	24.22	14.70	25.71	15.94	28.12	12.54	28.12	12.54	28.12	12.54	
DESVESTA	1.08	1.19	0.88	1.08	1.04	1.28	4.72	2.89	4.42	2.95	4.13	4.06	2.58	3.81	2.57	0.98	0.84	1.06	0.92	1.12	1.35	1.22	0.95	0.97	1.01	0.97	1.01	0.97	
MAXIMO	30.20	20.30	29.20	21.30	29.20	20.00	28.50	18.40	26.20	17.00	23.80	17.30	25.80	16.20	22.80	16.00	16.20	16.00	15.80	16.20	15.80	16.00	16.70	15.40	19.10	30.20	15.50	15.50	15.50
MINIMO	25.40	13.60	25.20	15.80	25.10	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.50	20.40	11.90	22.80	9.50	23.80	14.50	25.70	9.50	9.50	9.50	9.50	
N° DATOS	30	30	30	30	30	29	29	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	

Histograma de registro histórico de temperatura



Anexo 7

Estudio de tráfico

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA – MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021

Tramo : Prog. Chala - Mollehuaca

Cod Estación : E - 01

Estación : 01

Ubicacion : Minera Paraiso
Sentido : Entrada
Dia : Jueves

Fecha : 22-Jul-21

HORA	AUTO	STATION				MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %	
		WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3
DIAGRAMA VEHICULAR																								
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	1.00	4.00	4.00	1.00	3.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	17	7.26
06-07	1.00	4.00	2.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	13	5.56
07-08	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3.42
08-09	4.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	17	7.26
09-10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	7	2.99
10-11	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	10	4.27
11-12	4.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	17	7.26
12-13	1.00	4.00	4.00	1.00	3.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	3.00	-	-	-	-	-	-	19	8.12
13-14	1.00	4.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.41
14-15	1.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.98
15-16	1.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5.56
16-17	1.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	15	6.41
17-18	2.00	4.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.41
18-19	1.00	4.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	16	6.84
19-20	4.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	6.84
20-21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2.56
21-22	1.00	5.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	6.84
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	29	55	61	17	21	0	0	0	0	21	13	0	4	0	2	3	7	0	1	0	0	0	234	100.00
%	12.39	23.50	26.07	7.26	8.97	0.00	0.00	0.00	0.00	8.97	5.56	0.00	1.71	0.00	0.85	1.28	2.99	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA –
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicación : Minera Paraiso
 Sentido : Salida
 Dia : Jueves
 Fecha : 22-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combil)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.41
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.41
05-06	2.00	2.00	3.00	1.00	4.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	17	6.97
06-07	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	15	6.15
07-08	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4.51
08-09	3.00	2.00	3.00	2.00	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	16	6.56
09-10	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	9	3.69
10-11	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.10
11-12	2.00	3.00	3.00	2.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.74
12-13	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.74
13-14	2.00	3.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6.97
14-15	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.74
15-16	2.00	2.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	17	6.97
16-17	3.00	2.00	3.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.15
17-18	2.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	15	6.15
18-19	2.00	2.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	17	6.97
19-20	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	16	6.56
20-21	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	*	*	*	*	1.00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8	3.28
21-22	1.00	4.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6.97
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	34	39	48	20	34	0	0	0		31	20	1	4	0	1	4	6	1	1	0	0	0	0	244	100.00
%	13.93	15.98	19.67	8.20	13.93	0.00	0.00	0.00		12.70	8.20	0.41	1.64	0.00	0.41	1.64	2.46	0.41	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Prog. Chala - Mollehuaca
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : Entrada
 Dia : Viernes
 Fecha : 23-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	2.00	1.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	2.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	11	5.19
07-08	4.00	4.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	1.00	4.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	8.49
08-09	3.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	18	8.49
09-10	2.00	4.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	4.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	8.96
10-11	3.00	4.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	14	6.60
11-12	1.00	4.00	3.00	1.00	2.00	1.00	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.02
12-13	3.00	4.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	3.00	-	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	18	8.49
13-14	2.00	4.00	7.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	18	8.49
14-15	1.00	2.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	12	5.66
15-16	2.00	4.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	8.49
16-17	3.00	4.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	17	8.02
17-18	2.00	4.00	7.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	18	8.49
18-19	2.00	2.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	14	6.60
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	30	43	51	4	18	1	0	0	0	33	19	0	0	2	2	0	0	9	0	0	0	0	0	212	100.00
%	14.15	20.28	24.06	1.89	8.49	0.47	0.00	0.00	0.00	15.57	8.96	0.00	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	4.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA – MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicación : Minera Paraiso
 Sentido : Salida
 Dia : Viernes
 Fecha : 23-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.47
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.47
04-05	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.94
05-06	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.94
06-07	3.00	1.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.19
07-08	5.00	4.00	3.00	-	4.00	-	-	-	-	2.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	8.96
08-09	3.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	2.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.02
09-10	1.00	3.00	5.00	-	2.00	-	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.55
10-11	2.00	4.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	13	6.13
11-12	2.00	4.00	3.00	1.00	2.00	-	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.02
12-13	3.00	3.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	6.60
13-14	2.00	4.00	6.00	-	4.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	8.49
14-15	1.00	2.00	3.00	-	3.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.13
15-16	2.00	3.00	4.00	-	3.00	-	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	19	8.96
16-17	2.00	3.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.19
17-18	1.00	3.00	7.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	17	8.02
18-19	2.00	1.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	5.66
19-20	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.94
20-21	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.89
21-22	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.94
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.47
TOTAL	30	39	49	2	34	0	1	0	0	36	13	2	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	212	100.00	
%	14.15	18.40	23.11	0.94	16.04	0.00	0.47	0.00	0.00	16.98	6.13	0.94	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA - MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Prog. Chala - Mollehuaca
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion : Minera Paraíso
 Sentido : ENTRADA
 Dia : Sabado
 Fecha : 24-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %					
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3				
DIAGRAMA VEHICULAR																												
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.52	
04-05	-	3.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.53	
05-06	-	2.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.02	
06-07	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	1.00	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	15	7.58	
07-08	3.00	3.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.07	
08-09	2.00	4.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	7.58	
09-10	2.00	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.56	
10-11	2.00	4.00	3.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	2.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.59	
11-12	3.00	4.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	8.08	
12-13	2.00	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	12	6.06	
13-14	3.00	4.00	6.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	10.10	
14-15	4.00	3.00	3.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	16	8.08	
15-16	4.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.59	
16-17	3.00	4.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.59	
17-18	2.00	4.00	4.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	16	8.08	
18-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
TOTAL	32	46	45	6	17	1	0	0	0	29	16	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	198	100.00		
%	15.09	21.70	21.23	2.83	8.02	0.47	0.00	0.00	0.00	13.68	7.55	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.40			

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA –
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion Sentido Dia Minera Paraiso SALIDA Sabado
 Fecha 24-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)			2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		
DIAGRAMA VEHICULAR																								
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.04
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.52
03-04	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.52
04-05	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.55
05-06	-	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.07
06-07	2	1	2	-	1	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4.66
07-08	3	2	2	-	3	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	7.77
08-09	2	3	5	-	2	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	8.29
09-10	3	2	3	-	3	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.25
10-11	3	3	5	-	4	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	10.88
11-12	2	3	3	-	1	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	6.22
12-13	1	2	2	-	1	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4.66
13-14	3	4	5	1	2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	9.33
14-15	3	4	3	-	3	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	8.29
15-16	3	4	4	1	1	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.81
16-17	3	3	3	-	2	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	8.81
17-18	2	4	4	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.25
18-19	-	-	1	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.07
19-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
TOTAL	30	40	43	2	29	0	0	0	0	32	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	193	100.00
%	14.15	18.87	20.28	0.94	13.68	0.00	0.00	0.00	0.00	15.09	7.55	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.04	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA –
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Prog. Chala - Mollehuaca
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01

Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : ENTRADA
 Dia : Domingo
 Fecha : 25-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %	
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3
DIAGRAMA VEHICULAR																								
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
05-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
06-07	3.00	3.00	3.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	15	7.69
07-08	3.00	3.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	18	9.23
08-09	1.00	2.00	3.00	-	1.00	1.00	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.13
09-10	3.00	2.00	3.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.13
10-11	1.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	16	8.21
11-12	3.00	3.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	16	8.21
12-13	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	1.00	-	-	-	3.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	16	8.21
13-14	4.00	3.00	3.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	7.69
14-15	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	3.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.67
15-16	3.00	3.00	3.00	-	1.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.18
16-17	1.00	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.56
17-18	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	6	3.08
18-19	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.56
19-20	3.00	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3.59
20-21	3.00	4.00	3.00	-	1.00	1.00	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.18
21-22	1.00	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.56
22-23	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.56
23-24	1.00	1.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.56
TOTAL	35	37	48	4	14	5	0	0	0	29	16	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	195	100.00
%	16.51	17.45	22.64	1.89	6.60	2.36	0.00	0.00	0.00	13.68	7.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : SALIDA
 Dia : Domingo
 Fecha : 25-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
03-04	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.14
04-05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
05-06	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.70
06-07	3	2	2	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	11	6.25
07-08	2	2	5	-	3	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	17	9.66
08-09	1	1	3	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	4.55
09-10	2	1	3	-	2	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.68
10-11	1	1	4	1	2	-	-	-	-	2	1	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	15	8.52
11-12	3	2	4	-	1	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.95
12-13	-	2	4	-	3	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	16	9.09
13-14	5	2	3	-	2	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	8.52
14-15	1	1	4	-	2	-	-	-	-	3	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.95
15-16	4	2	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.68
16-17	1	1	1	-	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3.98
17-18	2	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	6	3.41
18-19	2	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	3.41
19-20	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	3.41
20-21	2	3	2	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.68
21-22	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.70
22-23	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.14
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.57
TOTAL	34	24	42	1	23	0	0	0	0	27	13	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	176	100.00
%	16.04	11.32	19.81	0.47	10.85	0.00	0.00	0.00	0.00	12.74	6.13	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Prog. Chala - Mollehuaca
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01

Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : ENTRADA
 Dia : Lunes
 Fecha : 26-Jul-21

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.01
01-02	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.20
02-03	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.40
03-04	1.00	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.01
04-05	2.00	5.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4.42
05-06	6.00	2.00	3.00	1.00	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.02
06-07	2.00	3.00	3.00	-	1.00	1.00	-	-	-	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5.22
07-08	4.00	3.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6.83
08-09	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	13	5.22
09-10	3.00	3.00	3.00	-	1.00	1.00	-	-	-	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.62
10-11	4.00	3.00	4.00	1.00	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6.83
11-12	1.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	3.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	16	6.43
12-13	2.00	2.00	4.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	4.82
13-14	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	-	15	6.02
14-15	4.00	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	4.82
15-16	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	4.82
16-17	2.00	3.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4.42
17-18	4.00	2.00	5.00	1.00	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	6.43
18-19	2.00	2.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3.21
19-20	2.00	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.01
20-21	4.00	4.00	3.00	-	1.00	1.00	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.02
21-22	1.00	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.01
22-23	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.61
23-24	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.61
TOTAL	50	50	59	8	19	4	0	0	0	32	22	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	249	100.00	
%	23.58	23.58	27.83	3.77	8.96	1.89	0.00	0.00	0.00	15.09	10.38	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicación Minera Paraiso
 Sentido SALIDA
 Dia Lunes
 Fecha 26-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %				
			WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3			
DIAGRAMA VEHICULAR																												
00-01	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.93		
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	
02-03	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46		
03-04	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46		
04-05	2.00	5.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4.17		
05-06	5.00	1.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	5.56		
06-07	3.00	2.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	4.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.94		
07-08	3.00	2.00	4.00	-	5.00	-	1.00	-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	7.87		
08-09	2.00	1.00	2.00	-	3.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	5.56		
09-10	3.00	2.00	3.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.02		
10-11	3.00	2.00	3.00	-	3.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	6.48		
11-12	2.00	1.00	5.00	-	1.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	5.56		
12-13	2.00	2.00	3.00	1.00	2.00	-	-	-	-	3.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.94		
13-14	1.00	1.00	2.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.63		
14-15	3.00	2.00	2.00	-	5.00	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.41		
15-16	1.00	2.00	3.00	-	3.00	-	-	-	-	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.02		
16-17	2.00	2.00	2.00	-	-	-	-	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3.70		
17-18	3.00	2.00	4.00	-	2.00	-	-	-	-	2.00	1.00	-	-	2.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.41		
18-19	2.00	1.00	2.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2.78		
19-20	2.00	2.00	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3.24		
20-21	3.00	3.00	2.00	-	1.00	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.63		
21-22	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.39		
22-23	1.00	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.39		
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46		
TOTAL	43	36	47	1	34	0	1	0	0	33	17	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	216	100.00		
%	20.28	16.98	22.17	0.47	16.04	0.00	0.47	0.00	0.00	15.57	8.02	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00			

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA –
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicación Minera Paraiso
 Sentido ENTRADA
 Dia Martes
 Fecha 27-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %				
			WAGON	PICK UP	PANEL		RURAL (Combi)	2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3			3T2	>=3T3		
DIAGRAMA VEHICULAR																											
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00	
02-03	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.84		
03-04	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.92		
04-05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46		
05-06	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3	1.38		
06-07	3	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3.69		
07-08	4	3	3	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	15	6.91		
08-09	6	6	6	1	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	23	10.60		
09-10	3	6	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	18	8.29		
10-11	1	8	8	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	8.76		
11-12	2	3	9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.37		
12-13	2	6	8	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	7.83		
13-14	1	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.07		
14-15	3	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3.69		
15-16	4	3	3	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5.99		
16-17	2	6	8	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	7.83		
17-18	4	6	8	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	9.22		
18-19	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.92		
19-20	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.84		
20-21	-	1	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.84		
21-22	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.38		
22-23	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.38		
23-24	-	3	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2.76		
TOTAL	39	69	67	14	5	3	0	0	0	9	1	2	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	217	100.00		
%	18.40	32.55	31.60	6.60	2.36	1.42	0.00	0.00	0.00	4.25	0.47	0.94	0.00	0.00	0.00	2.36	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00			

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : SALIDA
 Dia : Martes
 Fecha : 27-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		
DIAGRAMA VEHICULAR																								
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.07
01-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
02-03	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.60
03-04	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.53
04-05	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1.07
05-06	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.60
06-07	6	2	1	1	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.95
07-08	3	2	2	-	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.88
08-09	5	4	5	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	8.02
09-10	3	4	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	14	7.49
10-11	2	6	7	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	9.63
11-12	1	2	7	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.88
12-13	3	8	5	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	9.63
13-14	1	4	5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	12	6.42
14-15	2	6	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	6.42
15-16	3	2	2	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5.35
16-17	2	4	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.95
17-18	3	4	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	7.49
18-19	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.67
19-20	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.14
20-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.53
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.53
23-24	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2.14
TOTAL	34	55	52	5	18	0	3	0	0	13	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	187	100.00
%	16.04	25.94	24.53	2.36	8.49	0.00	1.42	0.00	0.00	6.13	1.89	0.47	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA -
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicacion : Minera Paraiso
 Sentido : ENTRADA
 Dia : Miércoles
 Fecha : 28-Jul-21

HORA	AUTO	STATION	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		
DIAGRAMA VEHICULAR																								
00-01	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.40
01-02	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.61
02-03	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.20
03-04	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.80
04-05	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	4	1.61
05-06	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.20
06-07	2	1	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	8	3.21
07-08	4	4	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	4.82
08-09	3	3	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.02
09-10	3	4	4	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	15	6.02
10-11	2	2	4	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4.42
11-12	1	2	3	1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4.42
12-13	3	4	3	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	5.22
13-14	2	4	3	-	1	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.62
14-15	1	2	4	1	4	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	17	6.83
15-16	2	3	2	3	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5.62
16-17	2	2	4	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.02
17-18	1	2	3	1	1	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	4.82
18-19	3	4	3	1	4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	18	7.23
19-20	1	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2.41
20-21	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.20
21-22	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.80
22-23	-	1	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.61
23-24	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.80
TOTAL	33	45	44	17	16	0	0	0	0	26	3	2	1	0	0	3	9	0	0	0	0	0	199	79.92
%	15.57	21.23	20.75	8.02	7.55	0.00	0.00	0.00	0.00	12.26	1.42	0.94	0.47	0.00	0.00	1.42	4.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.87	

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

Carretera : COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA –
 MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021
 Tramo : Mollehuaca - Chala
 Cod Estación : E - 01
 Estación : 01
 Ubicación Sentido Dia : Minera Paraiso SALIDA
 Fecha : 28-Jul-21
 Miercoles

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMITRAYLER					TRAYLERS				TOTAL	PORC. %		
			PICK UP	PANEL	RURAL (Combi)		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2			>=3T3	
DIAGRAMA VEHICULAR																									
00-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
01-02	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.93
02-03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
03-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46
04-05	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.93
05-06	1	1	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2.78
06-07	3	1	2	-	3	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	5.09
07-08	2	3	2	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	12	5.56
08-09	3	2	5	-	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	6.48
09-10	3	3	3	-	4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	15	6.94
10-11	2	1	1	-	3	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	10	4.63
11-12	2	3	2	-	2	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.02
12-13	2	3	3	-	2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.02
13-14	1	3	2	1	3	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	6.02
14-15	1	1	3	-	2	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4.17
15-16	3	3	4	2	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	7.41
16-17	1	1	3	-	1	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	4.63
17-18	1	3	2	-	4	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	6.94
18-19	2	3	2	-	2	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	17	7.87
19-20	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.85
20-21	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.93
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.93
22-23	-	1	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2.31
23-24	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.46
TOTAL	27	36	35	4	35	0	0	0	0	38	11	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	193	89.35
%	12.74	16.98	16.51	1.89	16.51	0.00	0.00	0.00	0.00	17.92	5.19	0.47	0.00	0.00	0.00	1.42	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.04	

TRAFICO VEHICULAR DEL TRAMO E-1

Tipo de Vehiculos	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo	Lunes	Martes	Miercoles	Total Semana I	IMDs Z Vi/7	FC	IMDs x FC
Autos	63	60	62	69	93	73	60	480	69	0.95800	66
S. Wagon	94	82	86	61	86	124	81	614	88	0.95800	84
Pick Up	109	100	88	90	106	119	79	691	99	0.95800	95
Panel	37	6	8	5	9	19	21	105	15	0.95800	14
Rural (Combi)	55	52	46	37	53	23	51	317	45	0.95800	43
Micro	0	1	1	5	4	3	0	14	2	0.95800	2
Bus 2E	0	1	0	0	1	3	0	5	1	1.03453	1
Bus 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03453	0
Bus 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03453	0
Camión 2E	52	69	61	56	65	22	64	389	56	1.03453	57
Camión 3E	33	32	32	29	39	5	14	184	26	1.03453	27
Camión 4E	1	2	1	6	0	3	3	16	2	1.03453	2
Semi trayler 2S1	8	0	0	0	0	0	1	9	1	1.03453	1
Semi trayler 2S2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1.03453	0
Semi trayler 2S3	3	4	2	0	4	0	0	13	2	1.03453	2
Semi trayler 3S1	7	0	0	0	0	7	6	20	3	1.03453	3
Semi trayler 3S2	13	0	2	0	2	3	12	32	5	1.03453	5
Semi trayler >=3S3	1	13	2	13	3	0	0	32	5	1.03453	5
Trayler 2T2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1.03453	0
Trayler 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03453	0
Trayler 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03453	0
Trayler >=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.03453	0
TOTAL IMD	478	424	391	371	465	404	392	2925	418		407

TRAFICO VEHICULAR
IMD Corregido
(Veh/dia)

Tipo de Vehiculos		IMDa	Distrib.%	Distrib.% Ligero y Pesado
LIGEROS	Autos	66	16%	75%
	S. Wagon	84	21%	
	Pick Up	95	23%	
	Panel	14	3%	
	Rural (Combi)	43	11%	
	Micro	2	0%	
PESADOS	Bus 2E	1	0%	25%
	Bus 3E	0	0%	
	Bus 4E	0	0%	
	Camión 2E	57	14%	
	Camión 3E	27	7%	
	Camión 4E	2	0%	
	Semi trayler 2S1	1	0%	
	Semi trayler 2S2	0	0%	
	Semi trayler 2S3	2	0%	
	Semi trayler 3S1	3	1%	
	Semi trayler 3S2	5	1%	
	Semi trayler >=3S3	5	1%	
	Trayler 2T2	0	0%	
	Trayler 2T3	0	0%	
	Trayler 3T2	0	0%	
Trayler >=3T3	0	0%		
TOTAL IMD	407	100%	100%	

Carretera	CHALA - MOLLEHUACA			Año de estudio	2021	Modificar datos:	<input type="checkbox"/>
Tramo	CHALA - MOLLEHUACA (Prog. 00+000 - 05+000)			Tiempo de estudio a la ejecución de proyecto	2	Cálculos automáticos:	<input type="checkbox"/>
Cod Estación	E-1			TIPO DE PAVIMENTO	Pavimento Flexible	Resultados:	<input type="checkbox"/>
Estación	MINERA PARAISO			Ubicación	MINERA PARAISO		
	Factor de corrección estacional	Veh. Livianos	fe:	0.9580	Sentido	Ambos	
		Veh. Pesados	fe:	1.0345			

Día	Automóvil	S. Wagon	Camionetas			Micro	Omnibus			Camión			Semitrailers					Traylers					
			Pick Up	Panel	Rural		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
Jueves 22/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	29	55	61	17	21	0	0	0	0	21	13	0	4	0	2	3	7	0	1	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	34	39	48	20	34	0	0	0	31	20	1	4	0	1	4	6	31	1	1	0	0	0
	Total	63	94	109	37	55	0	0	0	52	33	1	8	0	3	7	13	1	2	0	0	0	0
Viernes 23/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	30	43	51	4	18	0	0	0	33	19	0	0	2	2	0	0	9	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	30	39	49	2	34	0	1	0	36	13	2	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0
	Total	60	82	100	6	52	1	1	0	69	32	2	0	2	4	0	0	13	0	0	0	0	0
Sabado 24/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	32	46	45	6	17	0	0	0	29	16	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	30	40	43	2	29	0	0	0	32	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	62	86	88	8	46	1	0	0	61	32	1	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0
Domingo 25/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	35	37	48	4	14	5	0	0	29	16	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	34	24	42	1	23	0	0	0	27	13	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
	Total	69	61	90	5	37	5	0	0	56	29	6	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0
Lunes 26/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	50	50	59	8	19	4	0	0	32	22	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	43	36	47	1	34	0	1	0	33	17	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
	Total	93	86	106	9	53	4	1	0	65	39	0	0	0	4	0	2	3	0	0	0	0	0
Martes 27/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	39	69	67	14	5	3	0	0	9	1	2	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	34	55	52	5	18	0	3	0	13	4	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Total	73	124	119	19	23	3	3	0	22	5	3	0	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0
Miércoles 28/07/2021	CHALA - MOLLEHUACA	33	45	44	17	16	0	0	0	26	3	2	1	0	0	3	9	0	0	0	0	0	0
	MOLLEHUACA - CHALA	27	36	35	4	35	0	0	0	38	11	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0
	Total	60	81	79	21	51	0	0	0	64	14	3	1	0	0	6	12	0	0	0	0	0	0
IMDs	CHALA - MOLLEHUACA	35.4	49.3	53.6	10.0	15.7	2.0	0.0	0.0	25.6	12.9	0.6	0.7	0.3	1.1	1.6	3.0	3.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	MOLLEHUACA - CHALA	33.1	38.4	45.1	5.0	29.6	0.0	0.7	0.0	30.0	13.4	1.7	0.6	0.0	0.7	1.3	1.6	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	Total	68.6	87.7	98.7	15.0	45.3	2.0	0.7	0.0	55.6	26.3	2.3	1.3	0.3	1.9	2.9	4.6	4.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
IMDa	CHALA - MOLLEHUACA	33.94	47.22	51.32	9.58	15.05	1.92	0.00	0.00	26.45	13.30	0.59	0.74	0.30	1.18	1.63	3.10	3.10	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	MOLLEHUACA - CHALA	31.75	36.81	43.25	4.79	28.33	0.00	0.74	0.00	31.04	13.89	1.77	0.59	0.00	0.74	1.33	1.63	1.63	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	65.69	84.03	94.57	14.37	43.38	1.92	0.74	0.00	57.49	27.19	2.36	1.33	0.30	1.92	2.96	4.73	4.73	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
2021	Total vehículos	66	84	95	14	43	2	1.00	0	57	27	2	1	0	2	3	5	5	0	0	0	0	0

Tasa anual de crecimiento Vehículos livianos	r:	1.07 %
Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados	r:	3.37 %
Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años)	n:	2

$$T_n = T_0(1 + r)^{n-1}$$

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día
T₀ = Tránsito actual (año base) en veh/día
n = año futuro de proyección
r = tasa anual de crecimiento de tránsito

2023	Total	66.7062	84.8988	96.0165	14.1498	43.4601	2.0214	1.0337	0	0	58.9209	27.9099	2.0674	1.0337	0	2.0674	3.1011	5.1685	5.1685	0	0	0	0	0
------	-------	---------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	---	---	---------	---------	--------	--------	---	--------	--------	--------	--------	---	---	---	---	---

Cálculo de pesos por eje

TIPO DE VEHICULO	IMDA	TIPO	NUMERO	CARGA	"n" P.	f. IMDA
	2023	EJE				
VEHICULO S LIGEROS		Autitos	2	1	0.000527017	0.03516
			2	1	0.000527017	0.03516
		S. Wagon	2	1	0.000527017	0.04474
			2	1	0.000527017	0.04474
		Pick Up	2	1	0.000527017	0.05060
			2	1	0.000527017	0.05060
		Panel	2	1	0.000527017	0.00746
			2	1	0.000527017	0.00746
		Rural	2	1	0.000527017	0.02290
			2	1	0.000527017	0.02290
OMNIBUS		Micros	2	1	0.000527017	0.00107
			2	1	0.000527017	0.00107
		2E	2	7	1.265366749	1.30801
			4	11	3.238286961	3.34742
		3E	2	7	1.265366749	0.00000
			6	16	1.365944548	0.00000
		4E	4	14	2.196447268	0.00000
			6	16	1.365944548	0.00000
		2E	2	7	1.265366749	74.55655
			4	11	3.238286961	190.80278
CAMIÓN		27-91	2	7	1.265366749	35.31626
			8	18	2.019213454	56.35605
		2-07	2	7	1.265366749	2.61602
			10	23	1.508183597	3.11802
		2-07	2	7	1.265366749	1.30801
			4	11	3.238286961	3.34742
		1-03	4	11	3.238286961	3.34742
			2	7	1.265366749	0.00000
		0-00	4	11	3.238286961	0.00000
			8	18	2.019213454	0.00000
SEMITRAY LERS		2-07	2	7	1.265366749	2.61602
			4	11	3.238286961	6.69483
		2-07	12	25	1.706026248	3.52704
			2	7	1.265366749	3.92403
		3-10	8	18	2.019213454	6.26178
			4	11	3.238286961	10.04225
		3-10	2	7	1.265366749	6.54005
		5-17	8	18	2.019213454	10.43630
			8	18	2.019213454	10.43630
		5-17	2	7	1.265366749	6.54005
TRAYLERS		5-17	8	18	2.019213454	10.43630
			12	25	1.706026248	8.81760
		0-00	2	7	1.265366749	0.00000
			4	11	3.238286961	0.00000
		0-00	4	11	3.238286961	0.00000
			4	11	3.238286961	0.00000
		0-00	2	7	1.265366749	0.00000
			4	11	3.238286961	0.00000
		0-00	4	11	3.238286961	0.00000
			4	11	3.238286961	0.00000

Cálculo de ESAL

Pavimento Flexible			
Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados		r:	3.37 %
Tiempo de vida útil de pavimento (años)		n:	10
Factor Fca vehiculos pesados	$Factor\ Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	11.66
Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido			1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)		Fc*Fd	0.50
Número de ejes equivalentes (ESAL)		ESAL	983 254
#EE = 365 * ($\Sigma f \cdot IMDa$) * Fd * Fc * Fca			

Anexo 8

Diseño de pavimentos Método AASHTO 93

Cálculo de Número estructural requerido

			UNIVERSIDAD CONTINENTAL FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL												
Proyecto :		COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA ENTRE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA EN LA CARRETERA CHALA – MOLLEHUACA - AREQUIPA - 2021													
Elaborado por:		Bach. Edgar Hipolinario Silva Chucuya													
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO PARA - 10 AÑOS															
TRAMO	ESAL	ESTACIO TRAFICO	Tp	SECTOR			CBR DISEÑO % T.H.	AASHTO 93 R(%)	Zr	So	Pi	Pt	Mr	SNr	
				#	DE	A									
TRAMO I	9.83E+05	E - 01	TP4	1	0+000	5+000	25.50	80%	-0.842	0.45	3.80	2.00	20,303.8	2.19	

Comprobación mediante WinDEPAV 2.6 de la estructura de pavimento con carpeta asfáltica en caliente diseñada con AASHTO 93

Datos de entrada al software WinDEPAV 2.6

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)
 VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASHTO 93

Número de capas: 2 3 4 5 6

Archivo: _____

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión						
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado				
1	51622	0.30	¿E?	5	<input checked="" type="checkbox"/>	7.5731E-07	3.2910	?	983254	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
2	3818.7	0.35	¿E?	15	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
3	2016.21	0.35	¿E?	20	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
4	1428	0.40	¿E?		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80
 Distancia entre ruedas (cm) 32.40
 Presión de contacto (kgf/cm²) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.
 Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.
 Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.
 Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Resultados del software WinDEPAV 2.6

Resultados del análisis

Archivo _____

Descripción del proyecto VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASHTO 93

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm) 10.80, Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40, Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple, B Bajo una de las ruedas de la carga, C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

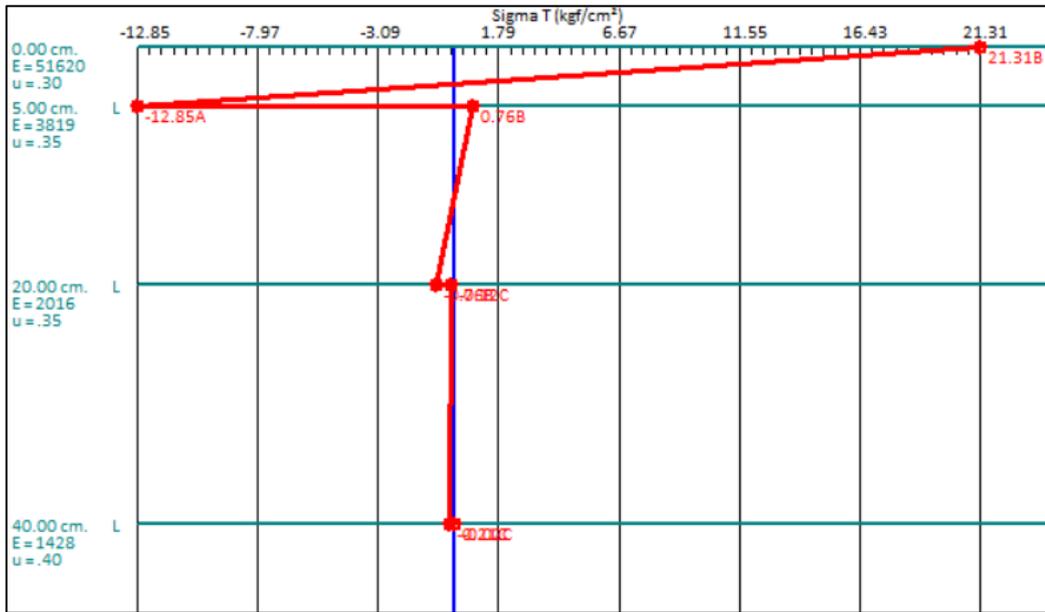
Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Factor de daño	Compresión							
				Épsilon T (microstrain)	N admisible		Épsilon Z (microstrain)	N admisible						
1	5.162E+04	0.30	0.00	2.131E+01	B	5.598E+00	A	271.0	B	-125.0	B	Infinito		
	Continua		5.00	-1.285E+01	A	3.518E+00	B	-204.0	B	1.0575E+06	0.930	217.0	A	
2	3.819E+03	0.35	5.00	7.576E-01	B	3.518E+00	B	-204.0	B	779.0	A	1.1265E+05	8.729	
	Continua		20.00	-7.576E-01	B	1.162E+00	B	-276.0	C	415.0	B			
3	2.016E+03	0.35	20.00	-1.183E-01	C	1.162E+00	B	-276.0	C	585.0	B	4.0605E+05	2.422	
	Continua		40.00	-2.090E-01	C	5.354E-01	C	-173.0	C	325.0	C			
4	1.428E+03	0.40	40.00	-2.172E-02	C	5.354E-01	C	-173.0	C	373.0	C	3.0450E+06	0.323	

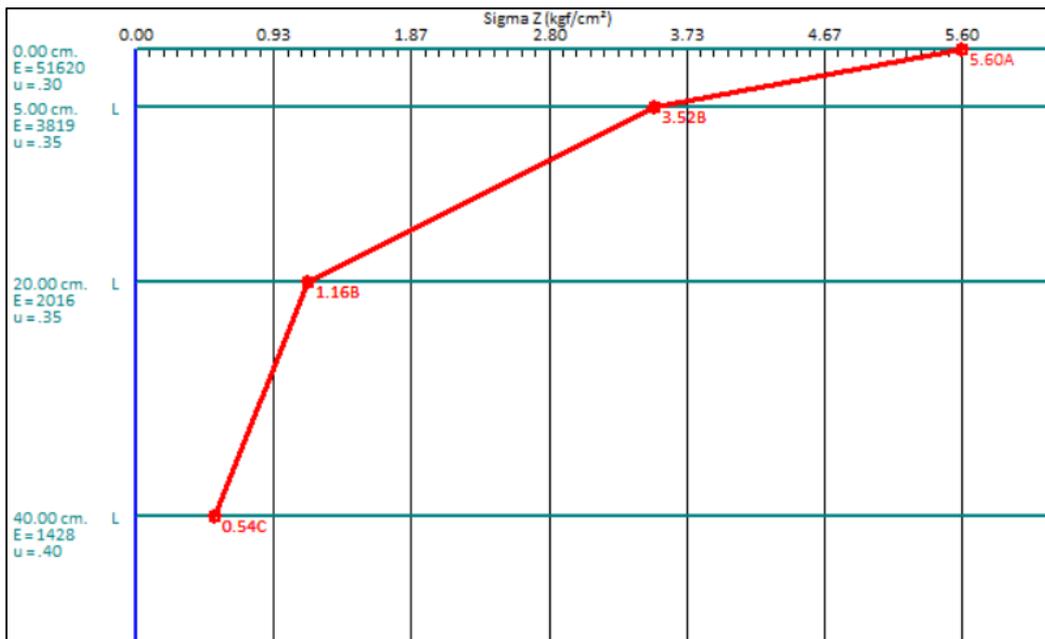
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 36.74
 Radio de curvatura (m) 120.73
 Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 4435.9

Salir y descartar los resultados

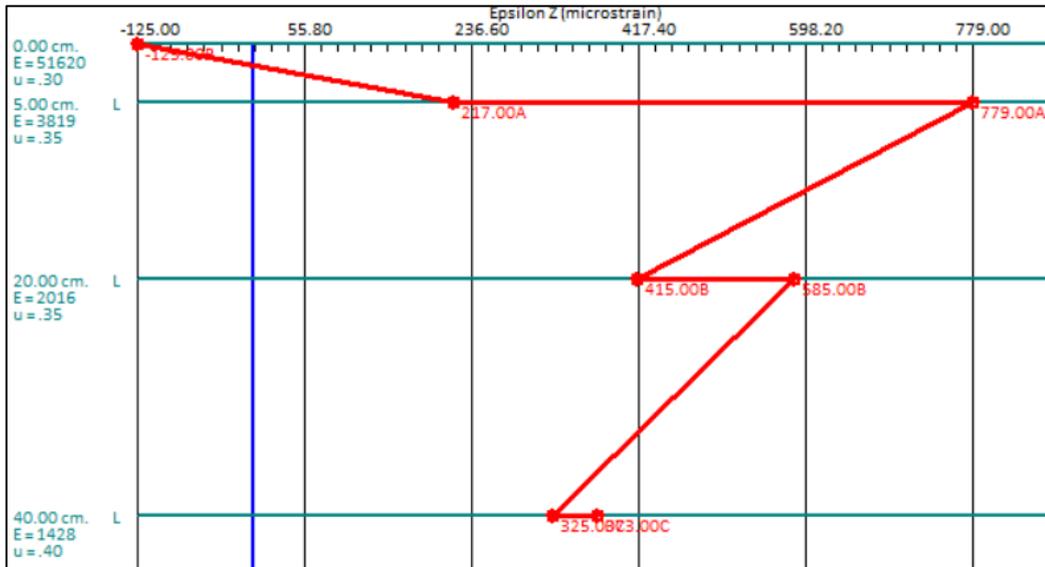
Gráfica de esfuerzo de tracción que alcanza hasta cada profundidad



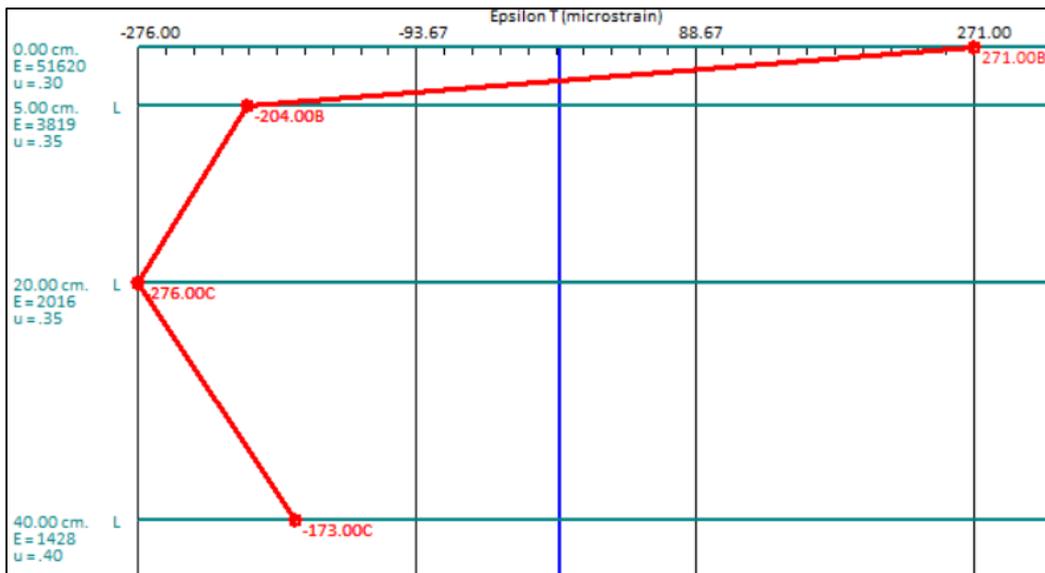
Gráfica de carga aplicada a la estructura del pavimento



Gráfica de deformación vertical



Gráfica de deformación horizontal presentada en cada capa



Comprobación mediante WinDEPAV 2.6 de la estructura de pavimento con tratamiento superficial bicapa diseñado con AASHTO 93

Datos de entrada al software WinDEPAV 2.6

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas) VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASSHTO 93

Número de capas 2 3 4 5 6

Archivo: _____

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión			
					C*k1*(1/E)*k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado	
1	4229.40	0.30	20	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
2	2131.89	0.35	30	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
3	1428	0.35		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80

Distancia entre ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto (kgf/cm²) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Resultados del software WinDEPAV 2.6

Resultados del análisis

Archivo _____

Descripción del proyecto VERIFICACION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DISEÑADO CON ASSHTO 93

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm) 10.80

Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple

B Bajo una de las ruedas de la carga

C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 3

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Sigma		Tracción (fatiga)			Compresión				
				T (kgf/cm ²)	Z (kgf/cm ²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño		
1	4.230E+03	0.30	0.00	5.272E+00	B	5.598E+00	A	506.0	B	-57.3	C	Infinito	
			20.00	-8.943E-01	B	1.581E+00	B	-285.0	B	475.0	B		
2	2.132E+03	0.35	20.00	-7.311E-03	A	1.581E+00	B	-285.0	B	710.0	B	1.7063E+05	5.763
			50.00	-1.662E-01	C	4.772E-01	C	-138.0	C	270.0	C		
3	1.428E+03	0.35	50.00	-2.651E-02	C	4.772E-01	C	-138.0	C	338.0	C	4.7334E+06	0.208

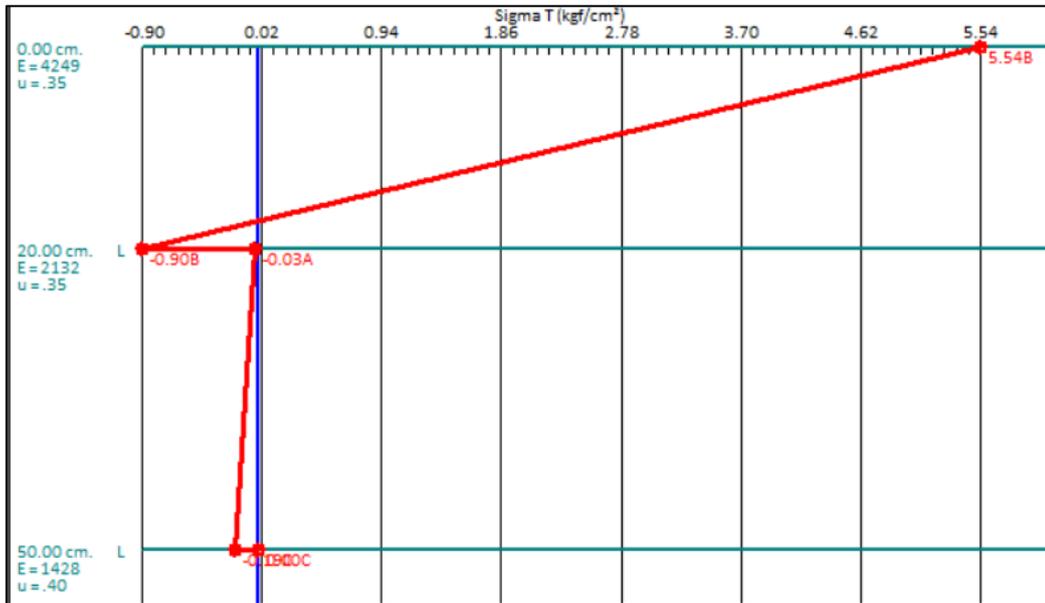
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 36.91

Radio de curvatura (m) 104.79

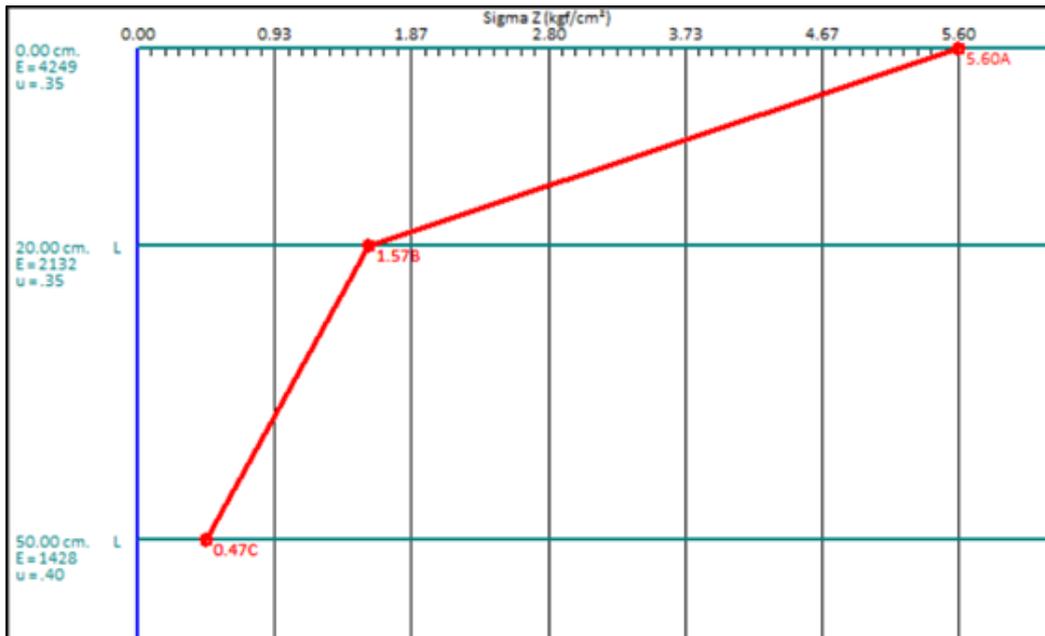
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 3867.7

Salir y descartar los resultados

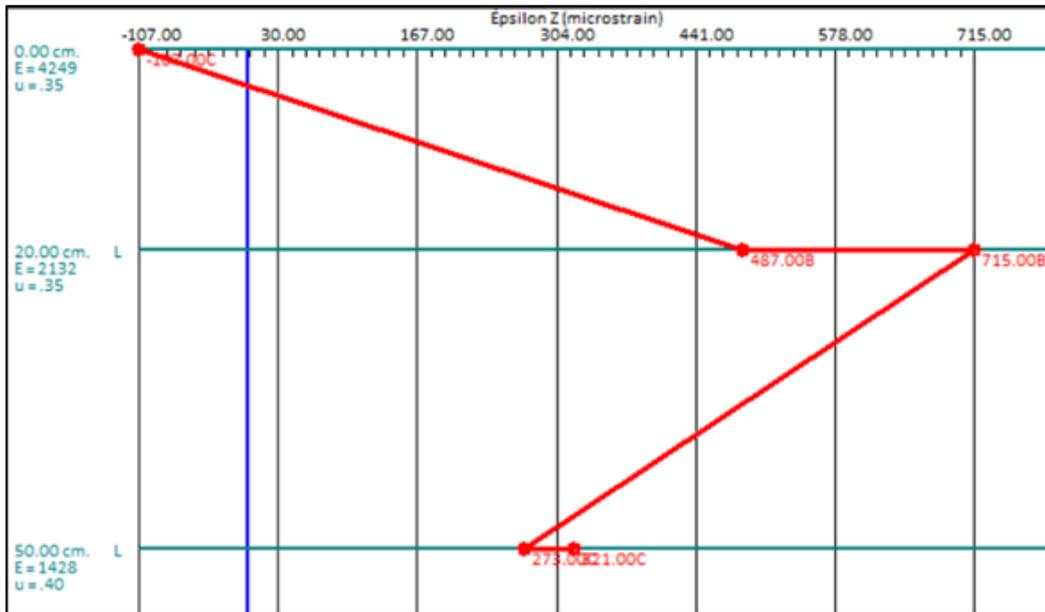
Gráfica de deformación horizontal presentada en cada capa



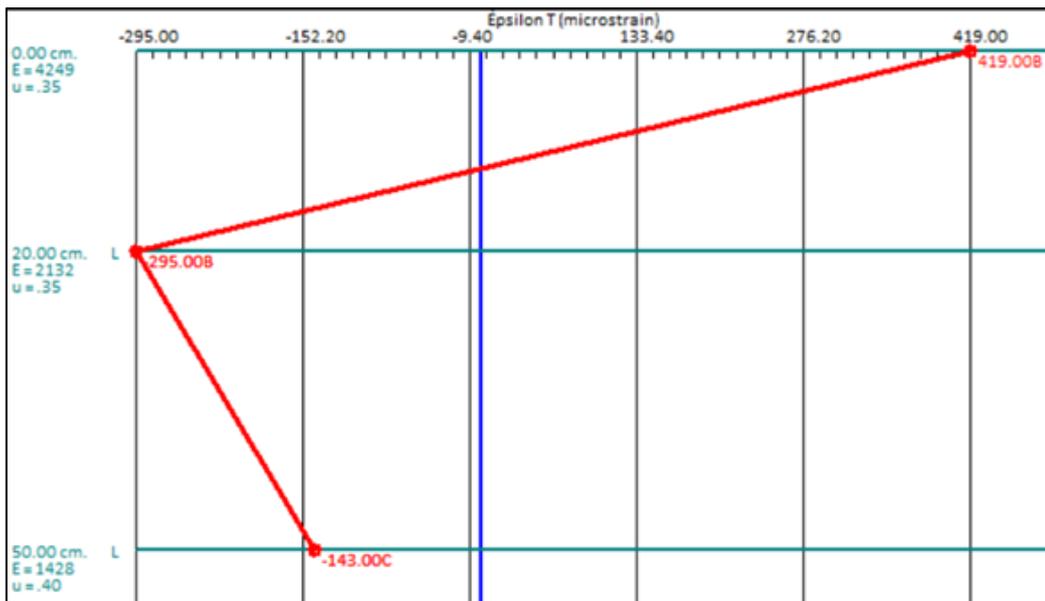
Gráfica de deformación vertical



Gráfica de carga aplicada a la estructura del pavimento



Gráfica de esfuerzo de tracción que alcanza hasta cada profundidad



Anexo 9

Diseño de pavimentos método empírico - mecanicista Pavimento con carpeta asfáltica en caliente

Datos de entrada al software WinDEPAV 2.6

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vázquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)

DISEÑO DE PAVIMENTO CON CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE METODO EMPIRICO - MECANICISTA

Archivo:

Número de capas: 2 3 4 5 6

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión					
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado			
1	51622	0.30	8.3	<input checked="" type="checkbox"/>	7.5731E-07	3.2910	?	983254	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
2	4210	0.35	20	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
3	2085	0.35	25	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
4	1428	0.40		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80

Distancia entre ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto (kgf/cm²) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vázquez Varela, 2018.

Resultados del software WinDEPAV 2.6

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto DISEÑO DE PAVIMENTO CON CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE METODO EMPIRICO - MECANICISTA

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm) 10.80

Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto de las ruedas (kgf/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple

B Bajo una de las ruedas de la carga

C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfasas y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión							
				Épsilon T (microstrain)	N admisible	Épsilon Z (microstrain)	N admisible						
1	5.162E+04	0.30	0.00	1.540E+01	B	5.598E+00	A	190.0	B	-71.0	C	Infinito	
			8.30	-1.020E+01	B	2.223E+00	B	-162.0	B	2.2582E+06	0.435	154.0	A
2	4.210E+03	0.35	8.30	2.274E-01	B	2.223E+00	B	-162.0	B	478.0	B	1.0031E+06	0.980
			28.30	-5.649E-01	C	7.138E-01	C	-163.0	C	246.0	C	354.0	C
3	2.085E+03	0.35	28.30	-8.576E-02	C	7.138E-01	C	-163.0	C	193.0	C		
			53.30	-1.346E-01	C	3.171E-01	C	-99.5	C	226.0	C	2.8694E+07	0.034
4	1.428E+03	0.40	53.30	-1.417E-02	C	3.171E-01	C	-99.5	C				

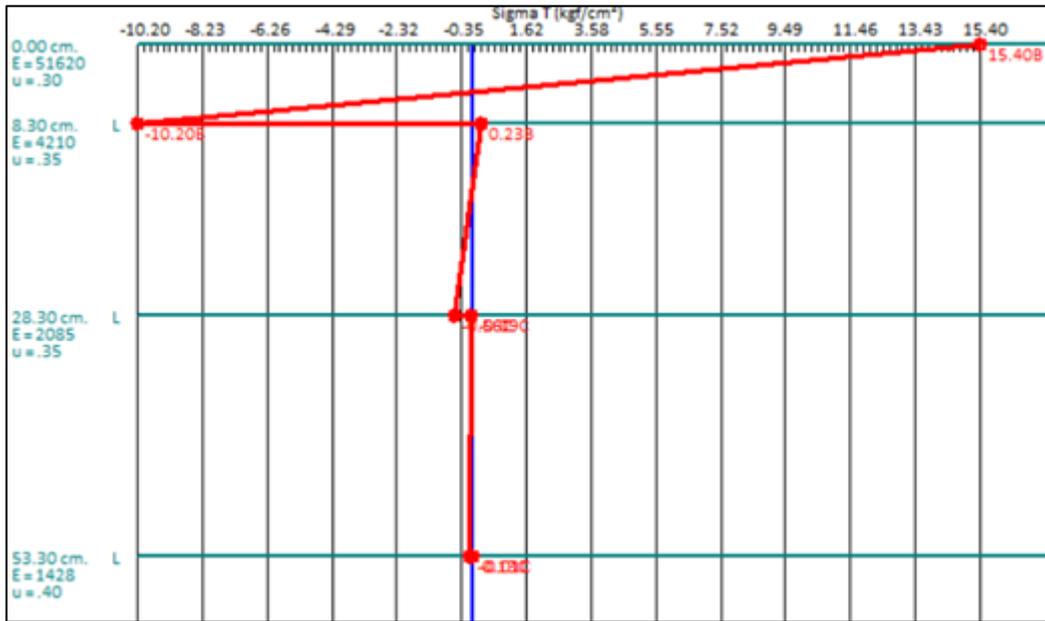
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 29.42

Radio de curvatura (m) 220.43

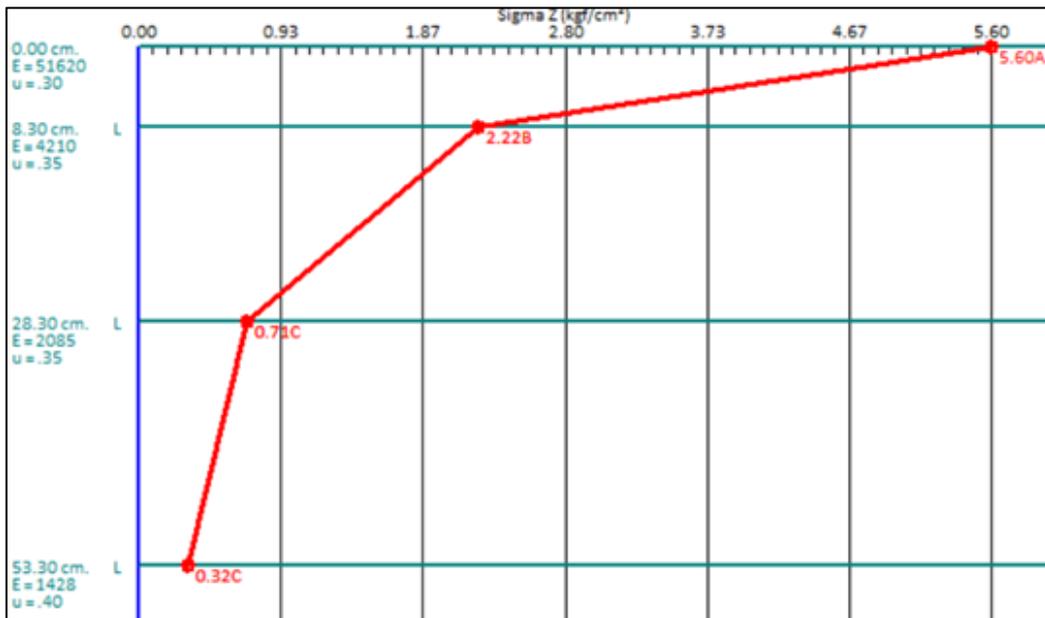
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 6485.6

Salir y descartar los resultados

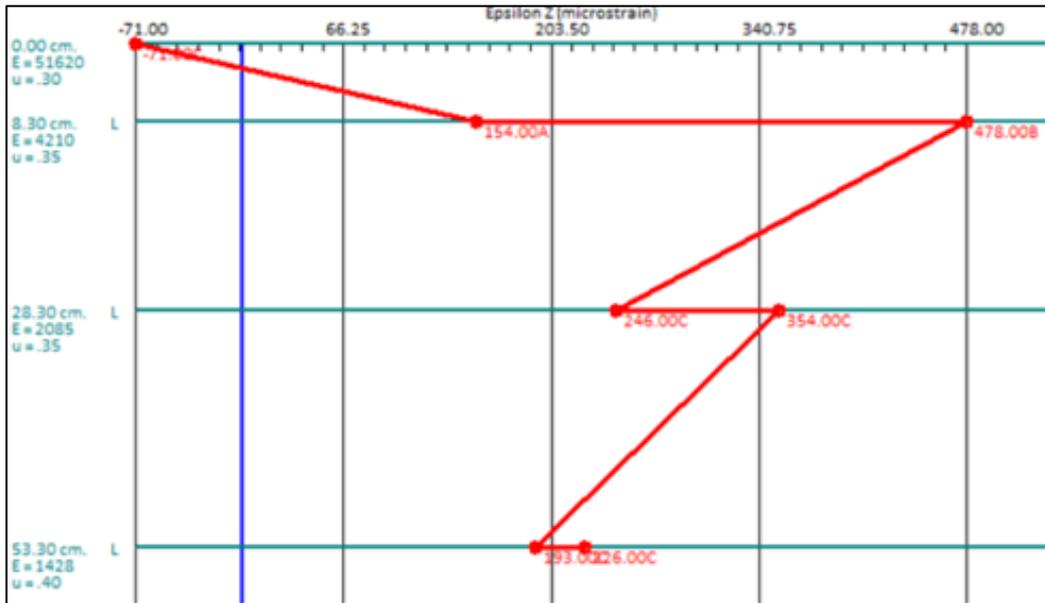
Gráfica de deformación horizontal presentada en cada capa



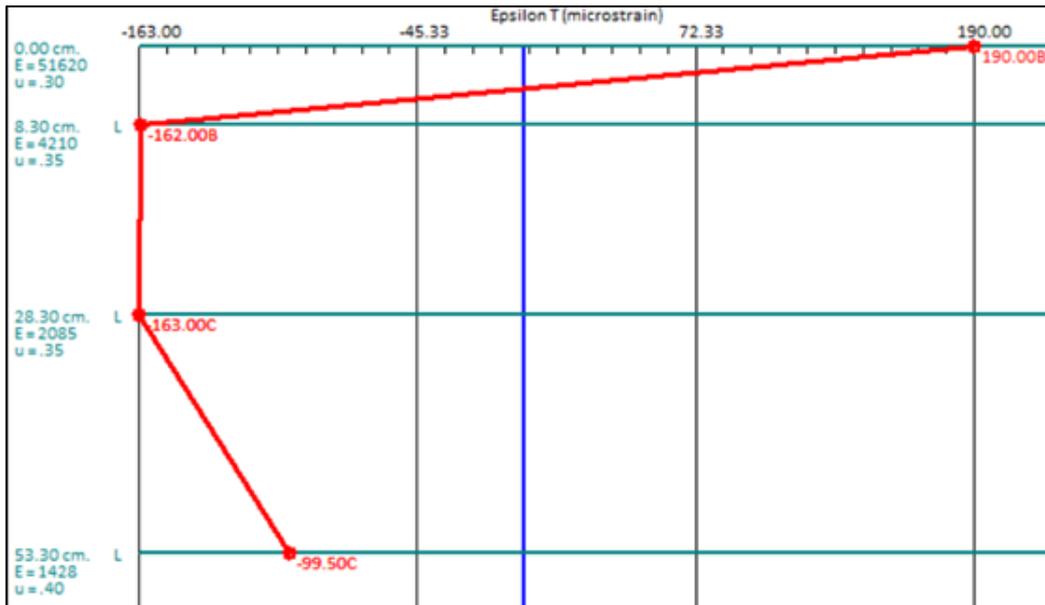
Gráfica de deformación vertical



Gráfica de carga aplicada a la estructura del pavimento



Gráfica de esfuerzo de tracción que alcanza hasta cada profundidad



Pavimento con tratamiento superficial bicapa

Datos de entrada al software WinDEPAV 2.6

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)
 DISEÑO DE PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA METODO EMPIRICO MECANICISTA

Número de capas
 2 3 4 5 6

Archivo: _____

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	ν	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión		
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado
1	4670	0.35	25.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
2	2282	0.35	50.80	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254
3	1428	0.40		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	?	983254

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80
 Distancia entre ruedas (cm) 32.40
 Presión de contacto (kgf/cm²) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.
 Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.
 Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.
 Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Resultados del software WinDEPAV 2.6

Resultados del análisis

Archivo _____

Descripción del proyecto DISEÑO DE PAVIMENTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL BICAPA METODO EMPIRICO MECANICISTA

Sistema de carga
 Radio de las ruedas (cm) 10.80
 Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40
 Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga
 A Bajo una rueda simple
 B Bajo una de las ruedas de la carga
 C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta
 Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfases y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

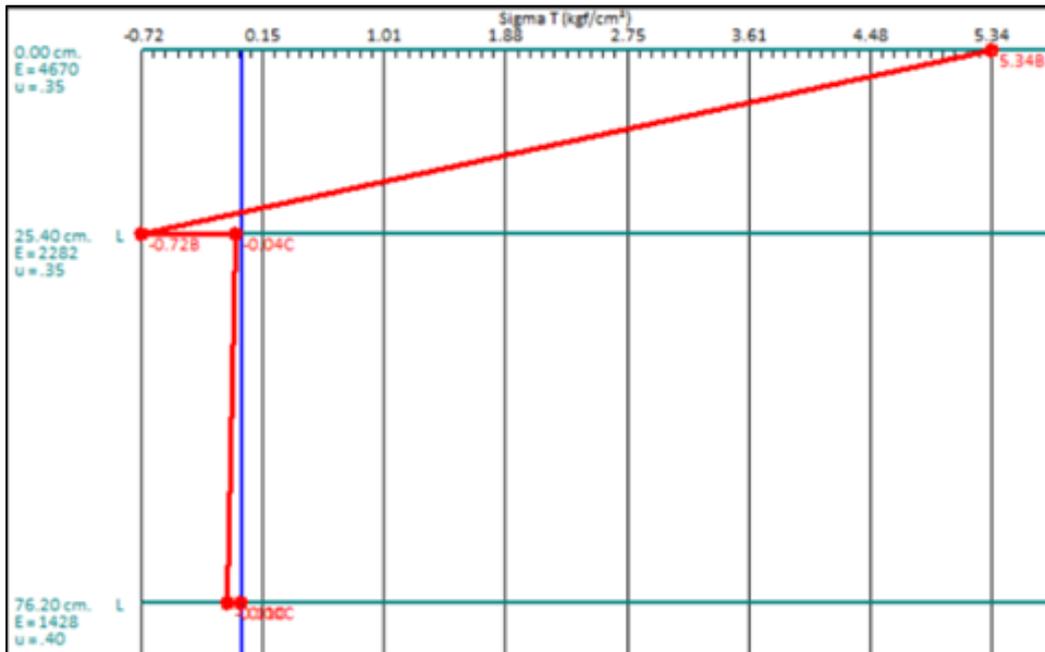
Número de capas: 3

No.	E (kgf/cm ²)	ν	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión							
				Sigma T (kgf/cm ²)	Sigma Z (kgf/cm ²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño		
1	4.670E+03	0.35	0.00	5.343E+00	B	5.598E+00	A	350.0	B				
			25.40	-7.179E-01	B	1.132E+00	B	-218.0	C	-74.8	C	Infinito	
2	2.282E+03	0.35	25.40	-4.211E-02	C	1.132E+00	B	-218.0	C	487.0	B	9.2271E+05	1.066
			76.20	-1.081E-01	C	2.284E-01	C	-68.0	C	131.0	C		
3	1.428E+03	0.40	76.20	-4.089E-03	C	2.284E-01	C	-68.0	C	160.0	C	1.3468E+08	0.007

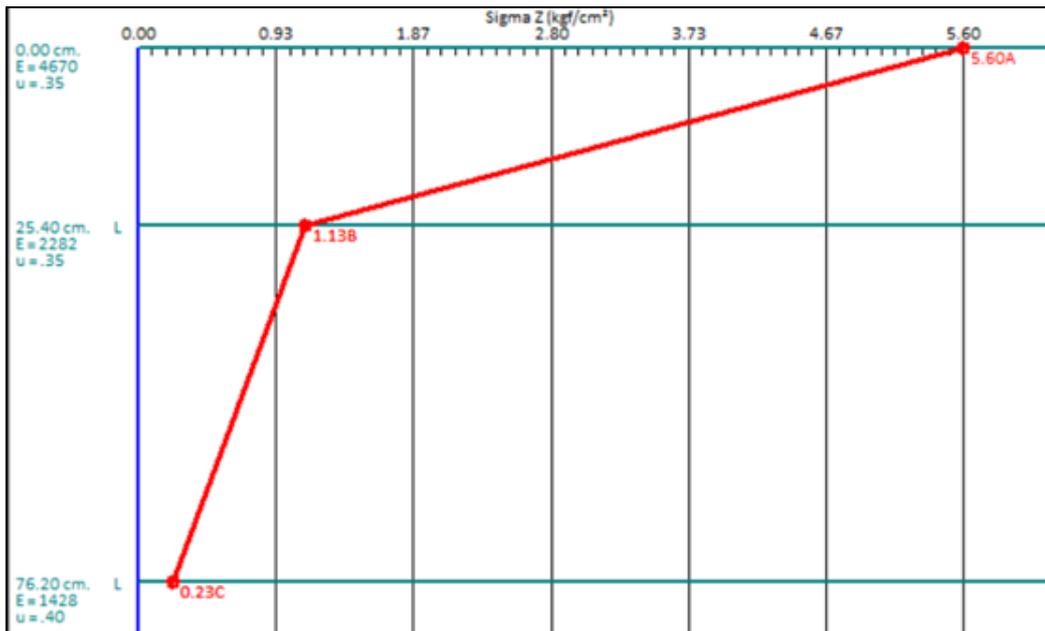
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 30.74
 Radio de curvatura (m) 125.15
 Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 3847.4

Salir y descartar los resultados

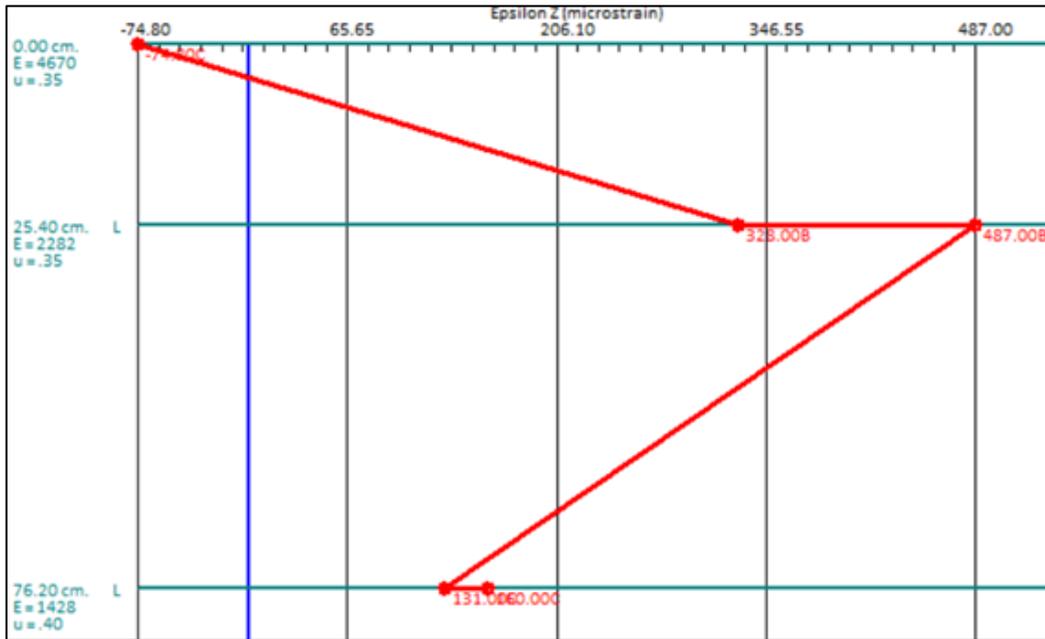
Gráfica de deformación horizontal presentada en cada capa



Gráfica de deformación vertical



Gráfica de carga aplicada a la estructura del pavimento



Gráfica de esfuerzo de tracción que alcanza hasta cada profundidad

