

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA



Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del Km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. 2021

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR

Percy Alexis López Fernández

ASESORA

Dayma Sadami Carmenates Hernández

LIMA – PERÚ

2021

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	PERCY ALEXIS
Apellidos	LOPEZ FERNANDEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	75822730
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	DAYMA SADAMI
Apellidos	CARMENATES HERNANDEZ
Tipo de documento de identidad	Pasaporte
Número del documento de identidad	J704230
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0001-5482-7562

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	FELIX GERMAN
Apellidos	DELGADO RAMIREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	22264222

Datos del segundo miembro

Nombres	MANUEL ISMAEL
Apellidos	LAURENCIO LUNA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	42362708

Datos del tercer miembro

Nombres	JUAN CARLOS
Apellidos	RAMOS BASTERES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	73099291

Datos de la obra

Materia*	Pavimento, metodologías, serviciabilidad, fatiga y erosión
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Tesis
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil <input type="checkbox"/>
Grado académico o título profesional	Título Profesional <input type="checkbox"/>
Nombre del programa	Ingeniería Civil <input type="checkbox"/>
Código del programa Consultar el listado: enlace	732016

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 001-2023-UCSS-FI/TPICIV

**SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
SEDE LIMA**

Los Olivos, 28 de marzo del 2023

Siendo las 14:30 horas del 28 de marzo del 2023, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. 2021

Por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

LOPEZ FERNANDEZ, PERCY ALEXIS

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
MSc. LAURENCIO LUNA, Manuel Ismael
Mg. RAMOS BASTERES, Juan Carlos

Presidente
Secretario
Miembro

Siendo las 16:00 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

APROBADO

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller LOPEZ FERNANDEZ, PERCY ALEXIS el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,

.....
Mg. RAMOS BASTERES, Juan Carlos
Miembro

.....
MSc. LAURENCIO LUNA, Manuel Ismael
Secretario

.....
Dr. DELGADO RAMIREZ, Félix German
Presidente

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Lima, 11 de septiembre de 2023

Señor,

Víctor Garcés Díaz

Jefe del Departamento de Investigación/Coordinador Académico de Unidad de Posgrado
Facultad de Ingeniería UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del Km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. 2021, presentado por LOPEZ FERNANDEZ, PERCY ALEXIS, (2015100551 y DNI: 75822730) para optar el título profesional/grado académico de la Ingeniero Civil ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para su publicación.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 9 %**. * Por tanto, en mi condición de asesora, firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

PAS J704230

ORCID: 0000-0001-5482-7562

Facultad de Ingeniería UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

Dedicatoria

A Dios, que guía e ilumina cada momento de mi existencia, porque sin Él nada podría conseguir, permitiendo que obtenga uno de mis sueños personales y profesionales gracias a su infinita bondad y misericordia.

A mis amados padres Pepe López Rodríguez y Areliza Medalit Fernández Quispe; queridos abuelos Tomás Walter René Fernández Cárdenas y José Epaminondas López García; recordada tía Lilia Rosa Fernández Cárdenas; y extrañada amiga Mónica Milagros Meca Veliz.

Agradecimiento

A la universidad Católica Sedes Sapientiae, mi institución de formación académica, por haberme dado la oportunidad de vivenciar las bases éticas, científicas y epistemológicas; y por el apoyo y las facilidades brindadas.

Asimismo, agradezco a mi asesora Dayma Sadami Carmenates Hernández por su permanente apoyo y pertinentes recomendaciones; y al consultor del Minedu Percy Pompeyo Fernández Quispe.

Resumen

El objetivo general del estudio investigativo fue demostrar por qué la aplicación de las metodologías American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y Portland Cement Association (PCA) permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.

La investigación fue de nivel explicativo con diseño experimental y enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo); detalla los procesos de desarrollo que cumplen las metodologías AASHTO y PCA en el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido de una carretera de zona altoandina.

El desarrollo investigativo se llevó a cabo en campo, laboratorio y gabinete. En campo, se realizó el estudio del tránsito vehicular, la obtención de los indicadores climáticos de la zona de intervención y la extracción de muestras mediante calicatas en el km 162+280 y el km 163+200 de la carretera Oyón-Ambo; en laboratorio, los ensayos de análisis granulométrico, los límites de consistencia, los contenidos de humedad, el Próctor Modificado y la relación de capacidad de soporte CBR para obtener las características del material de terreno; y en gabinete, las fichas climatológicas del Senamhi, la aplicación de pesos y medidas de SUTRAN, la determinación del Índice de Serviciabilidad, la obtención de valores de drenaje, el uso de nomogramas para el módulo de reacción de la subrasante, y la aplicación de las fórmulas de las metodologías asumidas.

La investigación demostró por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto. Los parámetros determinados por el método AASHTO fueron: 20 cm de espesor de losa de concreto con bermas de concreto y 24 cm sin bermas de concreto; y por el método PCA, 22 cm de espesor de losa de concreto con bermas de concreto y 25 cm sin bermas de concreto.

Palabras clave: losa, pavimento, concreto, diseño, carretera.

Abstract

The general objective of the research study was to demonstrate why the application of the AASHTO and PCA methodologies serves to evaluate the design parameters of the concrete slab from km 162+270 to 163+219 of the Oyón-Ambo highway.

The research was of an explanatory level with an experimental design and a mixed approach (quantitative and qualitative); details the development processes that comply with the AASHTO and PCA methodologies in the design of the thickness of the rigid pavement slab of a highway in the high Andean zone.

The research development was carried out in the field, laboratory and office. In the field, the study of vehicular traffic was carried out, the obtaining of climatic indicators of the intervention area and the extraction of samples through test pits at km 162+280 and km 163+200 of the Oyón-Ambo highway; in the laboratory, the granulometric analysis tests, the consistency limits, the moisture content, the Modified Proctor and the CBR bearing capacity ratio to obtain the characteristics of the ground material; and in the cabinet, the climatological records of the Senamhi, the application of weights and measures of SUTRAN, the determination of the Serviceability Index, the obtaining of drainage values, the use of nomograms for the reaction module of the subgrade, and the application of the formulas of the AASHTO and PCA guidelines.

The investigation allowed to demonstrate why the applications of the AASHTO and PCA methodologies serve to evaluate the design parameters of the concrete slab. The parameters determined by the AASHTO method were: 20 cm thick concrete slab with concrete shoulders and 24 cm without concrete shoulders; and by the PCA method, 22 cm with concrete shoulders and 25 cm without concrete shoulders.

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Introducción.....	xix
CAPÍTULO I	1
Planteamiento del problema	1
1.1 Formulación del problema	2
1.1.1 Problema principal.....	2
1.1.2 Problemas secundarios	2
1.2 Objetivos de la investigación.....	2
1.2.1 Objetivo principal	2
1.2.2 Objetivos secundarios.....	2
1.3 Justificación e importancia de la investigación	3
1.3.1 Justificación teórica	3
1.3.2 Justificación práctica	3
1.3.3 Justificación social.....	3
1.3.4 Justificación económica.....	4
1.3.5 Importancia de la investigación.....	5
1.4 Delimitación del área de investigación	5

1.4.1 Delimitación espacial	5
1.4.2 Delimitación temporal	7
1.4.3 Delimitación del contenido.....	7
1.4.4 Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II.....	8
Marco teórico.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	9
2.2 Bases teóricas	11
2.2.1 Pavimentos.....	11
2.2.2 Componentes del pavimento	11
2.2.2.1 Subrasante.....	11
2.2.2.2 Subbase.....	12
2.2.2.3 Carpeta de rodadura.....	12
2.2.3 Tipo de pavimentos de concreto.....	12
2.2.3.1 Pavimentos de concreto simple sin pasadores.....	12
2.2.3.2 Pavimentos de concreto simple con pasadores.....	12
2.2.3.3 Pavimentos de concreto reforzado con juntas	13
2.2.3.4 Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.....	13
2.2.4 Juntas	13
2.2.4.1 Juntas longitudinales.....	13

2.2.4.2 Juntas transversales.....	13
2.2.4.3 Juntas de expansión	13
2.2.6 Estudio de suelos para pavimentos	14
2.2.6.1 Clasificación de suelos AASHTO	14
2.2.6.2 Clasificación de suelos SUCS	14
2.2.6.3 Análisis granulométrico.....	14
2.2.6.4 Contenido de humedad	15
2.2.6.5 Límite líquido	15
2.2.6.6 Límite plástico	16
2.2.6.7 Índice plástico.....	16
2.2.6.8 Próctor	16
2.2.6.9 Valor de Soporte California (CBR).....	16
2.2.6.10 Módulo de reacción de la subrasante (k).....	17
2.2.6.11 Módulo resiliente.....	17
2.2.6.12 Tránsito.....	17
2.2.7 Pavimentos rígidos por metodología AASHTO.....	18
2.2.7.1 Tráfico Esal's.....	19
2.2.7.2 Serviciabilidad.....	19
2.2.7.3 Valores de la Desviación Estándar Normal (Z_R) correspondientes a niveles seleccionados de Confiabilidad (R).....	19
2.2.7.4 Módulo de reacción de la subrasante (k).....	20
2.2.7.5 Módulo de rotura del concreto ($S'c$).....	20

2.2.7.6 Coeficiente de drenaje (Cd).....	20
2.2.7.7 Transferencia de carga.....	20
2.2.8 Pavimentos rígidos por metodología PCA	20
2.2.8.1 Módulo de reacción de la subrasante (k).....	21
2.2.8.2 Tránsito.....	21
2.2.8.3 Módulo de rotura	21
2.2.8.4 Factor de seguridad.....	21
2.3 Términos básicos	21
CAPÍTULO III	24
Hipótesis y variables de la investigación.....	24
3.1 Hipótesis principal.....	24
3.2 Hipótesis secundarias	24
3.3 Variables e indicadores.....	24
3.3.1 Variable independiente	24
3.3.2 Variable dependiente	24
CAPÍTULO IV	26
Diseño de la investigación.....	26
4.1 Diseño de ingeniería	26
4.1.1 Nivel o alcance	26
4.1.2 Diseño.....	26
4.1.3 Población o universo investigado.....	27
4.1.4 Muestra	27

4.1.5 Métodos, técnicas e instrumentos del proyecto	27
4.1.5.1 Métodos del proyecto	27
4.1.5.2 Técnicas del estudio.....	27
4.1.5.3 Instrumentos del estudio.....	28
CAPÍTULO V.....	30
Desarrollo experimental	30
5.1 Estudio, ensayos y diseño.....	30
5.1.1 Estudio del tráfico vehicular.....	30
5.1.2 Ensayos de laboratorio.....	36
5.1.2.1 Calicata 1: km 162+280.....	37
5.1.2.2 Calicata 2: km 163+200.....	41
5.1.3 Metodología AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos	49
5.1.3.1 Cálculo de Ejes Equivalentes (Esal's).....	49
5.1.3.2 Valores de la Desviación Estándar Normal (Z_R) correspondientes a niveles seleccionados de Confiabilidad (R).....	53
5.1.3.3 Índice de serviciabilidad.....	53
5.1.3.4 Transferencia de carga (J).....	53
5.1.3.5 Coeficiente de drenaje (Cd).....	53
5.1.3.6 Módulo resiliente (M_r)	54
5.1.3.7 Pérdida de soporte (Ls).....	54
5.1.3.8 Módulo de reacción de la subrasante (k).....	54
5.1.3.9 Módulo de elasticidad del concreto (E_c).....	56

5.1.3.10 Módulo de rotura del concreto ($S'c$).....	57
5.1.3.11 Determinación del espesor del pavimento (D)	57
5.1.3.12 Pasajuntas de acero de refuerzo.....	64
5.1.4 Metodología PCA para el diseño de pavimentos rígidos	65
5.1.4.1 Estimación de tráfico futuro	65
5.1.4.2 Módulo de reacción de la subrasante (k).....	69
5.1.4.3 Factor de seguridad (Fs)	70
5.1.4.4 Módulo de rotura del concreto (MR).....	70
5.1.4.5 Diseño de espesor de la losa.....	70
5.1.4.6 Juntas	78
5.1.4.7 Transferencia de carga.....	78
CAPÍTULO VI	79
Resultados, conclusiones y recomendaciones	79
6.1 Resultados.....	79
6.1.1 Cálculo del espesor de losa de pavimento rígido por la guía AASHTO	80
6.1.2 Cálculo de espesor de losa de pavimento rígido PCA.....	80
6.1.3 Datos climáticos de la zona de estudio	81
6.1.4 Aplicación de la Norma de Pesos y Medias Vehiculares – SUTRAN...	81
6.1.5 Determinación de Ejes Equivalentes	81
6.1.6 Establecimiento del índice de serviciabilidad	82
6.1.7 Fotografía en gabinete, comprobando el criterio de durabilidad.....	82
6.1.8 Cálculo del módulo de rotura por AASHTO	82

6.1.9 Cálculo del módulo de rotura por PCA	83
6.1.10 Fotografía en gabinete, valorando el módulo de rotura.....	83
6.1.11 Resultados de las precipitaciones pluviales.....	83
6.1.12 Determinación del coeficiente de drenaje	84
6.1.13 Fotografía de excavación de calicata 1 (km 162+280).....	84
6.1.14 Fotografía de excavación de calicata 2 (km 163+200).....	84
6.1.15 Ensayos de mecánica de suelos	85
6.1.16 Determinación del módulo de reacción de la subrasante (k).....	91
6.1.17 Compendio de los estudios en campo, laboratorio y gabinete	91
6.1.18 Contrastación de hipótesis	94
6.2 Aporte científico de la investigación	96
6.3 Conclusiones.....	97
6.4 Recomendaciones	99
Bibliografía.....	100
Anexos.....	103
Anexo 1: Tablas de cronograma de actividades	104
Anexo 2: Matriz de Operacionalización de Variables.....	105
Anexo 3: Matriz de Consistencia.....	106
Anexo 4: Presupuesto de la investigación	107
Anexo 5: Panel fotográfico.....	108
Anexo 6: Ensayo granulométrico de la Calicata 1 – M 01	110
Anexo 7: Ensayo de Límites de consistencia de la Calicata 1 – M 01	111

Anexo 8: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 1 – M 01	112
Anexo 9: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 1 – M 01.....	113
Anexo 10: Ensayo de CBR de la Calicata 1 – M 01.....	114
Anexo 11: Ensayo granulométrico de la Calicata 2 – M 01	116
Anexo 12: Ensayo de Límite de consistencia de la Calicata 2 – M 01.....	117
Anexo 13: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 2 – M 01	118
Anexo 14: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 2 – M 01.....	119
Anexo 15: Ensayo de CBR de la Calicata 2 – M 01.....	120
Anexo 16: Ensayo granulométrico de la Calicata 2 – M 02.....	122
Anexo 17: Ensayo de Límites de consistencia de la Calicata 2 – M 02	123
Anexo 18: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 2 – M 02	124
Anexo 19: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 2 – M 02.....	125
Anexo 20: Ensayo de CBR de la Calicata 2 – M 02.....	126
Anexo 21: Fotografías de recojo y procesamiento de datos en el centro meteorológico de Oyón.....	128

Índice de Tablas

Tabla 1. Población beneficiada – provincia de Oyón de la región Lima.....	3
Tabla 2. Población beneficiada – provincia de Ambo de la región Huánuco	4
Tabla 3. Población beneficiada - provincia de Daniel A. Carrión de la región Pasco	4
Tabla 4. Costos de pasajes de transportes en vías no pavimentadas y pavimentadas 2022	4
Tabla 5. Costos de pasajes de colectivos en vías pavimentadas y no pavimentadas 2022	4
Tabla 6. Diseño experimental de la investigación.....	8
Tabla 7. Diseño experimental de la investigación.....	8
Tabla 8. Diseño experimental de la investigación.....	9
Tabla 9. Diseño experimental de la investigación.....	9
Tabla 10. Diseño experimental de la investigación.....	10
Tabla 11. Diseño experimental de la investigación.....	10
Tabla 12. Estudio de Tránsito.....	32
Tabla 13. Índice Medio Diario Anual.....	33
Tabla 14. IMDA proyectado para el año 2026	35
Tabla 15. Ensayo granulométrico – Calicata 1	37
Tabla 16. Ensayo granulométrico – Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m.....	42
Tabla 17. Ensayo granulométrico – Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m.....	46
Tabla 18. Relación de tipos de ejes por cargas para Ejes Equivalentes	51
Tabla 18 A. Relación de tipos de ejes de cargas para Ejes Equivalentes	52
Tabla 19. CBR de diseño y módulos resiliente	54
Tabla 20. Estimación de IMDA para 20 años	65

Tabla 21. Distribución de ejes por tipo de carga utilizado en el estudio investigativo	66
Tabla 22. Índice Medio Diario Anual por tipo de ejes	68
Tabla 23. Cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Simple.....	69
Tabla 24. Cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Tándem	69
Tabla 25. Cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Trídem	69
Tabla 26. Cálculo de espesor de pavimento rígido sin bermas de concreto.....	73
Tabla 27. Cálculo de espesor de pavimento rígido con bermas de concreto.....	77
Tabla 28. Precipitaciones pluviales promedio de los meses de diciembre, enero, febrero, marzo.....	84
Tabla 29. Resultado del Ensayo de análisis granulométrico	85
Tabla 30. Resultado del ensayo de límites de consistencia	86
Tabla 31. Resultado del ensayo de contenido de humedad	86
Tabla 32. Resultado del ensayo de Próctor modificado	86
Tabla 33. Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca.....	86
Tabla 34. CBR por cantidad de golpes	87
Tabla 35. Resultado del ensayo del análisis granulométrico.....	87
Tabla 36. Resultado del ensayo de límites de consistencia	88
Tabla 37. Resultado del ensayo de contenido de humedad	88
Tabla 38. Resultado del ensayo de Próctor modificado	88
Tabla 39. Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca.....	88
Tabla 40. CBR por cantidad de golpes	89
Tabla 41. Resultado del ensayo de Análisis Granulométrico	89
Tabla 42. Resultado del ensayo de Índice de Plasticidad	90
Tabla 43. Resultados del ensayo de Contenido de Humedad.....	90

Tabla 44. Resultados del ensayo de Próctor modificado.....	90
Tabla 45. Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca.....	90
Tabla 46. CBR por cantidad de golpes	91
Tabla 47. Compendio de los estudios en campo, laboratorio y gabinete	92
Tabla 48. Matriz de Operacionalización de variables	105
Tabla 49. Matriz de Consistencia	106
Tabla 50. Presupuesto del diseño y desarrollo del estudio investigativo	107

Índice de Figuras

Figura 1. Trazo de la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo.....	6
Figura 2. Carretera Oyón-Ambo.....	6
Figura 3. Cuchara de Casagrande	16
Figura 4. Prensa CBR eléctrico	17
Figura 5. Conteo de vehículos livianos	30
Figura 6. Conteo de vehículos pesados	31
Figura 7. Muestras de calicata 1 y calicata 2.....	37
Figura 8. Ensayo granulométrico de Calicata 1.....	38
Figura 9. Ensayo de límite de consistencia de Calicata 1.....	39
Figura 10. Ensayo de contenido de humedad de Calicata 1	39
Figura 11. Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 1	40
Figura 12. Ensayo de CBR de la Calicata 1	41
Figura 13. Ensayo granulométrico de calicata 2 de 0,00 m a 0,20 m.....	43
Figura 14. Ensayo de límite de consistencia de Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m.....	43
Figura 15. Ensayo de contenido de humedad de Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m ...	44
Figura 16. Ensayo de Próctor modificado en la Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m.....	45
Figura 17. Ensayo granulométrico de calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m.....	47
Figura 18. Ensayo de límite de consistencia de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m.....	47
Figura 19. Ensayo de contenido de humedad de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m ...	48
Figura 20. Ensayo de Próctor modificado de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m.....	48
Figura 21. Ensayo de CBR de la Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m.....	49
Figura 22. Nomograma empleado para determinar el módulo de reacción de la subrasante del estudio investigativo	555

Figura 23. Nomograma de pérdida de soporte empleado en el estudio investigativo	56
Figura 24. Nomograma AASHTO para el diseño del espesor de losa de concreto aplicado en el estudio investigativo.....	59
Figura 25. Diseño de pavimento rígido por el software “pavimR” usado en la presente investigación	60
Figura 26. Nomograma AASHTO empleado para el diseño del espesor de losa de concreto	62
Figura 27. Software “pavimR” para el diseño de espesor de losa de concreto	63
Figura 28. Cálculo del espesor de losa de concreto por el software BS-PCA.....	744
Figura 29. Cálculo del espesor de losa de concreto con el software BS-PCA	78
Figura 30. Variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón – Ambo	79
Figura 31. Comprobación de la influencia de las metodologías AASHTO y PCA con el criterio de durabilidad	82
Figura 32. Valoración del esfuerzo de compresión en el módulo de rotura	83
Figura 33. Excavación de calicata 1	84
Figura 34. Excavación de calicata 2	85
Figura 35. Provincia de Oyón - Región Lima	108
Figura 36. Plaza de la provincia de Oyón - Región Lima	108
Figura 37. Provincia de Ambo - Región Huánuco	109
Figura 38. Plaza de la provincia de Ambo - Región Huánuco	109
Figura 39. Centro meteorológico de Oyón - Región Lima.....	128
Figura 40. Instrumentos de observación meteorológica de Oyón - Región Lima	1288

Introducción

La investigación titulada “Aplicación de las metodologías American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y Portland Cement Association (PCA) para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021” de los departamentos de Lima, Huánuco y Pasco puso en evidencia la necesidad de demostrar que estos procedimientos son válidos para el diseño de pavimentos en lugares altoandinos.

El estudio investigativo surge de la exigencia social para reducir la duración del tiempo de viaje de los pobladores de la zona de intervención, reducir los costos de transporte, contribuir en la conservación y mantenimiento de vehículos de los transportistas, permitir el traslado de las cosechas con mayor facilidad y fluidez, contribuir a generar y fortalecer actividades agropecuarias y optimizar el nivel de vida de la comunidad.

La investigación respondió a la pregunta ¿por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo? Se propuso como objetivo general demostrar por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto; y la hipótesis de investigación propuesta fue que la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto.

El informe final de la investigación se presenta en VI capítulos.

El capítulo I comprende la formulación del problema, los objetivos de la investigación, la justificación e importancia, la delimitación del área de investigación y las limitaciones de la investigación.

El capítulo II está constituido por los antecedentes nacionales e internacionales, las bases teóricas y la definición de términos básicos.

El capítulo III presenta el conjunto de hipótesis, variables e indicadores y la Operacionalización de variables de la investigación.

El capítulo IV está compuesto por el diseño de ingeniería; y los métodos y técnicas.

El capítulo V expone los trabajos en campo, laboratorio y gabinete.

El capítulo VI muestra los resultados, las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

World Economic Forum 2017: Reporte de competitividad Global evaluó 137 países estableciendo la tabla del Ranking Mundial. En “Competitividad” el primer lugar lo tiene Suiza seguido por Singapur, Estados Unidos, Países Bajos, Alemania, Suecia, Reino Unido, Japón, Hong Kong y Finlandia; y en “Infraestructura”, lidera el primer puesto Hong Kong seguido por Singapur y Países Bajos, y, con relación a la calidad de infraestructura de carreteras, se ubican en los primeros puestos los Emiratos Árabes Unidos seguido de Singapur y Suiza. (Sinti Pinedo, 2017).

En México, la autopista de concreto hidráulico Guadalajara – Tepic, fue construida en el año 1998 con períodos pertinentes de diseño y 20 años de servicio, un grosor de superficie de rodadura de 26 cm y una subbase de 15 cm de espesor. Después de cumplir el periodo de servicio, los deterioros que se presentaron en el pavimento rígido fueron: grietas no controladas longitudinal y transversal debido a una modulación, filtración de agua, fenómeno de bombeo expulsando partículas finas de la subbase y oquedades debajo de la losa. (Uribe García, 2018).

En el Perú, desde el año 2015 hasta la fecha, se ha verificado una variedad de fallas en las estructuras de pavimentos debido a las deformaciones excesivas por las intensas cargas vehiculares, la falta de mantenimiento y los cambios climáticos en las regiones de la costa, la sierra y la selva.

Según Minchán Lezcano (2019), el pavimento es afectado en su mayoría por las fuertes lluvias, en la sierra y la selva, que debilita la subrasante porque la mayor parte del material del suelo de fundación es fino y retiene los niveles de humedad elevados en periodos prolongados, afectando así toda la estructura. El clima daña la estructura del pavimento, así como los cambios de temperaturas, que influyen en la modificación de las cualidades de sus componentes.

La presente investigación se desarrolla en una vía no pavimentada del km 162+270 al km 163+219 que pertenece a la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo. Ubicada en una zona altoandina cuyas características son: altura (4 500 m s.n.m.); temperatura (-1,6 °C a 23,6 °C); radiación ultravioleta (3 uv a 6 uv); precipitaciones pluviales (0 mm/día a 4 mm/día); y pendiente de inclinación de la vía (9 %). A fin de diseñar una losa de concreto de calidad considerando las características de esta zona de intervención.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema principal

¿Por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo?

1.1.2 Problemas secundarios

¿Por qué las metodologías AASHTO y PCA comprueban la influencia del criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto?

¿Por qué el esfuerzo de compresión comprueba la influencia del módulo de rotura para el diseño del espesor de la losa de concreto?

¿Por qué la absorción a la humedad valora la incidencia del coeficiente de drenaje para el diseño del espesor de la losa de concreto?

¿Por qué la capacidad de carga valora la influencia del módulo de reacción de la subrasante para el diseño del espesor de la losa de concreto?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo principal

Demostrar por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.

1.2.2 Objetivos secundarios

Comprobar por qué las metodologías AASHTO y PCA influyen en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto.

Comprobar por qué el esfuerzo de compresión influye en el módulo de rotura para el diseño del espesor de la losa de concreto.

Valorar por qué la absorción a la humedad incide en el coeficiente de drenaje para el diseño del espesor de la losa de concreto.

Valorar por qué la capacidad de carga influye en el módulo de reacción de la subrasante para el diseño del espesor de la losa de concreto.

1.3 Justificación e importancia de la investigación

1.3.1 Justificación teórica

La tesis asumió, como fundamento teórico, los parámetros siguientes: Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements – Portland Cement Association (PCA), Guide for Design of Pavements Structures 1993 – American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Ingeniería de Pavimentos y Norma Técnica Peruana.

1.3.2 Justificación práctica

El estudio se justifica al haberse comprobado en la práctica la influencia de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto; servirá como un referente para futuros proyectos de construcción de pavimentos rígidos de carreteras y/o vías públicas en el territorio nacional; y permitirá a los investigadores y estudiantes universitarios obtener mayor competencia en el boceto de losas de concreto en zonas no pavimentadas del país.

La investigación, al aplicar las metodologías mencionadas, evaluó técnicamente en campo, laboratorio y gabinete los criterios de diseño que se cumplieron para la losa de concreto de la zona altoandina donde está ubicada la carretera Oyón-Ambo.

1.3.3 Justificación social

La presente investigación se justifica socialmente porque reduce los tiempos de viaje de los pobladores de la zona de intervención, permitirá el traslado de las cosechas con mayor facilidad y fluidez, contribuirá a generar y fortalecer actividades agropecuarias y mejorará el estilo de vida de la localidad y en la región.

Se presenta los cuadros de las poblaciones beneficiadas en las provincias de los departamentos de Lima, Huánuco y Pasco, como sigue:

Tabla 1

Población beneficiada – provincia de Oyón de la región Lima

Región	Provincia	Población	
		Urbana	Rural
Lima	Oyón	10 263	7 476

Fuente: Resultados definitivos – Lima. INEI (2018)

Tabla 2*Población beneficiada – provincia de Ambo de la región Huánuco*

Región	Provincia	Población	
		Urbana	Rural
Huánuco	Ambo	17 964	32 916

Fuente: Resultados definitivos – Huánuco. INEI (2018)

Tabla 3*Población beneficiada - provincia de Daniel A. Carrión de la región Pasco*

Región	Provincia	Población	
		Urbana	Rural
Pasco	Daniel Alcides Carrión	14 867	28 713

Fuente: Resultados definitivos – Pasco. INEI (2018)

1.3.4 Justificación económica

La tesis se justifica económicamente porque la vía reducirá el coste de transporte de personas y de los productos agrarios y pecuarios de la localidad, ayudará a los transportistas en la conservación de sus unidades, reducirá el costo de mantenimiento de los vehículos que circularán en la vía y fortalecerá la mercancía del sector con los demás mercados regionales.

En este contexto, se presentan las Tablas 4 y 5 de costos de pasajes donde se demuestra por analogía la diferencia sustancial de sus costos en vías no pavimentadas y vías pavimentadas, como sigue:

Tabla 4*Costos de pasajes de transportes en vías no pavimentadas y pavimentadas 2022*

Tipo de vía	Origen	Destino	Costo
No Pavimentado	Lima	Oyón	S/ 45,00
Pavimentado	Lima	Oyón	S/ 30,00

Fuente: Servicio de transporte “Turismo Armonía”

Tabla 5*Costos de pasajes de colectivos en vías pavimentadas y no pavimentadas 2022*

Tipo de vía	Origen	Destino	Costo
No Pavimentado	Tarapoto	Moyobamba	S/ 45,00
Pavimentado	Tarapoto	Moyobamba	S/ 35,00

Fuente: Servicio de transporte “San Martín”

1.3.5 Importancia de la investigación

El estudio investigativo demostró la importancia de aplicar las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. Estas metodologías comprobaron el criterio de durabilidad; comprobaron por qué el esfuerzo de compresión influye en el módulo de rotura; valoraron por qué la absorción a la humedad incide en el coeficiente de drenaje; y valoraron por qué la capacidad de carga influye en el módulo de reacción de la subrasante del diseño del espesor de losa de concreto.

El diseño del presente estudio, para el tramo de la carretera Oyón- Ambo, consideró lograr mayor tiempo de vida de la carretera, atender la necesidad de movilización y transporte de vehículos entre las provincias de Oyón, Ambo y Daniel A. Carrión de los departamentos de Lima, Huánuco y Pasco favoreciendo adicionalmente a las poblaciones de las zonas aledañas a la carretera.

1.4 Delimitación del área de investigación

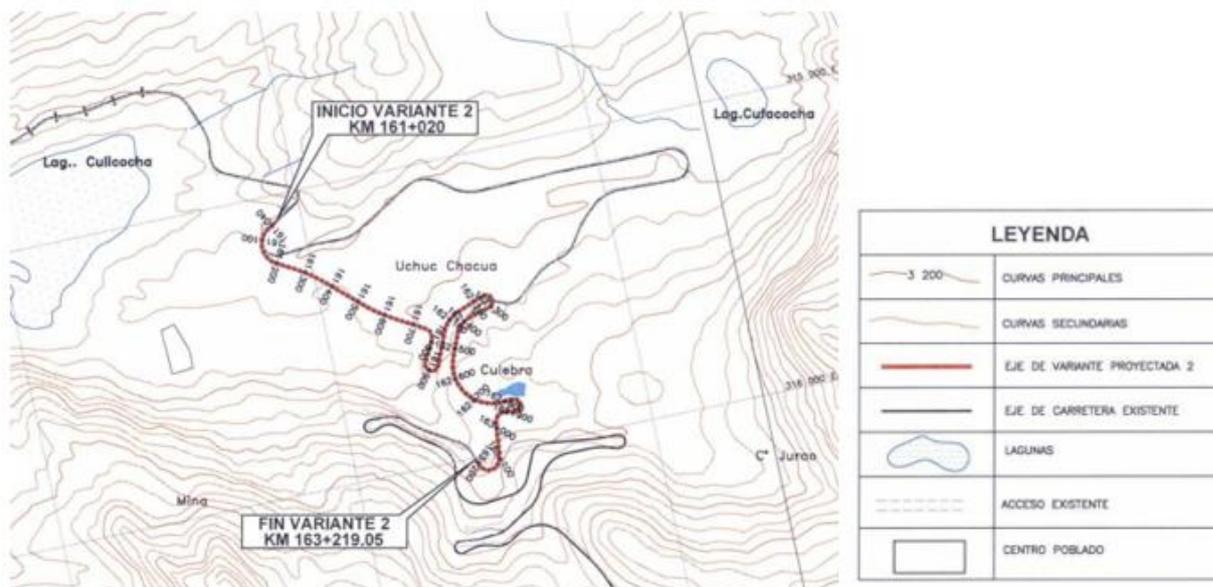
1.4.1 Delimitación espacial

El siguiente estudio se efectuó en el km 162+270 al km 163+219, que pertenece a la Variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo. Para acceder a la variante en estudio se llega al centro del poblado Oyón que se ubica en la progresiva 161+020,00 con coordenadas $N = 8,825,913,969$ y $E = 315,088,473$ y finaliza en la progresiva 163+219,053 con coordenadas $N = 8,826,397.991$ y $E = 316,004.725$. Parte del tramo de trazo de la variante cruza la concesión de la compañía minera Buenaventura entre el km 161+500 y km 161+750. Las dimensiones de las secciones de la vía son las siguientes: La amplitud de la calzada es de 6,60 m, y de ancho de las bermas de cada lado son de 1,20 m. La estación Oyón, que integra la Variante 2, se encuentra a una altitud aproximada de 4500 m s. n. m.; sus temperaturas mínimas absolutas se registran desde $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, y las temperaturas máximas absolutas, con valores de $15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante todo el año.

Se presenta la Figura 1 del trazo de la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo, que delimitó el estudio de investigación:

Figura 1

Trazo de la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La ubicación de la carretera Oyón-Ambo se presenta en la Figura 2:

Figura 2

Carretera Oyón-Ambo



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

1.4.2 Delimitación temporal

El inicio del proyecto investigativo fue en noviembre del 2021, se invirtió tiempo en visitar la zona de intervención, recaudar y procesar la información requerida para este estudio; la fecha de culminación fue en el mes de julio del 2022, como se muestra en el cronograma de actividades Anexo 1.

1.4.3 Delimitación del contenido

La línea de investigación corresponde a “Infraestructura para el Transporte” y el campo de investigación a “Pavimentos” de acuerdo a los lineamientos de la Universidad Católica Sedes Sapientiae.

1.4.4 Limitaciones de la investigación

La presente tesis tuvo una limitación exógena, referida a la pandemia del COVID-19 que enfrenta el país, y que todavía está en proceso de combatirla.

La población de la zona de intervención, del estudio de investigación, aún está recibiendo las dosis de vacunación del Ministerio de Salud, conforme a los registros establecidos por este órgano rector competente.

Fueron limitaciones de carácter endógeno las permanentes lluvias y nevadas de la zona andina, materia de estudio, de diciembre a marzo.

CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Morán, B. y Solís, E. (2019), realizaron una investigación con el objetivo general de diseñar la estructura de pavimento de la Av. Piedrahita - Cantón Daule utilizando las metodologías AASHTO-93 y PCA para estructuras de rodaduras rígidas que presenten seguridad y confort. El tipo de investigación fue descriptivo. Obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 6

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Espesor de losa		Material de subbase	Espesor de la subbase	
	Con bermas de concreto	Sin bermas de concreto		Con bermas de concreto	Sin bermas de concreto
AASHTO	16,5 cm	20 cm	Granular	20 cm	20 cm
PCA	15 cm	18 cm	Granular	20 cm	20 cm

Fuente: Morán, B. y Solís, E. (2019). Rediseño de la estructura del pavimento de la Av.

Piedrahita mediante los métodos AASHTO-93 y PCA del Cantón Daule, provincia del Guayas.

Finalmente, el autor concluyó que la reducción del espesor de la losa del pavimento rígido con bermas, da lugar a disminuciones en los esfuerzos de flexiones y deflexiones producidas por las cargas de los vehículos.

Cabrera, A. y Urgiles, D. (2017), realizaron una investigación con el propósito general de investigar el desempeño de los métodos AASHTO y PCA para el diseño de pavimentos rígidos. El tipo de investigación fue descriptiva-correlacional. Logrando los siguientes resultados:

Tabla 7

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Módulo de reacción de la subrasante	Espesor de losa		Material de subbase	Espesor de la subbase	
		Con bermas de concreto	Sin bermas de concreto		Con bermas de concreto	Sin bermas de concreto
AASHTO	80 MPa/m	21 cm	29,7 cm	Granular	15 cm	15 cm
PCA	80 MPa/m	13,7 cm	16 cm	Granular	15 cm	15 cm

Fuente: Cabrera, A. y Urgiles, D. (2017). Análisis de sensibilidad de parámetros en el diseño de pavimentos rígidos por los métodos de las AASHTO y PCA.

El autor concluyó que, por el método PCA, el espesor de losa depende significativamente de la reacción de la subrasante; y por el método AASHTO, los elementos de transferencia de carga son efectivos para disminuir el espesor de la capa superficial de la losa de concreto en la estructura del pavimento rígido.

Nova, J. (2017), realizó una investigación con el objetivo central de rehabilitar la estructura del pavimento rígido de la Calle 127d de Suba-Bogotá D.C. El tipo de investigación fue aplicada con alcance descriptivo. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Espesor de losa de concreto	Material de subbase	Espesor de la subbase
AASHTO	21,59 cm	Granular	15 cm
PCA	26,7 cm	Granular	15 cm

Fuente: Nova, J. (2017). Propuesta de rehabilitación del pavimento rígido en la calle 127d entre carreras 93f y carrera 96 barrio el Rubí, de la localidad de Suba-Bogotá.

El autor concluyó que, al realizar un estudio completo de toda la calle, resultarán tramos muy afectados y menos afectados que el resto.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Minchán, C. (2019) realizó una con el propósito fundamental fue comparar las estructuras de pavimento rígido, en una vía pública de Cajamarca, mediante las metodologías AASHTO Y PCA. El tipo de investigación fue descriptiva. Consiguiendo los siguientes resultados:

Tabla 9

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Espesor de losa de concreto	Material de subbase	Espesor de la subbase
AASHTO	19 cm	Granular	15 cm
PCA	23 cm	Granular	15 cm

Fuente: Minchán, C. (2019). Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca – 2019.

El autor concluyó que, se optó por la metodología PCA porque el espesor de losa de concreto obtenido se encontraba dentro de los parámetros requeridos.

Ticona, W. (2021) realizó una investigación con el objetivo general de determinar en qué medida los métodos AASTHO 1993 y PCA 84 mejoran el diseño del pavimento en la avenida Héroes del Cenepa, Ilave. El estudio fue experimental-descriptivo. Logrando los resultados siguientes:

Tabla 10

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Espesor de losa de concreto	Material de subbase	Espesor de la subbase	Juntas longitudinales	Juntas transversales
AASHTO	18.80 cm	Granular	15,3	2,60 m	3,20 m
PCA	22.70 cm	Granular	15,3	2,60 m	3,20 m

Fuente: Ticona, W. (2021). Evaluación técnica y económica de los métodos AASTHO y PCA en el diseño de pavimento rígido en la avenida Héroes del Cenépa, Ilave,2021.

Finalmente, si el valor de la base granular resulta igual por las dos metodologías, sin exceder los parámetros aceptables, el autor optó por elegir el valor adecuado y económico para el espesor de losa.

Tiznado, B. y Zavaleta, J. (2020) realizaron una investigación con el propósito general de realizar un análisis comparativo de la estructura de pavimento rígido en la carretera Matacoto, mediante las metodologías AASHTO y PCA. El tipo de investigación fue descriptivo. Obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 11

Diseño experimental de la investigación

Metodologías	Espesor de losa de concreto	Material de subbase	Espesor de la subbase
AASHTO	17 cm	Granular	15 cm
PCA	20 cm	Granular	15 cm

Fuente: Tiznado, B. y Zavaleta, J. (2020). Diseño de Pavimento Rígido aplicando los métodos AASHTO 93 y PCA en la carretera Matacoto, Yungay – Ancash – 2020.

Finalmente, el autor concluyó que se tomaron los criterios de daños por falla de erosión y fatiga del PCA para dicho procedimiento y no por pérdida de serviciabilidad de la AASHTO.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimentos

Es una agrupación de capas, una sobre la otra, construidas y diseñadas con materiales pertinentes y técnicamente compactados, que se apoyan en la subrasante de una vía proyectada a resistir los esfuerzos de cargas repetidas del tránsito vehicular.

Las funciones que deben cumplir los pavimentos, según Montejo Fonseca (2012), son: resistir las cargas impuestas por el tránsito y ante los agentes climáticos; mostrar una superficie prevista para tolerar velocidades de circulación vehicular y ofrecer seguridad vial; soportar el desgaste de las llantas de vehículos; durar el tiempo proyectado; brindar comodidad a los usuarios; respetar las condiciones de drenaje; disminuir el ruido de rodadura; ser económico; y evitar deslumbramientos y reflejos.

2.2.2 Componentes del pavimento

Los componentes del pavimento son: la subrasante, la subbase, las losas de concreto, las bermas, las cunetas, las juntas transversales y longitudinales, los pasadores y las fibras metálicas adheridas al concreto.

El pavimento de concreto reforzado (JPCP) es el más adecuado a la realidad del país porque contienen fibras metálicas incorporadas en el concreto a fin de alargar sus vidas; y porque cierran fisuras producidas por los esfuerzos de flexión de las cargas vehiculares.

Según Becerra Salas (2012) en el libro “Tópicos de Pavimentos” las vías que requieren mayor reforzamiento de acero estructural en los pavimentos son paraderos de buses, estaciones, parqueaderos industriales, pavimentos previos a peajes y curvas, entre otras.

2.2.2.1 Subrasante

La subrasante es la capa base o inferior de la estructura que podría estar compuesta por el material de terreno perfilado y compactado.

Los tipos de material granular que puede usarse como capa subrasante son: grava bien gradada (GW), grava mal gradada (GP), arena bien gradada (SW), arenas limosas (SM), limos inorgánicos (ML) y arenas arcillosas (SC), siempre que la arcilla no tenga alto nivel de plasticidad.

Para el uso de la capa subrasante ésta debe estar debidamente contorneada y apisonada entre un rango de 95 % al 100 % de la densidad máxima seca que se determina empleando el ensayo Próctor Estándar AASHTO-99.

2.2.2.2 Subbase

La subbase es la capa que cubre la subrasante, según Becerra Salas (2012), está integrada por materiales granulares de buena gradación. Para usarla se debe perfilar y compactar entre 95 % y 100 % de su densidad máxima seca empleando la prueba de Próctor Estándar con el propósito de obtener menor espesor en la carpeta de rodadura.

De acuerdo a Montejo Fonseca (2012) la subbase se caracteriza por impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento; servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento; facilitar los trabajos de pavimentación; mejorar el drenaje y reducir al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento; ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento; y mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

2.2.2.3 Carpeta de rodadura

Es la capa externa del pavimento que está en contacto con los vehículos. La carpeta puede ser de asfalto o de concreto hidráulico. La función de la carpeta de rodadura es resistir y transferir equitativamente esfuerzos atribuidos.

Los métodos de diseño de la carpeta de rodadura, a decir de Becerra Salas (2012), deben tener el módulo de rotura a flexión mayor a 42 kg/cm^2 equivalente a $f'c = 280 - 320 \text{ kg/cm}^2$ y menor a 50 kg/cm^2 debido a la rigidez excesiva y susceptibilidad a la fisuración.

Las cargas vehiculares se transmiten por medio de la superficie de rodadura, capa subbase y capa subrasante.

2.2.3 Tipo de pavimentos de concreto

2.2.3.1 Pavimentos de concreto simple sin pasadores

Según la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), los pavimentos simples sin pasadores son los que no contienen refuerzo de acero ni elementos para transferencia de carga. Los pavimentos que no contengan estructuras de acero se les pondrán el refuerzo de trabazón. Este tipo de pavimentos requieren que se emplee espaciamiento entre juntas, con losas de 6 m de largo y 3,5 m de ancho.

2.2.3.2 Pavimentos de concreto simple con pasadores

Son pavimentos contruidos con barras de acero liso ubicadas en su sección transversal con la finalidad de que transfieran las cargas de una losa a otra, disminuyendo las transformaciones, evitando los escalonamientos.

Para pavimentos de concreto simple con pasadores, la metodología PCA recomienda que las cargas vehiculares no superen los 500 Esal's (Eje Equivalente de Carga o repeticiones esperadas).

2.2.3.3 Pavimentos de concreto reforzado con juntas

Están compuestos por soportes de acero, que contienen pasadores de transmisión del peso, y mallas de acero o barras de acero electrosoldado. En base a lo considerado por ASOCM (2015), el propósito de la armadura de acero es disminuir las grietas con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y lograr que el pavimento se comporte como unidad estructural.

2.2.3.4 Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

Están formados sin juntas de contracción con el propósito de que la armadura de acero asuma todas las deformaciones.

Este tipo de pavimento tiene refuerzo de acero longitudinal y refuerzo transversal.

2.2.4 Juntas

Las juntas son los espacios que hay entre losas: tienen la función de mantener las tensiones que resiste el pavimento de concreto, evitando las fisuras y grietas irregulares.

Las juntas se dividen en 3 tipos: juntas longitudinales, juntas transversales y juntas de expansión.

2.2.4.1 Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales controlan el agrietamiento con separaciones de 2,5 m a 4,0 m de distancia. Las juntas longitudinales están conformadas por varillas de acero que evita que sus bordes se separen.

Este tipo de juntas deben tener una profundidad de la cuarta parte del espesor del pavimento.

2.2.4.2 Juntas transversales

Llamadas también de contracción, tienen la función de controlar el agrietamiento transversal al reducir los esfuerzos de contracción producidas cuando la losa se contrae y los esfuerzos que se originan por la curvatura causadas por las temperaturas y el contenido de humedad en la capa de rodadura.

La junta transversal debe tener una profundidad menor o igual a la cuarta sección del grosor de la losa de concreto.

2.2.4.3 Juntas de expansión

Tienen como objetivo reducir las tensiones de compresión, proporcionando un espacio entre losas, facilitando el adecuado movimiento del pavimento cuando se expande.

No son obligatorias cuando los agregados usados tienen las mismas características (de las juntas), la construcción se desarrolla a temperaturas normales y estas se mantienen selladas impidiendo la infiltración de materiales incompresibles.

2.2.6 Estudio de suelos para pavimentos

Para su análisis se debe tener las consideraciones siguientes: las arenas y gravas son componentes granulares o redondeadas producida de los minerales y las rocas; los limos inorgánicos son componentes de terreno de grano fino con poca plasticidad; los limos orgánicos son suelos de granos finos, con un grado medio de plasticidad, afectados con componentes orgánicos; las arcillas son fragmentos microscópicos que se originan al descomponerse químicamente de las rocas.

2.2.6.1 Clasificación de suelos AASHTO

Comprende siete grupos. Los grupos son: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7.

Los suelos que se categorizan en los grupos A-1, A-2 y A-3 son partículas de suelo que se percolan a través del tamiz N° 200 hasta el 35 %; y los suelos que se categorizan en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 pasan el tamiz N° 200 mayor que el 35 % y generalmente son limo y arcilla, como se precisa en el Manual de Carreteras – MTC, Cuadro 4.10, pág.34.

2.2.6.2 Clasificación de suelos SUCS

La clasificación de suelos SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), de acuerdo a Braja M. (2015), considera dos grandes grupos: los suelos de grano grueso y los suelos de grano fino.

El grupo de suelos de granulado grueso contiene arena y grava, pasa el tamiz N° 200 hasta el 50 %. En este grupo el prefijo de G es para suelo gravoso y S para suelo arenoso.

El grupo de los suelos de granulado fino pasa el tamiz N° 200 mayor al 50 %. En este grupo los prefijos M indican limo orgánico; C, arcilla inorgánica; O, limos orgánicos y arcillas; y Pt, lodos y suelos orgánicos.

2.2.6.3 Análisis granulométrico

Establece variedades de granos distribuidas para conocer su composición respecto a sus dimensiones o medidas. Este análisis, según Menéndez Acurio (2012), es parte de las determinaciones de suelos para carreteras, aeropuertos, presas de tierra y edificaciones, entre otras.

Con el análisis granulométrico se determina la cantidad de sedimento con partículas gruesas retenidas en la malla N° 4 y el sedimento con partículas finas en la malla N° 200.

2.2.6.4 Contenido de humedad

Muestra la cantidad de saturación de agua que tiene el suelo. De acuerdo a Menéndez Acurio (2012), el contenido de humedad muestra en porcentaje la relación del peso del agua con el peso de la muestra seca.

Se presenta la fórmula que relaciona la muestra húmeda con la muestra seca, como sigue:

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

w = Contenido de humedad expresado en porcentaje (%)

Ww = Peso de la muestra húmeda

Ws = Peso de la muestra seca

Fuente: Instituto de Construcción y Gerencia (ICG, 2012)

2.2.6.5 Límite líquido

Según Braja M. (2015), es la variación del porcentaje de contenido de humedad que se produce en el suelo al reducir la humedad de consistencia líquida a plástica, o al incrementar la humedad de consistencia plástica a líquida.

$$LL\% = \frac{w}{1.41 - 0.30 \log n}$$

Donde:

LL: Límite líquido

w: Contenido de humedad

n: Número de golpes

El instrumento de laboratorio denominado Cuchara de Casa Grande, utilizado para obtener el límite líquido, se ilustra a continuación:

Figura 3*Cuchara de Casagrande*

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

2.2.6.6 Límite plástico

El límite plástico es un ensayo que se realiza con la muestra húmeda que retiene el tamiz N° 40, humedeciendo y amasándola hasta formar pequeños cilindros de 3 mm de diámetro sin romperse. (Becerra Salas, 2012).

2.2.6.7 Índice plástico

El índice plástico es una propiedad de los suelos finos como las arcillas y los sedimentos de alta plasticidad que pasan la malla N° 200 (MTC, 2014).

2.2.6.8 Próctor

Son aparatos que sirven para compactar el suelo compuesto por moldes de 4 y 6 pulgadas; un pisón o martillo de 50,80 mm y 8 kg; tamices de 3/4 pulgadas, 3/8 pulgadas y N° 4; y se utiliza para medir la humedad óptima y la máxima densidad seca. El ensayo puede ser estático o dinámico al relacionar el contenido del agua con el peso de la muestra.

2.2.6.9 Valor de Soporte California (CBR)

Se realiza el ensayo mediante una prensa de compresión que consiste en medir la resistencia cortante del suelo en condiciones de humedad y densidad controlada con intención de cuantificar la suficiencia portante de las capas del pavimento.

Este ensayo se realiza midiendo la carga requerida para un pistón de 0,1 o 0,2 pulgadas penetrando la muestra a velocidades de 1,2 mm por minuto.

Se presenta la fórmula de CBR que relaciona las penetraciones en el suelo y en la muestra, como sigue:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga que produce 2.5 mm de penetración en el suelo}}{\text{Carga que produce 2.5 mm de penetración en la muestra patrón}}$$

(Montejo Fonseca, 2012).

2.2.6.10 Módulo de reacción de la subrasante (k)

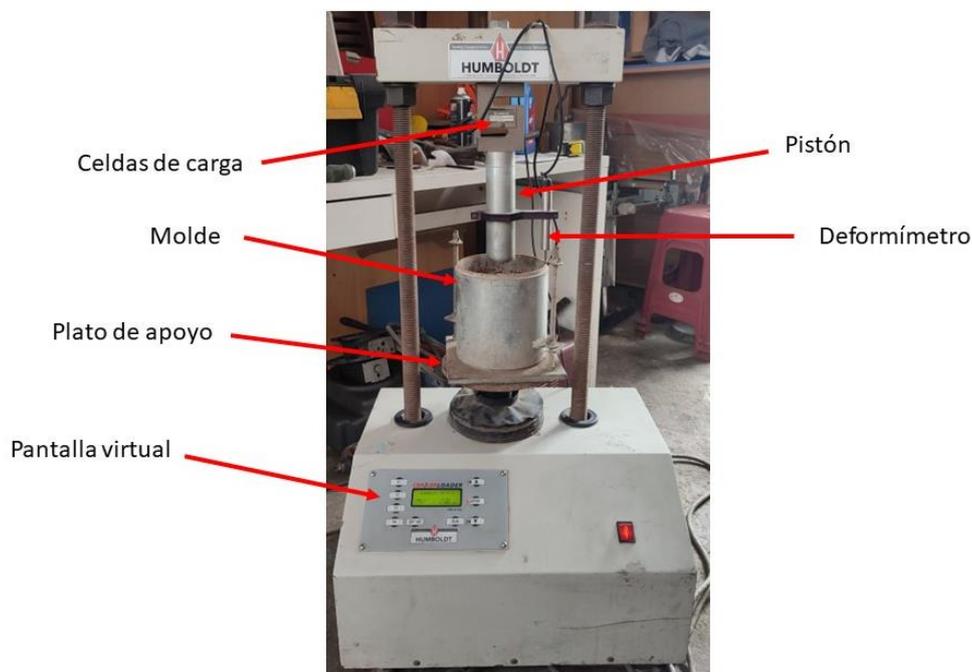
Se obtiene por medio de una lámina esférica de 51 cm de diámetro atribuyendo un esfuerzo hasta alterarlo 0,05 pulgadas.

Este módulo (k) es requerido indispensablemente por las guías AASTHO y PCA para el diseño del espesor de losa de concreto. Becerra Salas (2012).

Se presenta las características del instrumento construido para este ensayo, como sigue:

Figura 4

Prensa CBR eléctrico



Fuente: Laboratorio Estratos (2021)

2.2.6.11 Módulo resiliente

El módulo resiliente (módulo elástico) establece la relación entre la tensión y la deformación del suelo con la finalidad de obtener la elasticidad del material del terreno. Menéndez Acurio (2012).

2.2.6.12 Tránsito

Según Becerra Salas (2012), se define como la circulación constante de vehículos ligeros y vehículos pesados sobre una vía. Este parámetro se determina mediante la contabilización de vehículos con el propósito de precisar los modelos de los transportes vehiculares que recorren y las cargas que transportarán por tipo de eje.

El tránsito se clasifica por eje, vehículo, volumen, tráfico, nivel de servicio y capacidad.

El tránsito por tipos de eje: Eje simple (con una o dos ruedas sencillas en los extremos); eje tándem (con dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos); y eje trídem, (tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos).

El tránsito por vehículos: Vehículos livianos (automóviles y camionetas); y vehículos comerciales (camiones, buses y remolques).

Tránsito por volumen es la cantidad de vehículos que transitan por un sector de vía.

Tránsito promedio diario (volumen de tránsito en un tiempo determinado entre los días del período); tránsito existente es la vía en condición de trocha carrozable; tránsito atraído es la cantidad de vehículos que toman a la vía como ruta alterna; tránsito generado en una vía nueva; y tránsito inducido es la sumatoria del atraído más el generado.

El tránsito por grado de servicio hace referencia a la calidad del flujo vehicular que se cuantifica mediante los factores de velocidad, tiempo de recorrido y seguridad, entre otras.

El tránsito por capacidad es la cantidad máxima de número de vehículos que puede circular por una vía durante un tiempo determinado. Montejo Fonseca (2012).

2.2.7 Pavimentos rígidos por metodología AASHTO

Determina los procedimientos para diseñar pavimentos rígidos tomando en cuenta los parámetros siguientes: Tráfico, índice de serviciabilidad, confiabilidad, desviación estándar normal, módulo de reacción de la subrasante, módulo de rotura de concreto, coeficiente de drenaje y transferencia de carga. (MTC, 2014).

Para determinar el espesor de la losa del pavimento se presenta la fórmula siguiente:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_o + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_T) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{Mr C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(Ec/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Fuente: Manual de Carreteras, p.211, MTC

Donde:

$W_{8,2}$ = número previsto de ejes equivalentes de 8,2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño; Z_R = desviación normal estándar; S_o = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento; D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros; ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y final; P_T = índice de serviciabilidad o servicio final; Mr = resistencia media del concreto (en MPa) a flexo tracción a los 28 días

(método de carga en los tercios de luz); C_d = coeficiente de drenaje; J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas; E_c = módulo de elasticidad del concreto, en MPa; y k = módulo de reacción de la subrasante, dado en MPa/m de la superficie (base, subbase o sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

A continuación, se dará a conocer los parámetros de diseño de espesor de losa para pavimentos rígidos.

2.2.7.1 Tráfico Esal's

El tráfico Esal's (eje equivalente de carga o repeticiones esperadas) hace referencia a la cantidad de carga que soportará el pavimento en 20 años.

El MTC clasifica el tráfico en tres categorías: Caminos de bajo, medio y alto volumen de tránsito.

Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 Esal's hasta 1 000,000 Esal's, en el carril y período de diseño; caminos de medio volumen de tránsito, de 1 000,001 Esal's hasta 30 000,000 Esal's, en el carril y período de diseño; y caminos de alto volumen de tránsito, mayor a 30 000,000 Esal's, en el carril y período de diseño.

2.2.7.2 Serviciabilidad

Es la condición de servicio del pavimento en una vía que está siendo utilizada. Se clasifica en un rango de 0 (intransitable) a 5 (excelente).

El parámetro índice de serviciabilidad se considera un valor que evalúa las condiciones de confort y deterioro en la capa superficial de la losa del pavimento.

De acuerdo a (MTC, 2014) la diferencia de los índices de serviciabilidad inicial y final (Δ PSI) está en relación a la calidad de la construcción; por esta razón, la guía AASHTO recomienda el valor de 4,50 para el índice de serviciabilidad inicial (P_i) en pavimentos de concreto.

2.2.7.3 Valores de la Desviación Estándar Normal (Z_R) correspondientes a niveles seleccionados de Confiabilidad (R)

Según AASHTO (1993), la Confiabilidad (R) para pavimentos, es la probabilidad de que la serviciabilidad será mantenida a niveles adecuados, bajo condiciones ambientales y aplicaciones de carga, cumpliendo su función durante el tiempo de servicio; y la Desviación Estándar Normal (Z_R), se obtiene de las tablas que dan las Áreas Bajo la Curva Normal que corresponde al área tabulada de $-\infty$ hasta $((100-R)/100)$, donde $((100-R)/100)$ es igual a 0.

En efecto, los valores de Z_R , correspondientes a los niveles de confiabilidad R son negativos. Lo que se corrobora con el Manual de Carreteras MTC, cuadro 14.5 pág 215.

El error estándar combinado (S_o) se encuentra entre los rangos de 0,30 a 0,40 en pavimentos rígidos; y de 0,40 a 0,50 en pavimentos flexibles.

2.2.7.4 Módulo de reacción de la subrasante (k)

Se obtiene mediante la relación del módulo resiliente de la subrasante, el espesor de la base y el módulo elástico de la base.

Para obtener (k) se utiliza el nomograma de la guía AASHTO.

2.2.7.5 Módulo de rotura del concreto (S'_c)

El módulo de rotura del concreto (resistencia a la tracción del concreto por flexión), a decir de (AASHTO, 1993) controla el agrietamiento por fatiga del pavimento, causado por las cargas repetitivas vehiculares.

Este parámetro se encuentra entre los rangos de 2,800 MPa (400 psi) y 4,800 MPa (700 psi); logrando alcanzar, en concretos con alta resistencia inicial, a 8,200 MPa (1200 psi).

2.2.7.6 Coeficiente de drenaje (Cd)

Es el parámetro que hace referencia a la acción del desfogue de agua en el pavimento.

Con el propósito de que el Cd sea pertinente se debe evitar la infiltración del agua en el pavimento; diseñar un buen drenaje para remover el agua del pavimento; y estructurar un pavimento efectivo.

2.2.7.7 Transferencia de carga

La transferencia de carga (J), de acuerdo a AASHTO (1993), es un coeficiente que se emplea para diseñar pavimentos con el objetivo de transferir o distribuir las cargas vehiculares por medio de discontinuidades como juntas o grietas.

La función principal que cumple las varillas de acero liso es la de transmitir las cargas vehiculares a las losas de concreto de manera equitativa; por el contrario, sin la colocación de las varillas, la capa superficial del pavimento se deformaría.

2.2.8 Pavimentos rígidos por metodología PCA

Está fundamentado en el estudio de esfuerzos en la capa de rodadura de concreto y las deflexiones en juntas, esquinas y bordes del pavimento.

Este método considera dos criterios de análisis: Fatiga y erosión.

Criterio por fatiga: evalúa los esfuerzos generados en la superficie de rodadura; y asume que los esfuerzos inducidos de las losas de concreto deben encontrarse dentro de los límites aceptables.

Criterio por erosión: tiene el objetivo de controlar los resultados de deflexión del pavimento en zonas críticas, como esquinas y bordes, que son ocasionados por la erosión de

la capa de apoyo en estos espacios; y limitar el agrietamiento en las juntas. (Portland Cement Association, 1995).

El PCA establece los siguientes parámetros: Módulo de reacción de la subrasante, tránsito, módulo de rotura y factor de seguridad.

2.2.8.1 Módulo de reacción de la subrasante (k)

Se obtiene al relacionar el CBR con la clasificación de suelos, según el diagrama y los cuadros que presenta la guía PCA.

2.2.8.2 Tránsito

El tránsito, planteado por Montejo Fonseca (2012), es la cantidad y la magnitud de cargas por tipos de ejes que se obtienen en el período de diseño.

Los valores del tránsito se determinan por Tránsito Promedio Diario (TPD); Tránsito Promedio Diario de Vehículos Comerciales (TPDVC); y los vehículos comerciales según sus cargas por ejes.

2.2.8.3 Módulo de rotura

El módulo de rotura, planteado por (Portland Cement Association, 1995), como característica principal de resistencia a flexión, debe encontrarse entre los rangos de 4,1 MPa a 4,4 MPa con hormigones de buena calidad; y 3,8 MPa para el diseño de casos especiales.

2.2.8.4 Factor de seguridad

Los factores de seguridad que brinda la guía Portland Cement Association (1995) son: 1,2 para vías con importante volumen de tránsito vehicular sin interrupción; 1,1 carreteras y calles principales con moderado volumen de tráfico; y 1,00 vías locales y calles con mínimo volumen de tráfico.

2.3 Términos básicos

- Durabilidad: Capacidad de resistir acciones físicas, químicas, biológicas y climáticas.
- Parámetros de diseño: Factores intervinientes necesarios para llevar a cabo un diseño.
- Subrasante: Capa inferior en la que se apoya la subbase y la losa del pavimento.
- Compresión: Acción de someter presión de 2 fuerzas opuestas a un cuerpo.
- Drenaje: Eliminación natural o artificial del agua superficial o subterráneo.
- Concreto: Compuesto conformado por áridos, agua y aglomerantes que se emplea en obras de construcción.

- AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes.
- PCA: Asociación de Cemento Portland
- Capacidad de carga: Cantidad máxima de peso que puede soportar una estructura.
- Estructura: Agrupación de elementos acoplados con el fin de resistir las fuerzas que ejercen sobre ellas.
- Pavimento: Estructura constituida por varias capas sobre la subrasante que sirve para el transporte seguro y cómodo de personas y vehículos.
- Superficie de rodadura: Capa superficial del pavimento donde entra en contacto con las ruedas de los vehículos.
- Bermas: Franja longitudinal pavimentada o afirmada no destinada al uso de vehículos a no ser por circunstancias especiales.
- Flexión: Fuerza ejercida perpendicularmente sobre un elemento estructural hasta deformarlo.
- Deflexión: Deformaciones de las capas del pavimento que condiciona a la fatiga.
- Serviciabilidad: Condición en la que se califica a un pavimento después de su construcción.
- Sensibilidad de parámetros: Mide en cuánto puede influir los valores de los resultados con pequeñas variaciones en los parámetros.
- Subbase: Capa que pertenece al pavimento que sirve para reducir las deformaciones causadas por las cargas.
- Junta longitudinal: Seccionan los carriles y regulan el agrietamiento en ellas.
- Junta transversal: Se construye sobre la línea central del pavimento, en dirección transversal, con el propósito de controlar la fisuración por retracción y efectos del clima.
- Pasadores: Son varillas de acero liso que se instala en las juntas a fin de transmitir las deformaciones y las cargas.
- Bombeo: Eliminación del agua en el pavimento mediante la influencia del material fino.
- Software pavimR: Programa que sirve para diseñar tipos de pavimentos.
- Software BS-PCA: Programa que sirve para diseñar espesores de pavimentos rígidos.

- Nomograma: Gráficos o diagramas con valores reales que al unirlos sirven para determinar resultados para el diseño de pavimentos.
- Sobredimensionamiento: Agregar un resultado excesivamente al valor real.
- Desconchamiento: Falla del concreto que consiste en descascararse.
- Grietas: Abertura larga y estrecha que afecta al espesor del material.
- Losa dividida: Separación de un paño de pavimento mediante fisuras por fallas o sobrecarga.
- Ahuellamiento: Deterioro gradual de la superficie del pavimento y se manifiesta como una ondulación en las bandas de circulación.
- Hinchamiento: Abultamiento en la capa superior del pavimento que distorsiona el perfil de la carretera.
- Cunetas: Son zanjas longitudinales ubicadas en los lados de la carretera a fin de conducir el flujo del agua superficial.
- Encauzamiento: Conjunto de obras para fijar límites en el cauce de un río.
- Intemperismo: Conjunto de efectos climatológicos que alteran un material expuesto al aire libre.
- Material granular: Fracciones de rocas producidas por acciones erosivas.

CAPÍTULO III

Hipótesis y variables de la investigación

3.1 Hipótesis principal

Hipótesis principal alterna

La aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permitirán evaluar los parámetros del diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la Carretera Oyón-Ambo.

3.2 Hipótesis secundarias

Hipótesis secundaria alterna 1

Mediante la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA se comprobará la influencia en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto.

Hipótesis secundaria alterna 2

Mediante el esfuerzo de compresión se comprobará la influencia del módulo de rotura menor a 4,800 MPa para el diseño del espesor de la losa de concreto.

Hipótesis secundaria alterna 3

Mediante la absorción a la humedad se valorará la incidencia del coeficiente de drenaje en más del 25 % para el diseño de espesor de la losa de concreto.

Hipótesis secundaria alterna 4

Mediante la capacidad de carga se valorará el módulo de reacción de la subrasante menor a 100 MPa/m para el diseño del espesor de la losa de concreto.

3.3 Variables e indicadores

3.3.1 Variable independiente

La variable independiente, en una investigación explicativa, se caracteriza por ser controlada por el investigador con el propósito de conocer los efectos en la variable dependiente. (Muñoz Rocha, 2015).

En la presente investigación se consideró como variable independiente (causal): Las metodologías AASHTO y PCA.

3.3.2 Variable dependiente

La variable dependiente refleja los resultados (efectos) de una investigación que depende de lo que el investigador modifica o manipula. (Muñoz Rocha, 2015).

La variable dependiente, en el estudio de investigación, se consideró: Parámetros de diseño de la losa de concreto.

En el Anexo 2 se presenta la tabla de Operacionalización de Variables de la presente tesis.

CAPÍTULO IV

Diseño de la investigación

4.1 Diseño de ingeniería

4.1.1 Nivel o alcance

El nivel o alcance está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales, es decir, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

El presente estudio investigativo fue de nivel explicativo porque permitió demostrar que la aplicación de las metodologías materia de investigación permiten evaluar los parámetros de diseño en la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.

En esta investigación se efectuaron los análisis y ensayos necesarios para el diseño del espesor de losa; se realizó el conteo vehicular para poder determinar el número de vehículos que transitan por la vía y obtener la cantidad de carga que soportará el pavimento en todo el periodo de diseño; y se hicieron las respectivas perforaciones (calicatas) para el estudio de mecánica de suelos, que sirvieron para obtener el tipo de calidad del material que se utilizó.

El enfoque cuantitativo está compuesto por el análisis y conformación de datos cuantitativos, que se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales. (Bernal Torres, 2010).

El enfoque de la presente investigación fue cuantitativo porque se buscó examinar las consecuencias de las variables en forma numérica y mediante reportes investigativos para determinar la validez y confiabilidad del estudio.

4.1.2 Diseño

El diseño es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

El diseño de este proyecto de tesis es experimental porque demuestra la importancia de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño en la losa de concreto de la carretera Oyón-Ambo. Para el efecto, se realizaron los ensayos de laboratorio

siguientes: análisis granulométrico, límites de consistencia, contenido de humedad, proctor modificado y CBR.

4.1.3 Población o universo investigado

El universo es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. (Arias Odón, 2012).

La población o universo investigado de esta tesis fue el tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo, que está conformado por una vía de 2 carriles, con calzada de 6,600 m de ancho y una longitud de 48,940 km de distancia.

4.1.4 Muestra

Es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuarán la medición y la observación de las variables objeto de estudio. (Bernal Torres, 2010).

La muestra del proyecto de investigación fue del km 162+270 al km 163+219 de la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo, que está constituido por calzada de 6,60 m de ancho, pendiente máxima de 9,00 %, sobreebanco de compactación de 0,50 m y longitud de 2,200 km de distancia.

4.1.5 Métodos, técnicas e instrumentos del proyecto

4.1.5.1 Métodos del proyecto

Los métodos que se utilizan en el estudio investigativo corresponden a los procedimientos de AASHTO que sirven para los diseños de pavimentos de asfalto y de concreto; y de PCA que se emplean exclusivamente para losas de pavimento de concreto.

4.1.5.2 Técnicas del estudio

Las técnicas responden a la pregunta “cómo hacer” y consiste en aplicar el método donde se requiere. Hay técnicas para todas las actividades humanas que tienen como fin alcanzar ciertos objetivos, aunque en el caso del método científico, las técnicas son prácticas conscientes y reflexivas dirigidas al apoyo del método. (Baena Paz, 2017).

Las técnicas que se emplearon en este estudio se clasifican en: campo, laboratorio y gabinete.

En Campo:

- Observación para determinar el estado del terreno.
- Extracción del material del suelo por medio de calicatas.
- Estudio del tráfico vehicular.

En Laboratorio:

- Ensayos de análisis granulométricos que nos permitirá clasificar el suelo según la norma SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).
- Ensayos de límites de consistencia.
- Ensayos de contenido de humedad de los agregados.
- Ensayos de compactación de Próctor Modificado.
- Ensayos de valor de soporte de California o CBR.

En Gabinete

- Determinación de los parámetros de diseño de pavimentos propuestos por las guías asumidas para su desarrollo, influencia y planteamiento del grosor de losa de concreto.
- Diseño del grosor de losa del pavimento rígido por las metodologías empleadas.
- Adecuación de los parámetros de diseño a fin de evaluar la sensibilidad y calcular el espesor de la losa con sus respectivos porcentajes de falla y fatiga.
- Corroboración de los diseños del espesor de la estructura del pavimento rígido con los programas o softwares “pavimR” y “BS-PCA” con la finalidad de utilizar estas herramientas para el modelamiento y dar mayor confiabilidad a los diseños planteados por las guías mencionadas.
- Relación entre los parámetros de diseño y el espesor de la losa por cada metodología con el propósito de obtener referentes adecuados que servirán para conseguir mayor resistencia y evitar el sobredimensionamiento.

4.1.5.3 Instrumentos del estudio

Los instrumentos que se aplicaron para recoger los datos hacen referencia a los medios que utiliza el investigador para aproximarse a los fenómenos que son cuestión de estudio y sustraer información. Es evidente que los instrumentos pueden ir desde los materiales de medición hasta el instrumental más sofisticado para obtener cualquier tipo de información. (Muñoz Rocha, 2015).

Los instrumentos que se utilizaron en este estudio son los siguientes:

- Fichas de inspección de campo.
- Fichas de análisis de material de terreno.
- Fichas de ensayos de laboratorio.
- Fichas para el conteo vehicular.
- Fichas de evaluaciones climatológicas.
- Fichas de inspecciones técnicas.
- Tablas de niveles de confiabilidad para carreteras.
- Tablas de confiabilidad y de desviación estándar normal.
- Nomogramas para la estimación del módulo compuesto de la reacción de la subrasante.
- Nomograma de corrección del módulo efectivo de reacción de la subrasante por la posible pérdida de soporte de la subbase.
- Tabla de coeficientes de transferencia de carga por tipos de pavimentos.
- Manual de Carreteras – MTC.
- Norma Técnica Peruana de Pavimentos.
- Software “pavimR”
- Software “BS-PCA”
- Estadística inferencial: Uso del nivel de Confianza.
- Estadística descriptiva: Uso de la Desviación Estándar Normal.

CAPÍTULO V

Desarrollo experimental

5.1 Estudio, ensayos y diseño

5.1.1 Estudio del tráfico vehicular

Este estudio se realizó en el km 000+030 de la carretera Oyón-Ambo.

Se hizo un análisis del tráfico, de vehículos livianos y pesados, durante una semana, dando inicio el jueves 2/12/2021 al miércoles 8/12/2021; y se contabilizaron los vehículos que iban de Ichuchacua a desviación Cerro de Pasco y de desviación Cerro de Pasco a Ichuchacua, como se ilustra en las Figuras 5 y 6:

Figura 5

Conteo de vehículos livianos



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Figura 6*Conteo de vehículos pesados*

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Los resultados fueron los siguientes: 648 vehículos livianos a la semana (342 autos, 280 camionetas y 26 microbuses); y 805 vehículos pesados a la semana (61 ómnibus, 296 camiones, 333 semi tráilers y 115 tráilers), como sigue:

Tabla 12

Estudio de Tránsito

ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL km 162+270 al km 163+219 DE LA CARRETERA OYÓN-AMBO UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE																					
		ESTUDIO: TRÁNSITO VEHICULAR																			
		IMD SEMANAL																			
DÍA	DIRECCIÓN	VEHÍCULOS LIVIANOS						VEHÍCULOS PESADOS													
		AUTO	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus		Camión				Semi Tráiler				Tráiler			
				Pick Up	Panel	Rural		B2	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	>= T3S3	C2R2	C2R3	C3R2	>= C3R3
Jueves 02/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	18	15	13	1	3	3	8	9	12	0	7	2	1	0	0	8	0	2	0	1
	Dv. C.P - Ichu	13	12	12	0	5	1	9	6	6	0	9	4	5	1	0	8	0	2	1	0
	Total	31	27	25	1	8	4	17	15	18	0	16	6	6	1	0	16	0	4	1	1
Viernes 3/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	9	11	13	3	8	2	8	11	11	3	2	2	6	0	3	11	1	6	3	0
	Dv. C.P - Ichu	15	7	12	1	4	0	2	15	8	4	3	3	6	0	5	2	1	7	1	0
	Total	24	18	25	4	12	2	10	26	19	7	5	5	12	0	8	13	2	13	4	0
Sábado 4/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	21	19	9	0	7	2	3	9	12	1	9	0	3	0	1	13	0	0	0	0
	Dv. C.P - Ichu	17	9	9	1	3	0	3	9	13	1	4	1	2	0	0	5	0	3	0	0
	Total	38	28	18	1	10	2	6	18	25	2	13	1	5	0	1	18	0	3	0	0
Domingo 5/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	10	10	8	7	8	2	2	7	3	1	6	7	0	0	4	6	6	1	1	2
	Dv. C.P - Ichu	13	13	10	4	5	2	2	13	1	1	4	6	0	3	6	5	9	5	2	1
	Total	23	23	18	11	13	4	4	20	4	2	10	13	0	3	10	11	15	6	3	3
Lunes 6/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	12	8	8	3	7	1	2	7	10	0	5	9	0	2	3	7	5	1	0	1
	Dv. C.P - Ichu	11	17	8	6	9	3	4	5	7	1	3	7	1	2	3	5	7	1	1	4
	Total	23	25	16	9	16	4	6	12	17	1	8	16	1	4	6	12	12	2	1	5
Martes 7/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	10	6	12	4	5	3	5	12	14	1	4	5	7	0	2	13	2	7	1	0
	Dv. C.P - Ichu	9	6	11	9	4	3	4	19	6	0	4	2	3	0	3	6	3	3	0	0
	Total	19	12	23	13	9	6	9	31	20	1	8	7	10	0	5	19	5	10	1	0
Miércoles 8/12/2021	Ichu. - Dv. C.P	17	7	11	8	8	2	5	20	5	0	7	5	8	1	2	8	2	4	4	7
	Dv. C.P - Ichu	19	8	10	5	6	2	4	14	17	1	9	8	8	0	1	7	0	4	0	3
	Total	36	15	21	13	14	4	9	34	22	1	16	13	16	1	3	15	2	8	4	10
TOTAL PARCIAL		194	148	146	52	82	26	61	156	125	14	76	61	50	9	33	104	36	46	14	19
TOTAL GENERAL		648						805													

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Durante el año 2021, el índice medio diario anual (IMDA) fue de 82 vehículos livianos diarios y 109 vehículos pesados diarios; con un total de 68 760 vehículos que transitaron durante todo ese año, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 13*Índice Medio Diario Anual*

IMD		ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL km 162+270 AL km 163+219 DE LA CARRETERA OYÓN-AMBO																							
		UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE																							
		Factor de corrección						Veh. Livianos				0,884													
		estacional (fe)						Veh. Pesados				0,945													
		IMD SEMANAL																							
		VEHÍCULOS LIVIANOS						VEHÍCULOS PESADOS																	
DIRECCIÓN		Camionetas						Ómnibus				Camión					Semi Tráiler					Tráiler			
		AUTO	S. Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	>= T3S3	C2R2	C2R3	C3R2	>= C3R3				
IMDS	Ichu. - Dv. C.P	13,86	10,86	10,57	3,71	6,57	2,14	4,71	10,71	9,57	0,86	5,71	4,29	3,57	0,43	2,14	9,43	2,29	3,00	1,29	1,57				
	Dv. C.P - Ichu	13,86	10,29	10,29	3,71	5,14	1,57	4,00	11,57	8,29	1,14	5,14	4,43	3,57	0,86	2,57	5,43	2,86	3,57	0,71	1,14				
	Total	27,71	21,14	20,86	7,43	11,71	3,71	8,71	22,29	17,86	2,00	10,86	8,71	7,14	1,29	4,71	14,86	5,14	6,57	2,00	2,71				
IMDA	Ichu. - Dv. C.P	12,25	9,60	9,35	3,28	5,81	1,89	4,46	10,13	9,05	0,81	5,40	4,05	3,38	0,41	2,03	8,91	2,16	2,84	1,22	1,49				
	Dv. C.P - Ichu	12,25	9,09	9,09	3,28	4,55	1,39	3,78	10,94	7,83	1,08	4,86	4,19	3,38	0,81	2,43	5,13	2,70	3,38	0,68	1,08				
	Total	24,50	18,69	18,44	6,57	10,36	3,28	8,24	21,06	16,88	1,89	10,26	8,24	6,75	1,22	4,46	14,04	4,86	6,21	1,89	2,57				
TOTAL PARCIAL		25	19	18	7	10	3	8	21	17	2	10	8	7	1	5	14	5	6	2	3				
2021	Σ TOTAL PARCIAL	82						109																	
TOTAL GENERAL		68760																							

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La tasa anual de crecimiento para vehículos livianos fue de 1,450; y la tasa anual de crecimiento de vehículos pesados de 3,070. Los años que transcurrirán del estudio a la ejecución del proyecto se consideraron 4 años.

Con las tasas anuales de crecimiento de vehículos livianos y pesados se calculó el tránsito proyectado al año 2026.

$$T_{on} = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

T_n: Tráfico que se proyecta por año “n” en veh/día; T_o: Tráfico presente (año base) en veh/día; n: Años de fase de diseño; y r: Tasa anual del aumento del tráfico.

En la variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón-Ambo, el tránsito total proyectado para el año 2026 será de 85 vehículos livianos diarios y 119 vehículos pesados diarios, como sigue:

Tabla 14

IMDA proyectado para el año 2026

IMDA 2026		IMDA																				
		VEHÍCULOS LIVIANOS						VEHÍCULOS PESADOS														
		AUTO	S. Wagon	Camionetas			Micro	Ómnibus		Camión				Semi Tráiler					Tráiler			
				Pick Up	Panel	Rural		B2	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	≥ T3S3	C2R2	C2R3	C3R2	≥ C3R3	
TOTAL PARCIAL		25,58	19,53	19,21	6,89	10,75	3,45	8,98	23,10	18,50	2,08	11,28	8,98	7,34	1,31	4,93	15,33	5,37	6,79	2,08	2,85	
TOTAL GENERAL		85						119														

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La elaboración de las tablas “ESTUDIO DE TRÁNSITO VEHICULAR DEL km 162+270 AL km 163+219 DE LA CARRETERA OYÓN-AMBO” están comprendida por transporte liviano (autos, camionetas y micros); y transporte pesado (camiones, semi tráilers y tráilers).

El listado de la composición de la configuración vehicular, según la nomenclatura de la Tabla de Pesos y Medidas de SUTRAN (Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Cargas y Mercancías), aplicada en el estudio investigativo, se presenta a continuación:

Listado de la configuración vehicular empleado en el estudio

T2S1: Eje tándem en el camión + eje simple con rueda doble en el semirremolque; T2S2: Eje tándem en el camión + 2 ejes con rueda doble en el semirremolque; T2S3: Eje tándem en el camión + 3 ejes con rueda doble en el semirremolque; T3S1: Eje trídem con 1 eje de rueda simple y 1 ejes de rueda doble en el camión + 1 eje con rueda doble en el semirremolque; T3S2: Eje trídem con 1 eje de rueda simple y 2 ejes de rueda doble en el camión + 2 ejes con rueda doble en el semirremolque; T3S3: Eje trídem con 1 eje de rueda simple y 2 ejes de rueda doble en el camión + 3 ejes de rueda doble en el semirremolque; C2R2: Eje tándem con 1 eje de rueda simple y 1 eje de rueda doble en el camión + 2 ejes de rueda doble en el remolque; C2R3: Eje tándem con 1 eje de rueda simple y 1 eje de rueda doble en el camión + 3 ejes de rueda doble en el remolque; C3R2: Eje trídem de 1 eje de rueda simple y 2 ejes de rueda doble en el camión + 2 ejes de rueda doble en el remolque; y C3R3: Eje trídem con 1 eje de rueda simple y 2 ejes de rueda doble en el camión + 3 ejes de rueda doble en el remolque.

5.1.2 Ensayos de laboratorio

Se obtuvieron muestras en la vía donde se realizó el proyecto investigativo con un fondo de 1,50 m tal como indica el MTC. En esta vía se realizó la excavación de 2 calicatas a una distancia de 920 m con la finalidad de recoger las muestras necesarias y obtener los resultados requeridos para el boceto de pavimento por las metodologías AASHTO y PCA.

Figura 7

Muestras del terreno de la calicata 1 y calicata 2



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.2.1 Calicata 1: km 162+280

- Análisis granulométrico

Se realizó una calicata hasta una profundidad de 0,20 m por el inicio de estratos rocosos que limitaron u obstaculizaron la continuación de la excavación.

Se hizo el análisis de granulometría, obteniendo el porcentaje no retenido por cada tamiz, como se presenta en la Tabla 15:

Tabla 15

Ensayo granulométrico – Calicata 1

Tamiz	Porcentaje no retenido
pulg	%
2"	100
1 1/2"	93,73
1"	79,05
3/4"	74,19
1/2"	64,96
3/8"	57,74
Nº 4	40,63
Nº 8	29,32
Nº 10	27,61
Nº 16	22,58

Fuente: Propia

Realizando la catalogación de suelos dada por el NTP 339,133 resultó que de acuerdo a la clasificación SUCS el tipo de suelo fue de Grava arcillosa con mezclas de grava, arena y arcilla (GC); y por la clasificación AASHTO fue A-2-4(0) – Bueno, como se presenta a continuación:

Figura 8

Ensayo granulométrico de calicata 1



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Límite de consistencia

Se desarrolló la experimentación tamizando la muestra de agregados finos hasta la malla N° 200. Para dicho ensayo se utilizó el instrumento de Casagrande y se formó con la muestra húmeda un tubo de 3 mm de diámetro, obteniendo como resultado 22,00 % de L.L; 14,00 % de L.P; y 8,00 % de I.P, como sigue:

Figura 9

Ensayo de límite de consistencia de la calicata 1



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Contenido de humedad

Efectuando el ensayo, se obtuvo 2,70 % de humedad del suelo, como se presenta:

Figura 10

Ensayo de contenido de humedad de la calicata 1



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- **Próctor modificado**

Para el desarrollo de la prueba fue necesario separar 4 muestras de diferentes porcentajes de agua.

Mediante el ensayo de Próctor modificado se obtuvo que la Máxima Densidad Seca (M.D.S) fue $2,204 \text{ g/cm}^3$ y la humedad óptima de 7,90 %.

Se ilustra el ensayo de Próctor modificado, en la Figura 11:

Figura 11

Ensayo de Próctor modificado de la calicata 1



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- **CBR**

Con el material recogido de las calicatas se compactó en sus moldes, sumergió en agua y aplicó punzonamiento para evaluar la capacidad portante del terreno.

El valor de CBR al 100 % de la M.D.S fue igual a 41,60 %; y al 95,00 % de la M.D.S, igual a 34,10 %.

Se detalla el ensayo de CBR realizado, en la Figura 12:

Figura 12*Ensayo de CBR de la calicata 1*

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.2.2 Calicata 2: km 163+200

Profundidad: 0,00 – 0,20 m

- Análisis granulométrico

Para la realización del ensayo, se extrajeron las muestras a una profundidad de 0,20 m con el fin de descartar material de relleno en la superficie del terreno; y se clasificaron según el tamaño de las muestras. Se hizo el análisis granulométrico por tamizado, obteniendo el porcentaje no retenido por cada tamiz, como se muestra en la Tabla 16:

Tabla 16*Ensayo granulométrico – Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m*

Tamiz	Porcentaje no retenido
pulg	%
2"	100
1 1/2"	95,24
1"	84,46
3/4"	78,15
1/2"	67,43
3/8"	61,65
Nº 4	48,98
Nº 8	40,70
Nº 10	39,25
Nº 16	34,51
Nº 20	32,30
Nº 30	30,17
Nº 40	27,87
Nº 50	25,82
Nº 80	22,95
Nº 100	21,95
Nº 200	19,32

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La catalogación de suelos dada por el NTP 339,133 resultó que por medio de la clasificación SUCS el tipo de suelo es Grava arcillosa con arena (GC), y mediante AASHTO es A-2-4(0) – Bueno, como sigue:

Figura 13

Ensayo granulométrico de calicata 2 de 0,00 m a 0,20 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Límite de consistencia

Por medio de este ensayo, se efectuó el tamizado de la muestra de agregados finos hasta la malla N° 200. Para dicho ensayo se utilizó el instrumento de Casagrande y se formó con la muestra húmeda un tubo de 3 mm de diámetro, obteniendo como resultado 21,00 % de L.L; 14,00 % de L.P; y 7,00 % de I.P, como se ilustra:

Figura 14

Ensayo de límite de consistencia de Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Contenido de humedad

Realizando el ensayo, se obtuvo que el suelo contiene 3,10 % de contenido de humedad equivalente, como sigue:

Figura 15

Ensayo de contenido de humedad de Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Próctor modificado

Mediante el ensayo de Próctor modificado se obtuvo que la máxima densidad seca (M.D.S) fue $2,230 \text{ g/cm}^3$ y la humedad óptima de 7,00 %. Se ilustra lo descrito en la Figura 16:

Figura 16

Ensayo de Próctor modificado en la Calicata 2, de 0,00 m a 0,20 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- CBR

Se desarrolló el ensayo con el fin de evaluar la resistencia del terreno.

El valor de CBR, utilizando el pistón de 0,2 pulgadas, al 100 % de la M.D.S fue igual a 86,90 %; y al 95 % de la M.D.S, igual a 50,70 %.

Profundidad: 0,20 m a 1,50 m

- Análisis granulométrico

Se obtuvo el porcentaje no retenido por cada tamiz, como se presenta en la Tabla 17:

Tabla 17*Ensayo granulométrico – Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m*

TAMIZ	Porcentaje no retenido
pulg	%
3"	100
2"	85,22
1 ½"	83,01
1"	74,51
¾"	69,92
½"	62,40
3/8"	57,23
Nº 4	46,73
Nº 8	38,95
Nº 10	37,53
Nº 16	31,57
Nº 20	29,10
Nº 30	25,49
Nº 40	22,78
Nº 50	20,62
Nº 80	19,11
Nº 100	19,00
Nº 200	18,44

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La clasificación del suelo dada por el NTP 339,133 resultó que mediante la clasificación SUCS fue Grava arcillosa con arena (GC); y mediante AASHTO, A-2-4(0) – Bueno. Se muestra el ensayo granulométrico en la Figura 17:

Figura 17

Ensayo granulométrico de calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Límite de consistencia

Se realizó el tamizado de la muestra de agregados finos hasta la malla N° 200. Para dicho ensayo se utilizó el instrumento de Casagrande y se formó con la muestra húmeda un tubo de 3 mm de diámetro, obteniendo como resultado 25,00 % de L.L; 17,00 % de L.P; y 8,00 % de I.P. Se presenta el ensayo de límite de consistencia en la Figura 18:

Figura 18

Ensayo de límite de consistencia de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Contenido de humedad

Para su aplicación, se obtuvo que el suelo contiene 3,10 % de contenido de humedad equivalente, como sigue:

Figura 19

Ensayo de contenido de humedad de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Próctor modificado

Después de los ensayos realizados, se determinó que la máxima densidad seca (M.D.S) fue $2,186 \text{ g/cm}^3$ y la humedad óptima de 6,00 %. Como se ilustra en la Figura 20:

Figura 20

Ensayo de Próctor modificado de Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- CBR

La prueba se desarrolló con el fin de evaluar la capacidad portante del terreno. El resultado del ensayo, utilizando el pistón de 0,2 pulgadas, al 100 % de la M.D.S fue de 77,80 %; y al 95 % de la M.D.S fue de 47,70 %. Se ilustra el ensayo de CBR en la Figura 21:

Figura 21

Ensayo de CBR de la Calicata 2, de 0,20 m a 1,50 m



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.3 Metodología AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos

Se aplicaron los procedimientos mediante la metodología AASHTO-93 donde se espera una eficiente capa de rodadura y que soporte los niveles significativos de tráfico.

5.1.3.1 Cálculo de Ejes Equivalentes (Esal's)

Para determinar los Ejes Equivalentes se empleó la siguiente fórmula:

$$W_{8,2\text{tn}} = 365 \times \Sigma(\text{EE} \times \text{IMDA}) \times \text{Fca} \times \text{Fd} \times \text{Fc}$$

Donde:

$W_{8,2\text{tn}}$: Número de Ejes Equivalentes de 8,2 toneladas; IMDA: Índice Medio Diario Anual; Fca: Factor Crecimiento Acumulado; Fd: Factor Direccional; y Fc: Factor Carril.

- Periodo de diseño

Respecto a las características de la vía, por recomendación de la guía AASHTO, se tomó una etapa de servicio de 20 años.

- Espesor de losa asumido

Tabla 18*Relación de tipos de ejes por cargas para Ejes Equivalentes*

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA 2026	Tipo de Eje	Número de Ruedas	Carga Eje Tn	Tipo de EE	EE (8.2 tn) Rígido	EE*IMDA Rígido		
Vehículos Ligeros	Auto	1 Eje	25,580	Simple	2	1	EES1	0,001	0,011	
		2 Eje	25,580	Simple	2	1	EES1	0,001	0,011	
	S. Wagon	1 Eje	19,530	Simple	2	1	EES1	0,001	0,009	
		2 Eje	19,530	Simple	2	1	EES1	0,001	0,009	
	Pick Up	1 Eje	19,212	Simple	2	1	EES1	0,001	0,008	
		2 Eje	19,212	Simple	2	1	EES1	0,001	0,008	
	Panel	1 Eje	6,891	Simple	2	1	EES1	0,001	0,003	
		2 Eje	6,891	Simple	2	1	EES1	0,001	0,003	
	Rural	1 Eje	10,755	Simple	2	1	EES1	0,001	0,005	
		2 Eje	10,755	Simple	2	1	EES1	0,001	0,005	
	Micros	1 Eje	3,446	Simple	2	1	EES1	0,001	0,002	
		2 Eje	3,446	Simple	2	1	EES1	0,001	0,002	
	Ómnibus	B2	1 Eje	8,979	Simple	2	7	EES1	1,273	11,428
			2 Eje	8,979	Simple	4	11	EES2	3,335	29,942
Camión	C2	1 Eje	23,104	Simple	2	7	EES1	1,273	29,407	
		2 Eje	23,104	Simple	4	11	EES2	3,335	77,046	
	C3	1 Eje	18,505	Simple	2	7	EES1	1,273	23,554	
		2 Eje	18,505	Tándem	8	18	EETA2	3,458	63,989	
	C4	1 Eje	2,080	Simple	2	7	EES1	1,273	2,648	
		2 Eje	2,080	Trídem	10	23	EETR1	3,685	7,667	
Semi Tráiler	T2S1	1 Eje	11,278	Simple	2	7	EES1	1,273	14,35	
		2 Eje	11,278	Simple	4	11	EES2	3,335	37,61	
		3 Eje	11,278	Simple	4	11	EES2	3,335	37,610	
	T2S2	1 Eje	8,979	Simple	2	7	EES1	1,273	11,428	
		2 Eje	8,979	Simple	4	11	EES2	3,335	29,942	
		3 Eje	8,979	Tándem	8	18	EETA2	3,458	31,048	
	T2S3	1 Eje	7,336	Simple	2	7	EES1	1,273	9,338	
		2 Eje	7,336	Simple	4	11	EES2	3,335	24,465	
		3 Eje	7,336	Trídem	12	25	EETR2	4,165	30,555	

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Tabla 18 A*Relación de tipos de ejes por cargas para Ejes Equivalentes*

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA 2026	Tipo de Eje	Número de Ruedas	Carga Eje Tn	Tipo de EE	EE (8.2 tn) Rígido	EE*IMDA Rígido	
Semi Tráiler	1 Eje	1,314	Simple	2	7	EES1	1,273	1,672	
	T3S1	2 Eje	1,314	Tándem	8	18	EETA2	3,458	4,544
		3 Eje	1,314	Simple	4	11	EES2	3,335	4,382
		1 Eje	4,927	Simple	2	7	EES1	1,273	6,272
	T3S2	2 Eje	4,927	Tándem	8	18	EETA2	3,458	17,039
		3 Eje	4,927	Tándem	8	18	EETA2	3,458	17,039
		1 Eje	15,329	Simple	2	7	EES1	1,273	19,512
	> = T3S3	2 Eje	15,329	Tándem	8	18	EETA2	3,458	53,009
		3 Eje	15,329	Trídem	12	25	EETR2	4,165	63,846
Tráiler	1 Eje	5,365	Simple	2	7	EES1	1,273	6,829	
	C2R2	2 Eje	5,365	Simple	4	11	EES2	3,335	17,892
		3 Eje	5,365	Simple	4	11	EES2	3,335	17,892
		4 Eje	5,365	Simple	4	11	EES2	3,335	17,892
		1 Eje	6,789	Simple	2	7	EES1	1,273	8,641
	C2R3	2 Eje	6,789	Simple	4	11	EES2	3,335	22,639
		3 Eje	6,789	Simple	4	11	EES2	3,335	22,639
		4 Eje	6,789	Tándem	8	18	EETA2	3,458	23,475
		1 Eje	2,080	Simple	2	7	EES1	1,273	2,648
	C3R2	2 Eje	2,080	Tándem	8	18	EETA2	3,458	7,194
		3 Eje	2,080	Simple	4	11	EES2	3,335	6,938
		4 Eje	2,080	Simple	4	11	EES2	3,335	6,938
		1 Eje	2,847	Simple	2	7	EES1	1,273	3,624
	> = C3R3	2 Eje	2,847	Tándem	8	18	EETA2	3,458	9,845
		3 Eje	2,847	Simple	4	11	EES2	3,335	9,494
		4 Eje	2,847	Tándem	8	18	EETA2	3,458	9,845
Σ EE x IMDA =								853,847	

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

El número de Ejes Equivalentes se calculó con la siguiente ecuación:

$$W_{8,2 \text{ tn}} = 365 \times \Sigma(\text{EE} \times \text{IMDA}) \times \text{Fca} \times \text{Fd} \times \text{Fc}$$

Reemplazando y procesando los datos, se obtiene:

$$W_{8,2 \text{ tn}} = 4\,640\,532,810$$

5.1.3.2 Valores de la Desviación Estándar Normal (Z_R) correspondientes a niveles seleccionados de Confiabilidad (R)

De acuerdo a la guía AASHTO se realizaron los procedimientos siguientes:

- Selección del nivel confiabilidad respecto al Esal's obtenido;
- Desarrollo de la fórmula $((100-R)/100)$;
- Uso de la tabla de Áreas Bajo la Curva Normal, correspondiente a valores que se encuentra entre $-\infty$ (- infinito) hasta 0 (cero); y
- Relación del resultado de la fórmula con la tabla de Áreas Bajo la Curva Normal para obtener la Desviación Estándar Normal.

Resultados:

$$\text{Esal's} = 4\ 640\ 532,810$$

$$R = 85 \%$$

$$Z_R = -1,036$$

$$S_o = 0,320$$

5.1.3.3 Índice de serviciabilidad

Según los Ejes Equivalentes, los valores que recomienda el Manual de Carreteras para esta investigación con un tipo de tráfico de Tp7 son:

Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i): 4,300

Índice de Serviciabilidad Final (P_f): 2,500

Diferencia de Serviciabilidad (ΔPSI): 1,800

5.1.3.4 Transferencia de carga (J)

Empleando los criterios de la Guía AASHTO, en el diseño del pavimento, se aplicaron pasadores que servirán para llevar a cabo la transferencia de carga; en consecuencia, el valor tomado fue:

$$J = 2,80$$

5.1.3.5 Coeficiente de drenaje (Cd)

Se tomó en cuenta el clima y las temporadas de precipitación en la zona de investigación. Por esta razón, el tiempo que estará expuesto el pavimento a las lluvias será mayor a 25 %, ya que las épocas húmedas duran 4 meses, iniciando en diciembre y finalizando en marzo; además, la calidad de drenaje será buena porque la lluvia tarda 1 día en evacuar.

El coeficiente de drenaje será:

$$C_d = 1$$

5.1.3.6 Módulo resiliente (Mr)

En el trabajo de campo, al realizar las calicatas, se recogieron las muestras necesarias para el ensayo de CBR. En el km 162+280 a una profundidad de 0,20 m por encontrar estratos rocosos, se obtuvo como resultado del ensayo CBR 29,10 %; en el km 163+200, a una profundidad de 0,20 m, 29,40 %; y a 1,50 m de profundidad, 38,90 %.

El módulo resiliente se consiguió aplicando la siguiente fórmula:

$$Mr = 2555 \times CBR^{0,64}$$

Se presentan los valores obtenidos del Módulos Resiliente en la Tabla 19:

Tabla 19

CBR de diseño y módulos resiliente

Ubicación km	CBR Diseño (%)	Mr (ksi)
162+280	29,10	22,10
163+200	29,40	22,20
163+200	38,90	26,60
Promedio	32,50	23,60

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Donde:

ksi = kilolibras / pulgadas²; 1 ksi = 6,895 MPa

5.1.3.7 Pérdida de soporte (Ls)

De acuerdo al estudio, la vía estará expuesta a bajas temperaturas y a temporadas de humedad; por lo que, se prevé adicionar mezclas de agregado con cemento.

La pérdida de soporte será de:

$$Ls = 1$$

5.1.3.8 Módulo de reacción de la subrasante (k)

- **Módulo de elasticidad de la base**

El material que se pondrá debajo de la losa de concreto será de base granular con un valor de 3000 kg/cm². Al realizar el proceso se obtuvo:

$$ME(b) = 42\ 669 \text{ psi}$$

Donde:

psi = libras / pulgadas²; 1 psi = 0,007 MPa

Es pertinente destacar que el presente estudio investigativo asumió el valor de 15 cm (6 pulgadas) para el grosor de la superficie de rodadura en el diseño del pavimento.

- **Módulo compuesto de reacción de la subrasante (k_{∞})**

Se usó el Nomograma de la guía AASHTO para hallar el módulo compuesto de reacción de la subrasante (k_{∞}). De la articulación del módulo elástico de la base, espesor de base y módulo resiliente de la subrasante, se determinó el módulo compuesto de la reacción de la subrasante, expresado en:

$$k_{\infty} = 1\ 150 \text{ pci}$$

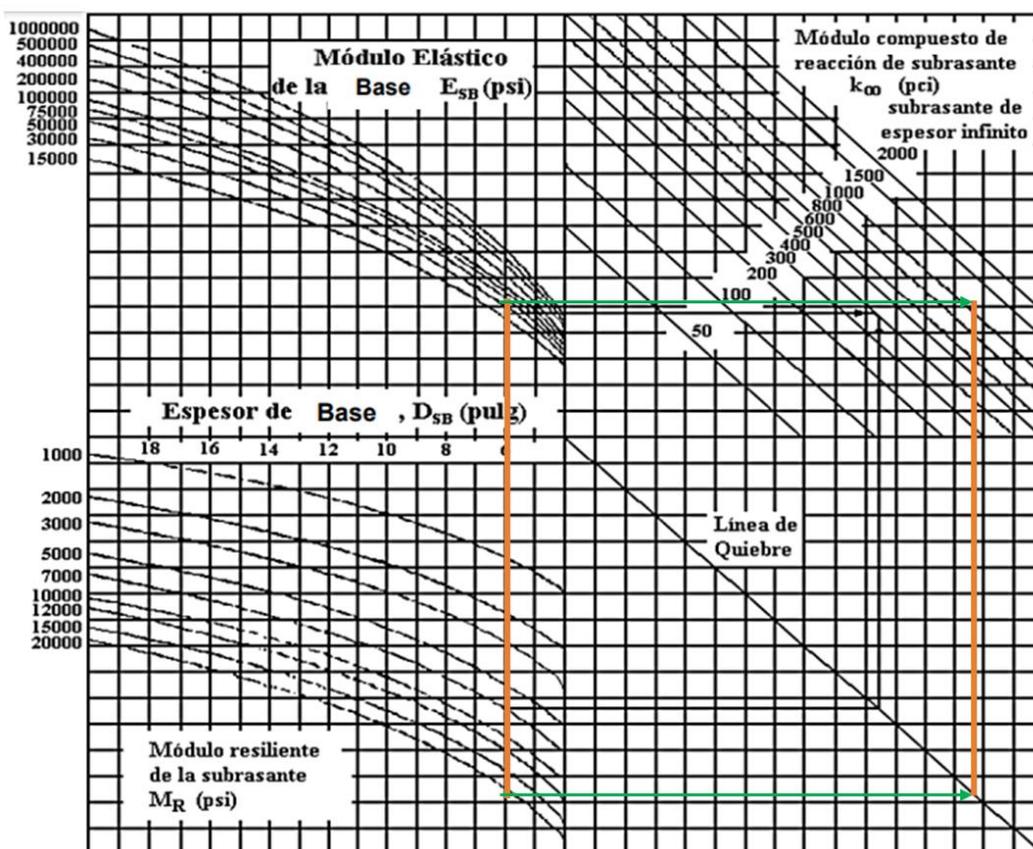
Donde:

pci = libras / pulgadas³ ; 1 pci = 0,274 MPa/m

Como se observa en la Figura 22:

Figura 22

Nomograma empleado para determinar el módulo de reacción de la subrasante del estudio investigativo



Fuente: Guide for Design of Pavements Structure AASHTO (1993)

- **Corrección del módulo de reacción efectivo de la subrasante (k)**

Se corrigió el módulo compuesto de la subrasante con el propósito de obtener el módulo efectivo de reacción de la subrasante considerando la pérdida de potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase (causado por lluvias u otro factor externo) y/o movimientos diferenciales verticales del suelo (sismos).

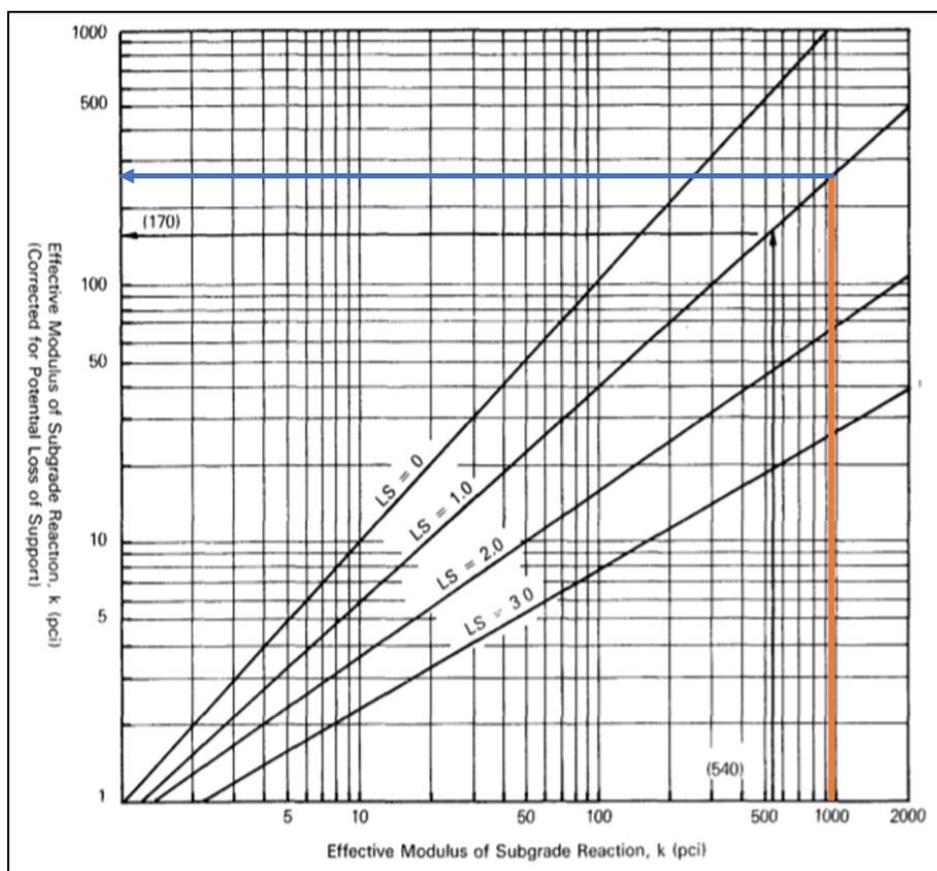
Al relacionar el módulo compuesto de la reacción de la subrasante con la pérdida de soporte, se obtuvo como resultado:

$$k = 280 \text{ pci (76,71 MPa/m)}$$

Para graficar lo descrito se presenta la Figura 23:

Figura 23

Nomograma de pérdida de soporte empleado en el estudio investigativo



Fuente: Guide for Design of Pavements Structure AASHTO (1993)

5.1.3.9 Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Siguiendo la fórmula determinada por el MTC, el (E_c) fue:

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow f'c = 3\,982,440 \text{ psi}$$

$$E_c = 57000 \times (f'c)^{0.5}$$

$$E_c = 3\,597\,074,860 \text{ psi (24\,800,570 MPa)}$$

5.1.3.10 Módulo de rotura del concreto (S'c)

El parámetro (S'c) se procesó mediante la siguiente fórmula:

$$S'c = 43.50 \times \left(\frac{E_c}{1000000} \right) + 488.50$$

$$S'c = 644,970 \text{ psi (4,450 MPa)}$$

5.1.3.11 Determinación del espesor del pavimento (D)

Para el diseño (D) se empleó 3 procedimientos AASHTO. El primero, mediante la fórmula general; el segundo, utilizando el Nomograma a través de unión de datos de parámetros en las gráficas; y el tercero, a través del software "pavimR". Se realizaron los 3 procedimientos con el fin de obtener resultados confiables.

Con bermas de concreto:

Empleando los procedimientos antes mencionados, se requirieron los siguientes parámetros para su diseño:

$$W_{8.2 \text{ tn}} = 4\,640\,532,810$$

$$R = 85 \%$$

$$Z_R = -1,036$$

$$P_t = 2,500$$

$$\Delta \text{PSI} = 1,800$$

$$J = 2,80$$

$$C_d = 1$$

$$L_s = 1$$

$$k = 76,710 \text{ MPa/m}$$

$$E_c = 24\,800,570 \text{ MPa}$$

$$S'c = 4,450 \text{ MPa}$$

$$D_{\text{(TANTEO)}} = 19,70 \text{ cm}$$

- Procedimiento 1.- Fórmula:

Empleando la fórmula de la Guía AASHTO se igualó, el primer componente (6,670) con el segundo componente (6,672), para obtener resultados más cercanos posibles.

$$\underbrace{\log_{10}(4640532.81)}_{\text{Primer Componente}} = -1.036 \times 0.35 + 7.35 \log_{10}(19.7 + 25.4) - 10.39 + \underbrace{\frac{\log_{10}\left(\frac{1.80}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(19.7 + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times 2.50) \times \log_{10}\left(\frac{4.45 \times 1(0.09 \times 19.7^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times 2.8 \left(0.09 \times 19.7^{0.75} - \frac{7.38}{(24800.57 / 76.71)^{0.25}}\right)}\right)}_{\text{Segundo Componente}}$$

Primer Componente

Segundo Componente

Desarrollo:

1er componente = 2do componente

$$6,67 = -0,363 + 6,876 + -0,190 + 0,349$$

$$6,67 = 6,672 \quad (\mathbf{OK})$$

Por lo tanto:

$$D \text{ (espesor de la losa de concreto)} = 20 \text{ cm}$$

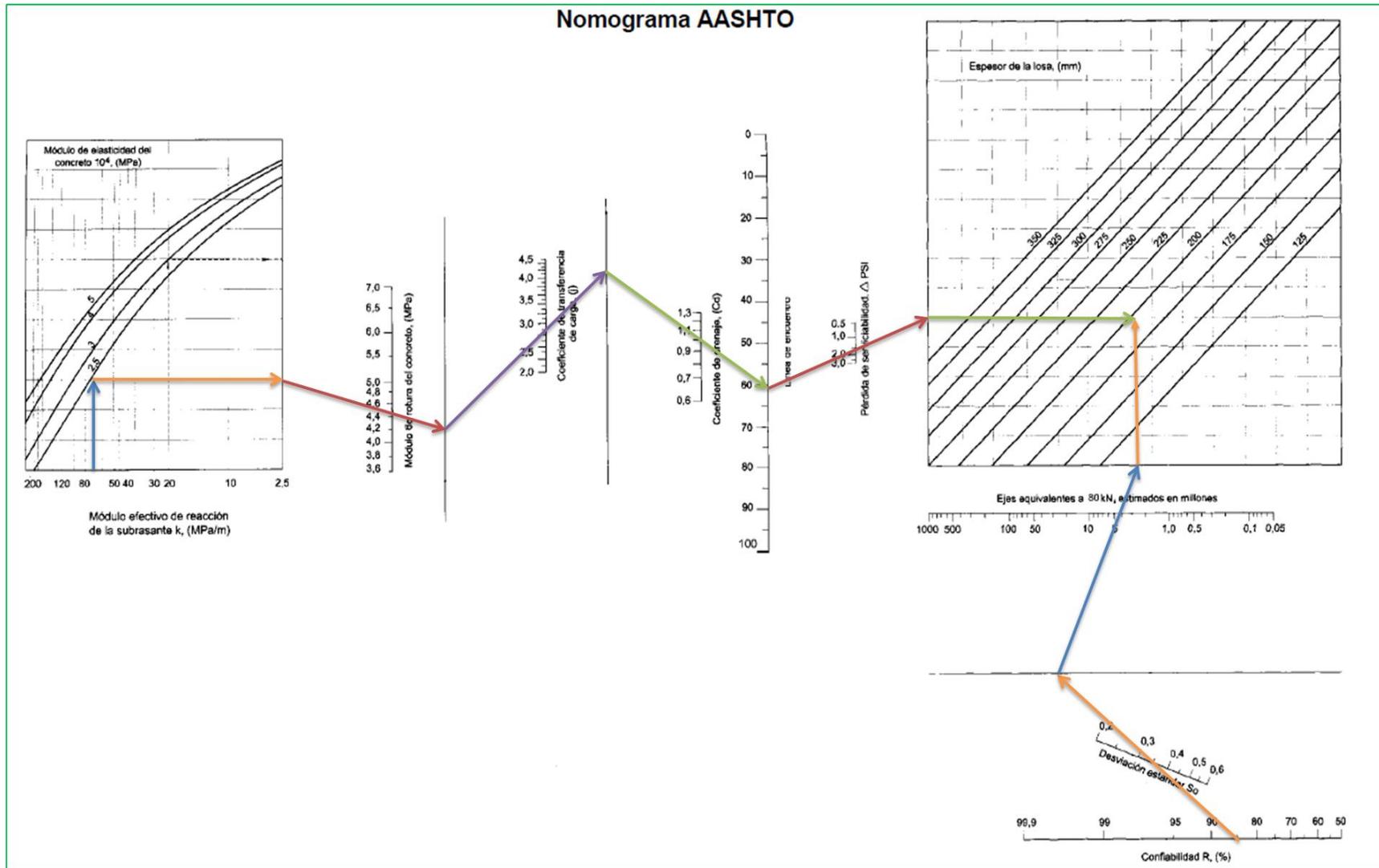
- Procedimiento 2.- Nomograma:

El Nomograma relacionó el módulo efectivo de la reacción de la subrasante, el módulo de rotura del concreto, el coeficiente de transferencia de carga, el coeficiente de drenaje, la pérdida de serviciabilidad, los ejes equivalentes, la desviación estándar normal y la confiabilidad, obteniendo un espesor de losa de 197 mm.

Por ello, se consideró: D (espesor de la losa de concreto) = 200 mm ó 20 cm, como se ilustra en la Figura 24:

Figura 24

Nomograma AASHTO para el diseño del espesor de losa de concreto aplicado en el estudio investigativo



- Procedimiento 3.- Software “pavimR”:
Con el programa “pavimR” se obtuvo el espesor de losa de 7,68 pulgadas (19,60 cm), redondeándose el valor a 20 cm, como sigue:

Figura 25

Diseño de pavimento rígido por el software “pavimR” usado en la presente investigación

The screenshot displays the 'Diseño de Pavimento Rígido' window within the 'pavimR' application. The window title is 'pavimR (Para diseñar Pavimentos)'. The menu bar includes 'Archivo', 'Pavimento', and 'Ayuda'. The main interface is titled 'Diseño de Pavimento Rígido' and 'Ecuación AASHTO 93'. It is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** PSI Inicial: 4.3, PSI Final: 2.5.
- Confiability [Zr] y Desviación Estandar [So]:** Zr: -1.037, So: 0.35.
- Información Adicional:**
 - Módulo de Elasticidad del Concreto E_c [psi]: 3597074.86
 - Coefficiente de Transmisión de Carga [J]: 2.8
 - Módulo de Rotura de Concreto S_c [psi]: 644.97
 - Coefficiente de Drenaje [Cd]: 1
- Seleccionar dato que tiene:** Radio buttons for 'Espesor D' and 'Eje W18'. 'Eje W18' is selected. W18: 4640532.81.
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** K: 280 pci.
- Resultado:** D: 7.68099 plg.

Legend:
 pci = Libras /pulgadas³ [lb/plg³]
 psi = Libras /pulgadas² [lb/plg²]
 plg = Pulgadas

Buttons at the bottom: Calcular, Insertar, Limpiar.

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Sin bermas de concreto:

Para determinar el grosor de la capa de rodadura sin bermas de concreto, empleando los procedimientos mencionados, se requirieron los siguientes parámetros para su diseño, variando el valor de la transferencia de carga (J):

$$W_{8.2 \text{ tn}} = 4\,640\,532,810$$

$$C_d = 1$$

$$R = 85 \%$$

$$L_s = 1$$

$$Z_R = -1,036$$

$$k = 76,710 \text{ MPa/m}$$

$$P_t = 2,500$$

$$E_c = 24\,800,570 \text{ MPa}$$

$$\Delta \text{PSI} = 1,800$$

$$S'_c = 4,450 \text{ MPa}$$

$$J = 3,80$$

$$D_{(\text{TANTEO})} = 23,80 \text{ cm}$$

- Procedimiento 1.- Fórmula:

Empleando la fórmula de la Guía AASHTO se igualó, el primer componente (6,670) con el segundo componente (6,673), para obtener resultados más cercanos posibles.

$$\underbrace{\log_{10}(4640532.81)}_{\text{Primer Componente}} = \underbrace{-1.036 \times 0.35 + 7.35 \log_{10}(23.8 + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.80}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(23.8 + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times 2.50) \times \log_{10}\left(\frac{4.45 \times 1(0.09 \times 23.8^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times 3.8 \left(0.09 \times 23.8^{0.75} - \frac{7.38}{(24800.57 / 76.71)^{0.25}}\right)}\right)}_{\text{Segundo Componente}}$$

Primer Componente

Segundo Componente

Desarrollo:

1er componente = 2do componente

$$6.67 = -0,363 + 7,365 + -0,212 + -0,149$$

$$6,670 = 6,673 \quad (\text{OK})$$

Por lo tanto:

$$D \text{ (espesor de la losa de concreto)} = 24 \text{ cm}$$

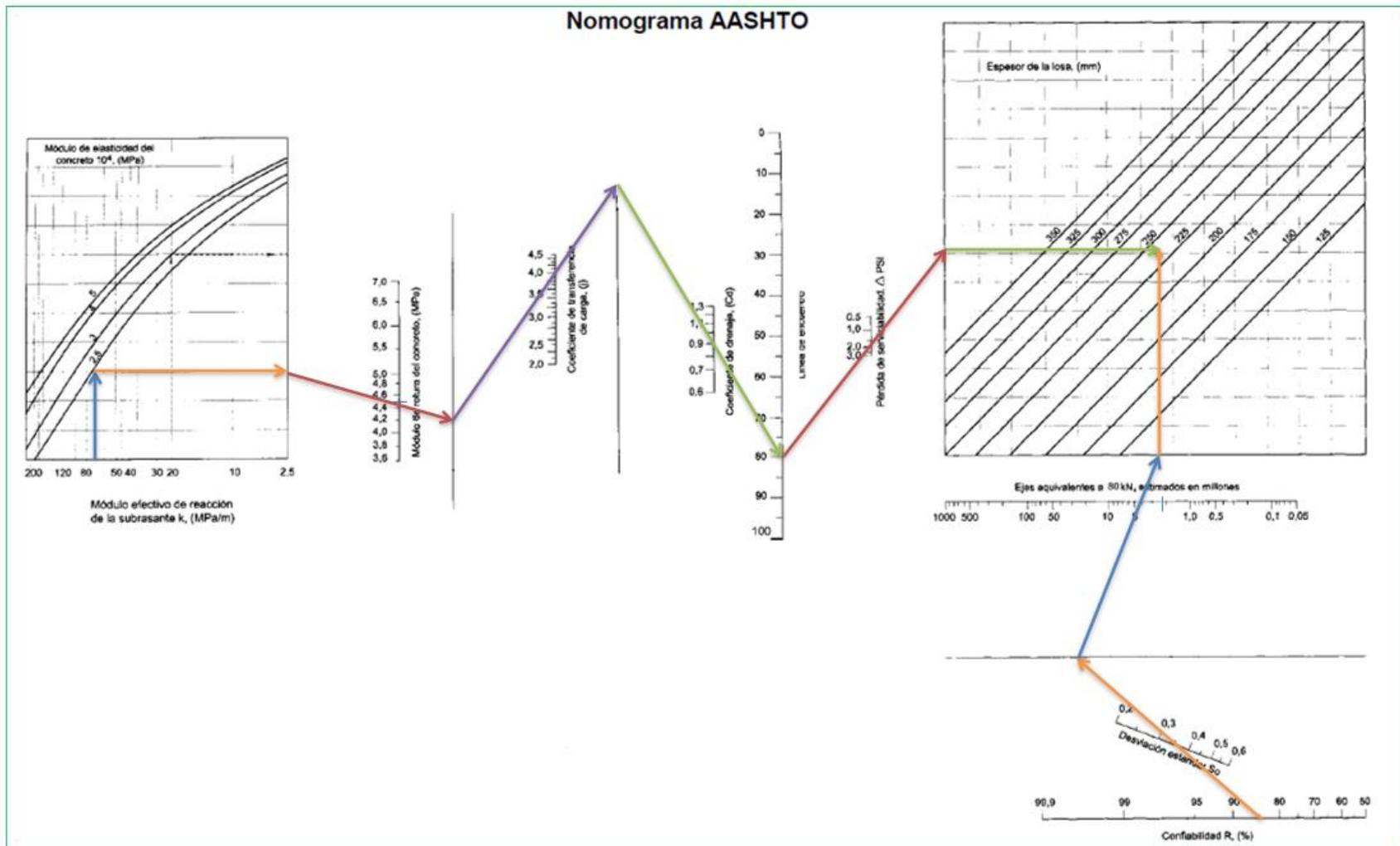
- Procedimiento 2.- Nomograma:

Con el desarrollo del diseño mediante el Nomograma se consiguió como resultado que el grosor de la superficie de rodadura fue 235 mm.

Se considera: D (espesor de la losa de concreto) = 240 mm (24 cm), como se ilustra a continuación:

Figura 26

Nomograma AASHTO empleado para el diseño del espesor de losa de concreto



- Procedimiento 3: Software “pavimR”

Con el programa “pavimR” se determinó que el espesor fue 9,24 pulgadas (23,50 cm), redondeándose el valor a 24 cm. Como se presenta en la Figura 27:

Figura 27

Software “pavimR” para el diseño de espesor de losa de concreto

pavimR (Para diseñar Pavimentos)

Archivo Pavimento Ayuda

Diseño de Pavimento Rígido

Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final

PSI Inicial: 4.3

PSI Final: 2.5

Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]

Zr: -1.037

So: 0.35

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto Ec [psi]: 3597074.86

Coefficiente de Transmisión de Carga [J]: 3.8

Módulo de Rotura de Concreto Sc [psi]: 644.97

Coefficiente de Drenaje [Cd]: 1

Seleccionar dato que tiene

Espesor D Eje W18

W18: 4640532.81

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 280 pci

Resultado

D: 9.24464 plg

pci = Libras /pulgadas³ [lb/plg³]
psi = Libras /pulgadas² [lb/plg²]
plg = Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.3.12 Pasajuntas de acero de refuerzo

La selección de las características o propiedades de las pasajuntas de acero de refuerzo depende del número de transportes vehiculares que transitarán por la carretera, la cantidad de Esal's, el espesor de pavimento que tendrá la estructura, entre otros.

Se determinó que el tipo de acero, según las indicaciones del MTC, para un grosor de losa de hormigón hidráulico de 200 mm, se asume que el diámetro del pasador debe ser 1 1/8", con 400 mm de longitud y 300 mm de separación entre centros; y para un grosor de losa de hormigón hidráulico de 240 mm se requiere 1 1/4" (32 mm) de diámetro de pasador, 450 mm de longitud y 300 mm de separación entre centros.

5.1.4 Metodología PCA para el diseño de pavimentos rígidos

5.1.4.1 Estimación de tráfico futuro

El número total de transportes vehiculares que transitarán por la vía, del km 162+270 al km 163+219, proyectado para el año 2026 será de 204 vehículos diarios; y en el año 2041, de 300 vehículos diarios, como sigue:

Tabla 20

Estimación de IMDA para 20 años

		ESTUDIO DE TRÁNSITO - UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE																				
		VEHÍCULOS LIVIANOS										VEHÍCULOS PESADOS										
IMD	DIRECCIÓN	Camionetas						Ómnibus	Camión				Semi Tráiler					Tráiler				
		AUTO	S. Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	C2	C3	C4	T2S1	T2S2	T2S3	T3S1	T3S2	\geq T3S3	C2R2	C2R3	C3R2	\geq C3R3	
IMDA 2026	Nº vehículos	25,581	19,525	19,212	6,891	10,755	3,446	8,979	23,104	18,505	2,080	11,278	8,979	7,336	1,314	4,927	15,329	5,365	6,789	2,080	2,847	
	Σ Parcial	85						119														
	Σ TOTAL	204																				
IMDA 2041	Nº vehículos	32,207	24,583	24,188	8,676	13,540	4,338	14,566	37,480	30,019	3,375	18,296	14,566	11,901	2,132	7,993	24,868	8,704	11,013	3,375	4,618	
	Σ Parcial	107						193														
	Σ TOTAL	300																				

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

- Cálculo de repeticiones de ejes de diseño por tipo de carga

Siguiendo los lineamientos de la guía PCA se calculó el peso y las repeticiones esperadas (Esal's) por cada tipo de eje para conseguir los ejes equivalentes de diseño.

Se realizó el análisis del estudio del tránsito vehicular, multiplicando los factores del IMDA 2026 por el factor de equivalencia obteniendo el factor del índice medio diario anual (F. IMDA), para ejes simples (514,753), ejes tándem (237,026) y ejes trídem (102,068), como a continuación se detalla:

Tabla 21

Distribución de ejes por tipo de carga utilizado en el estudio investigativo

TIPO DE VEHÍCULO		IMDA 2026	EJES SIMPLES					EJES TÁNDEM					EJES TRÍDEM				
			Nº de Eje	Carga de Eje (Tn)	Total de Ejes	Factor de Equivalencia	F. IMDA	Nº de Eje	Carga de Eje (Tn)	Total de Ejes	Factor de Equivalencia	F. IMDA	Nº de Eje	Carga de Eje (Tn)	Total de Ejes	Factor de Equivalencia	F. IMDA
Vehículos Ligeros	1º Eje	85,410	1	1	85	0,001	0,037			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	85,410	1	1	85	0,001	0,037			0	0	0			0	0	0
B2	1º Eje	8,979	1	7	9	1,273	11,428			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	8,979	1	11	9	3,335	29,942			0	0	0			0	0	0
C2	1º Eje	23,104	1	7	23	1,273	29,407			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	23,104	1	11	23	3,335	77,046			0	0	0			0	0	0
C3	1º Eje	18,505	1	7	19	1,273	23,554			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	18,505			0	0,000	0,000	1	18	19	3,458	63,989			0	0	0
C4	1º Eje	2,080	1	7	2	1,273	2,648			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	2,080			0	0,000	0,000			0	0	0	1	23	2	3,685	7,667
T2S1	1º Eje	11,278	1	7	11	1,273	14,355			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	11,278	1	11	11	3,335	37,610			0	0	0			0	0	0
	3º Eje	11,278	1	11	11	3,335	37,610			0	0	0			0	0	0
T2S2	1º Eje	8,979	1	7	9	1,273	11,428			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	8,979	1	11	9	3,335	29,942			0	0	0			0	0	0
	3º Eje	8,979			0	0,000	0,000	1	18	9	3,458	31,049			0	0	0
T2S3	1º Eje	7,336	1	7	7	1,273	9,338			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	7,336	1	11	7	3,335	24,465			0	0	0			0	0	0
	3º Eje	7,336			0	0,000	0,000			0	0	0	1	25	7	4,165	30,555
T3S1	1º Eje	1,314	1	7	1	1,273	1,672			0	0	0			0	0	0
	2º Eje	1,314			0	0,000	0,000	1	18	1	3,458	4,544			0	0	0

	3° Eje	1,314	1	11	1	3,335	4,382		0	0	0	0	0	0	0		
T3S2	1° Eje	4,927	1	7	5	1,273	6,272		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	4,927			0	0,000	0,000	1	18	5	3,458	17,039	0	0	0		
	3° Eje	4,927			0	0,000	0,000	1	18	5	3,458	17,039	0	0	0		
> = T3S3	1° Eje	15,329	1	7	15	1,273	19,512		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	15,329			0	0,000	0,000	1	18	15	3,458	53,009	0	0	0		
	3° Eje	15,329			0	0,000	0,000		0	0	0	0	1	25	15	4,165	63,846
C2R2	1° Eje	5,365	1	7	5	1,273	6,829		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	5,365	1	11	5	3,335	17,892		0	0	0	0	0	0	0		
	3° Eje	5,365	1	11	5	3,335	17,892		0	0	0	0	0	0	0		
	4° Eje	5,365	1	11	5	3,335	17,892		0	0	0	0	0	0	0		
C2R3	1° Eje	6,789	1	7	7	1,273	8,640		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	6,789	1	11	7	3,335	22,639		0	0	0	0	0	0	0		
	3° Eje	6,789	1	11	7	3,335	22,639		0	0	0	0	0	0	0		
	4° Eje	6,789			0	0,000	0,000	1	18	7	3,458	23,475	0	0	0		
C3R2	1° Eje	2,080	1	7	2	1,273	2,648		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	2,080			0	0,000	0,000	1	18	2	3,458	7,194	0	0	0		
	3° Eje	2,080	1	11	2	3,335	6,938		0	0	0	0	0	0	0		
	4° Eje	2,080	1	11	2	3,335	6,939		0	0	0	0	0	0	0		
> = C3R3	1° Eje	2,847	1	7	3	1,273	3,624		0	0	0	0	0	0	0		
	2° Eje	2,847			0	0,000	0,000	1	18	3	3,458	9,845	0	0	0		
	3° Eje	2,847	1	11	3	3,335	9,494		0	0	0	0	0	0	0		
	4° Eje	2,847			0	0,000	0,000	1	18	3	3,458	9,845	0	0	0		
SUMA TOTAL					399		514,753		69		237,026		25		102,068		

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Se presentan los factores de Índice Medio Diario Anual Total por ejes Simples (514,753), Tándem (237,026) y Trídem (102,068) para determinar las repeticiones esperadas (Esal's), en la Tabla 22:

Tabla 22

Índice Medio Diario Anual por tipo de ejes

Eje Simple		
Tipo de carga de eje (tn)	Total de ejes	F. IMDA
1	170,819	0,075
7	118,912	151,356
11	108,948	363,323
Σ TOTAL	398,679	514,753
Eje Tándem		
Tipo de carga de eje (tn)	Total de ejes	F. IMDA
18	68,544	237,026
Σ TOTAL	68,544	237,026
Eje Trídem		
Tipo de carga de eje (tn)	Total de ejes	F. IMDA
23	2,080	7,667
25	22,666	94,401
Σ TOTAL	24,746	102,068

Fuente: Propia

- Cálculo de Ejes Equivalentes

Para determinar los ejes equivalentes fue necesario tomar el Factor Direccional y el Factor Carril del estudio; y el cálculo del Factor de Crecimiento Acumulado.

Donde:

$$F_d = 0,500 \quad F_c = 1 \quad F_{ca} = 29,780$$

$$\text{Esal's} = 365 \times F_d \times F_c \times [\text{F.IMDA}] \times F_{ca}$$

Los cálculos de Ejes Equivalentes, como producto de la aplicación de la fórmula son los siguientes: Eje Simple (E.S) 2 797 607,149 Esal's; Eje Tándem (E.TA) 1 288 202,882 Esal's; y Eje Trídem (E.TR) 554 722,781 Esal's, como se ilustran en las Tablas 23, 24 y 25:

Tabla 23

Tabla de cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Simple

Eje Simple	1 año	Fd	Fc	F. IMDA	Fca	Esal's	Cant. Esal's
1	365	0,500	1	0,075	29,780	405,129	4,05E+02
7	365	0,500	1	151,356	29,780	822 594,959	8,23E+05
11	365	0,500	1	363,323	29,780	1 974 607,060	1,97E+06
Suma Total = 2 797 607,149 Esal's							

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Tabla 24

Tabla de cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Tándem

Eje Tándem	1 año	Fd	Fc	F. IMDA	Fca	Esal's	Cant. Esal's
18	365	0,500	1	237,026	29,780	1 288 202,882	1,29E+06
Suma Total = 1 288 202,882 Esal's							

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Tabla 25

Cálculo de Ejes Equivalentes para Eje Trídem

Eje Trídem	1 año	Fd	Fc	F. IMDA	Fca	Esal's	Cant. Esal's
1	365	0,500	1	7,667	29,780	41 669,375	4,17E+04
7	365	0,500	1	94,400	29,780	513 053,407	5,13E+05
Suma Total = 554 722,781 Esal's							

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.4.2 Módulo de reacción de la subrasante (k)

A fin de determinar el CBR de diseño (23,620 kg/cm³), se aplicó a siguiente fórmula:

$$CBR_{(DISEÑO)} = CBR_{MEDIO} - (Z_R \times \sigma)$$

$$CBR_{(DISEÑO)} = 29,400 - (1,037 \times 5,570)$$

$$CBR_{(DISEÑO)} = 23,620 \text{ kg/cm}^3$$

Donde:

CBR_{MEDIO}: Valor medio de los valores de CBR

Z_R : Desviación Estándar Normal

σ : Desviación estándar de los valores de CBR

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se relacionó la catalogación del suelo y el CBR, dando como resultado 76,710 MPa/m (280 pci), aplicando la guía PCA.

5.1.4.3 Factor de seguridad (Fs)

La vía se encuentra en una zona no urbanizada (sin semáforos, pases peatonales u otros mecanismos que detengan el paso vehicular) la que soportará a futuro tránsito de vehículos pesados como semi tráilers y tráilers.

El factor de seguridad asumido fue 1,20 para el tipo de carreteras con alto volumen de tráfico, sin interrupción, de acuerdo a la Guía PCA.

5.1.4.4 Módulo de rotura del concreto (MR)

El cuadro N° 14.7 (pp. 217) del Manual de Carreteras - MTC, establece que el esfuerzo mínimo equivale a la compresión del concreto según el rango de tráfico pesado expresado en E.E. Para esta investigación, tomando el valor de Ejes Equivalentes menor a 5 000 000 se optó por el esfuerzo de compresión del concreto de 280 kg/cm².

Según los modelos de transportes vehiculares pesados que circulen sobre la vía y la cantidad de carga que soportará el pavimento el módulo de rotura propuesto por esta metodología PCA fue:

$$MR = 0,150 \times 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$MR = 42 \text{ kg/cm}^2 (4,120 \text{ Mpa} = 597,366 \text{ psi})$$

5.1.4.5 Diseño de espesor de la losa

Se desarrollaron 2 procedimientos. El primero, fue mediante los procesos de diseño de la Guía PCA; y el segundo, empleando el software BS-PCA. Para desarrollar los procedimientos se utilizó información preliminar:

Sin bermas de concreto:

Se asumió el grosor de la superficie de rodadura de 10 pulgadas (25 cm) para pavimentos sin bermas de concreto, con el fin de que se realice el diseño por erosión y por fatiga, y que la proporción obtenida sea menor al 100 %. Para este cálculo se utilizaron los parámetros siguientes:

$K = 280 \text{ pci}$

Junta con dowells = Sí

M.R = 597,366 psi

Bermas de concreto = No

F.S = 1,20

Periodo de diseño = 20 años

Esp. Losa _{asumida} = 10 pulg.

- Procedimiento 1.- Guía PCA:

Esfuerzo equivalente sin bermas de concreto para tipos de ejes:

Mediante los datos del K combinado relacionados con el espesor de losa asumido se obtuvo el esfuerzo equivalente para E. S (sencillos), E. TA y E. TR en el análisis por fatiga. Interpolando los valores en la tabla del esfuerzo equivalente sin bermas de concreto se obtuvieron los siguientes resultados:

- 166,600 para E. S
- 147,200 para E. TA
- 110,800 para E. TR

Como se muestra a continuación:

300	177	$X_{SIMPLE} = 166,600$
280	X_{SIMPLE}	
200	164	

300	160	$X_{TÁNDEM} = 147,200$
280	$X_{TÁNDEM}$	
200	144	

300	108	$X_{TRÍDEM} = 110,800$
280	$X_{TRÍDEM}$	
200	122	

Factor de erosión para tipos de ejes

Empleando el procedimiento antes mencionado se determinaron los factores de erosión mediante los datos del K combinado, espesor de losa de 10 pulgadas, logrando obtener como resultado 2,500 para E. S, 2,650 para E. TA y 2,770 para E. TR. Como se muestra a continuación:

300	2,500	$X_{\text{SIMPLE}} = \mathbf{2,500}$
280	X_{SIMPLE}	
200	2,510	

300	2,640	$X_{\text{TÁNDEM}} = \mathbf{2,650}$
280	$X_{\text{TÁNDEM}}$	
200	2,680	

300	2,760	$X_{\text{TRÍDEM}} = \mathbf{2,770}$
280	$X_{\text{TRÍDEM}}$	
200	2,830	

A fin de realizar el análisis por fatiga y erosión sin bermas de concreto empleando las cargas de ejes Simples, ejes Tándem y ejes Trídem, relacionándolas con el esfuerzo equivalente, se obtuvo las repeticiones admisibles, aplicando la guía PCA.

Cálculos resumen del espesor de losa del pavimento rígido

Los cálculos se realizaron empleando los resultados de los ejes equivalentes por tipos de ejes, los factores de relación de fatiga y los factores de erosión.

En los Ejes Equivalentes se obtuvieron las cargas mediante el producto de los Esal's por el factor de seguridad para cada tipo de ejes (Simple, Tándem y Trídem) con el fin de conseguir el valor del parámetro para el diseño del espesor de losa de concreto; los factores de relación de fatiga se determinaron a través del producto de las repeticiones esperadas por las repeticiones admisibles (análisis por fatiga) con el propósito de obtener los porcentajes de fatiga; y, los factores de erosión se establecieron por medio del producto de las repeticiones esperadas por las repeticiones admisibles (análisis por erosión) para encontrar los porcentajes de daño.

Después de realizar los cálculos parciales del espesor del pavimento rígido se determinaron los resultados finales: 0 % de fatiga y 33,86 % de daño por erosión.

Las sumas del porcentaje de fatiga y el porcentaje de deterioro por erosión no exceden el 100 % lo cual nos indica que el espesor de losa asumido es el correcto, como sigue:

Tabla 26

Cálculo de espesor de pavimento rígido sin bermas de concreto

Carga por eje, Kips		Carga por FSC, kN	Repeticiones Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
				Repeticiones Admisibles	Porcentaje de Fatiga	Repeticiones Admisibles	Porcentaje de daño
1	2		3	4	5	6	7
Ejes sencillos			8. Esfuerzo equivalente 9. Relación de esfuerzos	167 0,280		10. Factor de erosión	2,500
24,251	29,101		1 974 607,060	ilimitado	0,00 %	10 300,000	19,17 %
15,432	18,519		822 594,959	ilimitado	0,00 %	ilimitado	0,00 %
2,205	2,646		405,130	ilimitado	0,00 %	ilimitado	0,00 %
Ejes Tándem			11. Esfuerzo equivalente 12. Relación de esfuerzos	147 0,246		13. Factor de erosión	2,650
39,683	47,619		1 288 202,880	ilimitado	0,00 % 0,00 %	10 800,000	11,93 % 11,93 %
Ejes Trídem			11. Esfuerzo equivalente 12. Relación de esfuerzos	111 0,186		13. Factor de erosión	2,770
55,116	22,046		513,053	ilimitado	0,00 %	20 000,000	2,57 %
50,706	20,283		41,669	ilimitado	0,00 % 0,00 %	20 800,000	0,20 % 0,00 %
				Total:	0,00 %	Total:	33,86 %



CÁLCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO

PCA

Espesor de tanteo	10	in	Juntas con dovelas	SI <u>X</u> NO <u> </u>
Conjunto de subbase - subrasante	280	pci	Berma de concreto	SI <u> </u> NO <u>X</u>
Módulo de rotura, MR	597,366	psi	Período de diseño	20 años
Factor de seguridad	1,20			

- Procedimiento 2.- Software BS-PCA:

Los porcentajes de esfuerzo (0 %) y de erosión (34,234 %) son menores al 100 %; y los resultados del software coinciden con los valores obtenidos del proceso de la guía PCA. Se determinó que el espesor de losa asumido (10 pulgadas) fue el correcto, como se presenta en la Figura 28:

Figura 28

Cálculo del espesor de losa de concreto por el software BS-PCA

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Con bermas de concreto:

Se consideró como espesor de losa de concreto 8,5 pulgadas (21,600 cm) para pavimentos sin bermas de concreto, con el fin de que se cumpla el diseño por erosión y fatiga, y el porcentaje obtenido sea menor al 100 %. Los cálculos que se emplearon mediante los procedimientos mencionados anteriormente, requirieron los parámetros siguientes:

$K = 280$ pci

$M.R = 597,366$ psi

$F.S = 1,20$

Esp. Losa asumido = 8,50 pulg.

Junta con dowells = Sí

Bermas de concreto = Sí

Periodo de diseño = 20 años

- Procedimiento 1: Guía PCA

Mediante los datos del K combinado y del espesor de losa asumido, se obtuvo el esfuerzo equivalente para E. S (sencillos), E. TA y E. TR en el análisis por fatiga. Interpolando los valores en la tabla del esfuerzo equivalente con bermas de concreto, aplicando la guía PCA, se obtuvieron los resultados siguientes:

- 172 para E. S
- 146 para E. TA
- 115 para E. TR

300	170	$X_{\text{SIMPLE}} = 172$
280	X_{SIMPLE}	
200	182	

300	144	$X_{\text{TÁNDEM}} = 146$
280	X_{SIMPLE}	
200	150	

300	113	$X_{\text{TRÍDEM}} = 115$
280	$X_{\text{TRÍDEM}}$	
200	121	

Factor de erosión para tipos de ejes

Se determinaron los factores de erosión, utilizando el procedimiento anterior, mediante los datos del K combinado del espesor de losa de 8,5 pulgadas, logrando 2,270 para E. S, 2,340 para E. TA y 2,400 para E. TR.

300	2,260	$X_{\text{SIMPLE}} = 2,270$
280	X_{SIMPLE}	
200	2,290	

300	2,320	$X_{\text{TÁNDEM}} = \mathbf{2,340}$
280	X_{SIMPLE}	
200	2,390	

300	2,380	$X_{\text{TRÍDEM}} = \mathbf{2,400}$
280	$X_{\text{TRÍDEM}}$	
200	2,470	

Con el propósito de realizar el análisis por fatiga y erosión con bermas de concreto, empleando las cargas de E. S, E. TA y E. TR, el esfuerzo equivalente se relaciona preliminarmente para obtener las repeticiones admisibles.

Cálculos resumen del espesor de losa del pavimento rígido

Los cálculos se realizaron empleando los resultados de los Ejes Equivalentes por tipos de ejes, los factores de relación de fatiga y los factores de erosión.

En los ejes equivalentes se obtuvieron las cargas mediante el producto de los Esal's por el factor de seguridad para cada modelo de ejes (S, TA y TR) con el fin de conseguir el valor del parámetro para el diseño del grosor de la capa superficial; los factores de relación de fatiga se determinaron a través del producto de las repeticiones esperadas por las repeticiones admisibles (análisis por fatiga) con el propósito de obtener los porcentajes de fatiga; y, los factores de erosión se establecieron por medio del producto de las repeticiones esperadas por las repeticiones admisibles (análisis por erosión) para encontrar los porcentajes de daño.

Tras realizar los cálculos parciales del espesor del pavimento rígido, se determinaron los resultados finales: 19,75 % de fatiga y 19,17 % de daño por erosión.

En la tabla siguiente se muestra el cálculo del espesor de pavimento rígido con bermas de concreto, como sigue:

Tabla 27

Cálculo de espesor de pavimento rígido con bermas de concreto



CÁLCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO

PCA

Espesor de tanteo	8,50	in	Juntas con dovelas	SI _X_ NO __
Conjunto de subbase - subrasante	280	pci	Berma de concreto	SI _X_ NO __
Módulo de rotura, MR	597,366	psi	Período de diseño	20 años
Factor de seguridad	1,20			

Carga por eje, Kips	Carga por FSC, kN	Repeticiones Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones Admisibles	Porcentaje de Fatiga	Repeticiones Admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7
Ejes sencillos		8. Esfuerzo equivalente 9. Relación de esfuerzos	172 0,288		10. Factor de erosión	2,270
24,251	29,101	1 974 607,060	10 000,000	19,75 %	10 300,000	19,17 %
15,432	18,519	822 594,959	ilimitado	0,00 %	ilimitado	0,00 %
2,205	2,646	405,130	ilimitado	0,00 %	ilimitado	0,00 %
Ejes Tándem		11. Esfuerzo equivalente 12. Relación de esfuerzos	146 0,244		13. Factor de erosión	2,340
39,683	47,619	1 288 202,88	ilimitado	0,00 % 0,00 %	ilimitado	0,00 % 0,00 %
Ejes Trídem		11. Esfuerzo equivalente 12. Relación de esfuerzos	115 0,193		13. Factor de erosión	2,400
55,116	22,046	513,053	ilimitado	0,00 %	10 600,000	0,00 %
50,706	20,283	41,669	ilimitado	0,00 % 0,00 %	30 400,000	0,00 % 0,00 %
Total:				19,75 %	Total: 19,17 %	

- Procedimiento 2: Software BS-PCA

Los porcentajes de esfuerzo (19,86 %) y de erosión (19,65 %) son menores al 100 %; y los resultados del software coinciden con los valores obtenidos del proceso de la guía PCA. Se determinó que el grosor de losa asumido (8,50 pulgadas) fue el correcto, como se presenta:

Figura 29

Cálculo del espesor de losa de concreto con el software BS-PCA

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

5.1.4.6 Juntas

Según el diseño, siguiendo las referencias e indicaciones de las normas de diseños viales, se determinó que el ancho del carril derecho como el del izquierdo es de 3,30 m con una longitud de losa de 3,00 m.

Ancho de carril	3,300 m
Longitud de losa	3,000 m

5.1.4.7 Transferencia de carga

De acuerdo a las indicaciones del Manual de carreteras – MTC es necesario colocar pasadores en los pavimentos rígidos con ejes equivalentes mayores a 4 000,000 Esal's. Para espesores de losa de 220 mm (8,50 pulgadas) y 250 mm (10 pulgadas) se asumirá pasadores o dowells de 1 ¼" de diámetro, con 460 mm de largo y separación de 300 mm entre pasadores.

CAPÍTULO VI

Resultados, conclusiones y recomendaciones

6.1 Resultados

Mediante aplicaciones y ensayos realizados según los procedimientos del Manual de Carreteras – MTC, la Norma Técnica Peruana de Pavimentos, la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO, la Guía de Diseño de Espesor de Losa PCA y los softwares empleados para el diseño de pavimentos se obtuvieron los resultados del presente estudio investigativo

Al diseñar el grosor de la superficie de rodadura del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo se desarrollaron procedimientos técnicos. En campo, conteo de los vehículos que transitan sobre la vía, obtención de los indicadores climáticos de la zona de intervención y sustracción del espécimen del suelo; en el laboratorio, pruebas de mecánica de suelos (análisis granulométrico, límites de consistencia, contenido de humedad, Próctor modificado y CBR); y en gabinete, aplicación de la norma de pesos y medidas de SUTRAN, determinación del Índice de Serviciabilidad, determinación de valores de drenaje, uso de nomogramas para el módulo de reacción de la subrasante.

Figura 30

Variante 2 del tramo 1 de la carretera Oyón – Ambo



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

La validez y la confiabilidad de los resultados del diseño de la losa de concreto de pavimento rígido se lograron, al aplicar técnicamente las metodologías asumidas, consiguiendo los mismos resultados en condiciones similares. Mediante AASHTO se

realizaron los procedimientos siguientes: aplicación de la fórmula, uso del Nomograma y empleo del Software pavimR; obteniendo 20 cm con bermas de concreto y 24 cm sin bermas de concreto para todos los casos. Empleando PCA se realizaron los procedimientos siguientes: empleo de la guía y uso del Software BS-PCA; obteniendo 22 cm con bermas de concreto y 25 cm sin bermas de concreto para todos los casos.

Los resultados cuantitativos de la investigación, relacionada con la Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo, se detallan a continuación:

6.1.1 Cálculo del espesor de losa de pavimento rígido por la guía AASHTO

Se estableció que el grosor de la superficie de rodadura diseñada para el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo fue:

Con Bermas de concreto:

$W_{8.2 \text{ tn}} = 4\ 640\ 532,81$	$C_d = 1$
$R = 85 \%$	$L_s = 1$
$Z_R = -1,036$	$k = 76,710 \text{ MPa/m}$
$P_t = 2,500$	$E_c = 24\ 800,570 \text{ MPa}$
$\Delta\text{PSI} = 1,800$	$S'_c = 4,450 \text{ MPa}$
$J = 2,80$	$D_{(\text{TANTEO})} = 19,70 \text{ cm}$
	$D_{(\text{FINAL})} = \mathbf{20 \text{ cm}}$

Sin Bermas de concreto:

$W_{8.2 \text{ tn}} = 4\ 640\ 532,81$	$C_d = 1$
$R = 85 \%$	$L_s = 1$
$Z_R = -1,036$	$k = 76,710 \text{ MPa/m}$
$P_t = 2,500$	$E_c = 24\ 800,570 \text{ MPa}$
$\Delta\text{PSI} = 1,800$	$S'_c = 4,450 \text{ MPa}$
$J = 3,80$	$D_{(\text{TANTEO})} = 23,80 \text{ cm}$
	$D_{(\text{FINAL})} = \mathbf{24 \text{ cm}}$

6.1.2 Cálculo de espesor de losa de pavimento rígido PCA

Se estableció que el grosor de la superficie de rodadura diseñada para el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo fue:

Con Bermas de concreto:

$K = 280 \text{ pci}$	Junta con dowells = Sí
-----------------------	------------------------

M.R = 597,366 psi

Bermas de concreto = Sí

F.S = 1,20

Periodo de diseño = 20 años

Esp. Losa (FINAL) = **8,50 pulg. (22 cm)**

Sin Bermas de Concreto:

K = 280 pci

Junta con dowells = Sí

M.R = 597,366 psi

Bermas de concreto = No

F.S = 1,2

Periodo de diseño = 20 años

Esp. Losa (FINAL) = **10 pulg. (25 cm)**

6.1.3 Datos climáticos de la zona de estudio

- Altitud: Se encuentra por encima de la cota de 4 200 m s. n. m. de la cordillera de los Andes.
- Temperatura máxima: Varía entre 9 °C a 19 °C.
- Temperatura mínima: Varía entre -3 °C a 3 °C.
- Precipitación anual: Varía entre 500 mm a 120 mm.
- Concentración de humedad: Se da entre otoño e invierno seco.

En la provincia de Oyón, departamento de Lima, el clima es de tipo lluvioso, frío y con otoño e invierno seco, según Senamhi.

6.1.4 Aplicación de la Norma de Pesos y Medias Vehiculares – SUTRAN

Mediante el estudio del tránsito vehicular que se realizó en la carretera Oyón-Ambo en el año 2021, se obtuvo un IMDA de 190 vehículos diarios. Para el año 2026, tiempo asumido en el que se ejecutará la obra, se proyectó un IMDA de 204 vehículos diarios y 1 452 vehículos semanales.

La norma de pesos y medidas vehiculares del Perú - SUTRAN se utilizó en el estudio investigativo con el fin de obtener las cargas de los transportes livianos (autos, camionetas y micros); y de los transportes pesados (ómnibus, camiones, semi tráilers y tráilers).

6.1.5 Determinación de Ejes Equivalentes

Los ejes equivalentes o repeticiones esperadas sirvieron para determinar la carga total que emitirán los vehículos al transitar sobre el pavimento rígido. Empleando el cálculo de ejes equivalentes del Manual de Carretas – MTC se obtuvo como resultado 4 640 532,81 Esal's.

6.1.6 Establecimiento del índice de serviciabilidad

Según el MTC, los índices de serviciabilidad recomendados para el grosor de la superficie de rodadura rígida, fueron:

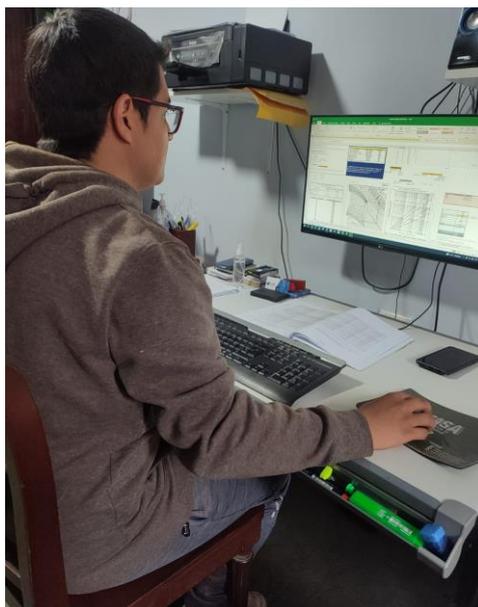
- Índice de Serviciabilidad Inicial: 4,300
- Índice de Serviciabilidad Final: 2,500
- Diferencia de Serviciabilidad: 1,800

6.1.7 Fotografía en gabinete, comprobando el criterio de durabilidad

Calculando los ejes equivalentes y los índices de serviciabilidad para determinar el criterio de durabilidad, como sigue:

Figura 31

Comprobación de la influencia de las metodologías AASHTO y PCA con el criterio de durabilidad



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

6.1.8 Cálculo del módulo de rotura por AASHTO

Para este método, se obtuvo como resultado 4,45 MPa, utilizando la siguiente fórmula:

$$Mr = S'c = 43.50x\left(\frac{Ec}{1000000}\right) + 488.50$$

6.1.9 Cálculo del módulo de rotura por PCA

Empleando la metodología PCA se obtuvo el módulo de rotura de 4,120 MPa al desarrollar la fórmula siguiente:

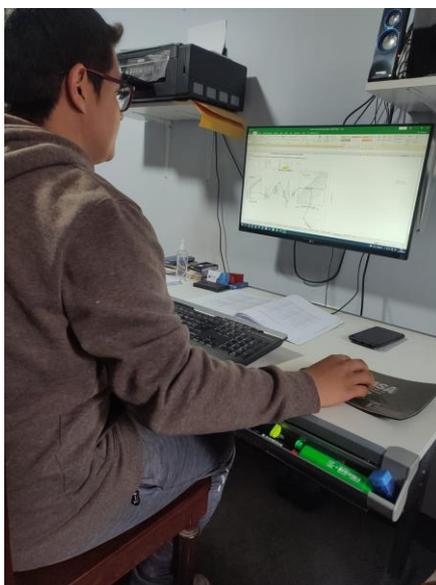
$$MR = 0,150 \times f'c$$

6.1.10 Fotografía en gabinete, valorando el módulo de rotura

Calculando el parámetro del módulo de rotura según indica las metodologías indicadas, como se presenta:

Figura 32

Valoración del esfuerzo de compresión en el módulo de rotura



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

6.1.11 Resultados de las precipitaciones pluviales

Los datos históricos de las precipitaciones pluviales dadas por el Senamhi, de enero a diciembre del año 2020, en la estación Oyón, sirvieron para determinar el buen drenaje que tendrá el pavimento frente al clima húmedo, como se muestra en las fichas de registro de precipitaciones pluviales en la zona de intervención del estudio investigativo.

Con la información climatológica obtenida del Senamhi se determinó que la temporada de lluvias a la que estará expuesta la carretera son en los meses de diciembre a marzo.

Tabla 28

Precipitaciones pluviales promedio de los meses de diciembre, enero, febrero, marzo

Meses	Precipitación promedio (mm/día)
Diciembre	3,720
Enero	1,460
Febrero	4,000
Marzo	3,200

Fuente: Datos Hidrometeorológicos – Senamhi (2020-2021)

6.1.12 Determinación del coeficiente de drenaje

Empleando la tabla de la guía AASHTO se clasificó el pavimento (Bueno), se determinó el porcentaje de exposición del pavimento a las precipitaciones pluviales (mayor al 25 %) y se determinó que el Cd fue 1.

6.1.13 Fotografía de excavación de calicata 1 (km 162+280)

Excavación de la calicata 1 en el km 162+280, como se presenta:

Figura 33

Excavación de calicata 1



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

6.1.14 Fotografía de excavación de calicata 2 (km 163+200)

Excavación de la calicata 2 en el km 163+200, como se ilustra:

Figura 34*Excavación de calicata 2*

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

6.1.15 Ensayos de mecánica de suelos

- Calicata 1

Ubicación: km 162+280

Profundidad: 0.00 – 0,20 m

Del análisis granulométrico de las muestras recogidas de las calicatas fueron los siguientes: 59,40 % grava, el 28,30 % arena y el 12,30 % material fino, como se detalla en la Tabla 29:

Tabla 29*Resultado del Ensayo de análisis granulométrico*

Resultados del Análisis Granulométrico	
Tipo de suelo:	Grava arcillosa con arena (GC)
Porcentaje de material gravoso:	59,40 %
Porcentaje de material arenoso:	28,30 %
Porcentaje de material fino:	12,30 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Con el ensayo de Límite de Consistencia se obtuvo: 22,00 % de L.L; 14,00 % de L.P; y 8,00 % de I.P. Como como se describe:

Tabla 30*Resultado del ensayo de límites de consistencia*

Límites de Consistencia	
Límite Líquido	22,00 %
Límite Plástico	14,00 %
Índice de Plasticidad	8,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Mediante el estudio realizado con las muestras de las calicatas en la carretera, se obtuvo como resultado 5,30 % de Contenido de Humedad, como se presenta en la Tabla 31:

Tabla 31*Resultado del ensayo de contenido de humedad*

Contenido de Humedad	
Contenido de Humedad Promedio	5,30 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Con el Próctor Modificado se determinó 2,204 g/cm³ de M.D.S y 8,00 %, de Humedad Óptima fue como se presenta en la Tabla 32:

Tabla 32*Resultado del ensayo de Próctor modificado*

Proctor Modificado	
Máxima Densidad Seca	2,204 g/cm³
Humedad Óptima	8,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Mediante el ensayo de Capacidad de Soporte CBR se aplicó los procesos de expansión y penetración en la muestra, obteniendo: Densidad húmeda promedio 2,420 g/cm³; y densidad seca promedio 2,290 g/cm³, como se indica en la Tabla 33:

Tabla 33*Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca*

Relación de Capacidad de Soporte CBR	
Densidad Húmeda Promedio	2,420 g/cm³
Densidad Seca Promedio	2,290 g/cm³

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Se obtuvieron los diagramas que relacionan la carga y la penetración del espécimen para cada tipo de muestra, según la cantidad de golpes, como se detalla en la Tabla 34:

Tabla 34*CBR por cantidad de golpes*

56 golpes		25 golpes		12 golpes	
CBR (0.1")	38,00 %	CBR (0.1")	29,00 %	CBR (0.1")	27,00 %
CBR (0.2")	42,00 %	CBR (0.2")	34,00 %	CBR (0.2")	30,70 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Aplicando las normas AASHTO se realizó el ensayo CBR. Con el material extraído de las calicatas se las compactó en sus moldes, sumergió en agua y aplicó punzonamiento para evaluar la resistencia del suelo de la carretera.

En la muestra de la calicata 1, a 56 golpes, se obtuvo un CBR de 38,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 42,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; a 25 golpes, CBR de 29,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 34,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; y a 12 golpes, un CBR de 27,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 30,70 % con el pistón de 0,2 pulgadas.

Mediante el ensayo de Capacidad de Soporte CBR, con 0,1 pulgada de diámetro del pistón, al 100 % de la M.D.S se obtuvo 38,00 %; y al 95 % de la M.D.S, 29,00 %. Con 0,2 pulgadas de diámetro del pistón, al 100% de la M.D.S se consiguió 41,60 %; y al 95 % de la M.D.S, 34,10 %.

- Calicata 2
 - Ubicación: km 163+200
 - Profundidad: 0.00 – 0,20 m

Los resultados que se obtuvieron con el ensayo de Análisis Granulométrico de las muestras recogidas de las calicatas fueron: 51,00 % grava, 29,70 % arena y 19,30 % material fino, como se detalla en la Tabla 35:

Tabla 35*Resultado del ensayo del análisis granulométrico*

Resultados del Análisis Granulométrico	
Tipo de suelo:	Grava arcillosa con arena (GC)
Porcentaje de material gravoso:	51,00 %
Porcentaje de material arenoso:	29,70 %
Porcentaje de material fino:	19,30 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Con la prueba de Límite de Consistencia, se obtuvo 21,00 % de L.L, 14,00 % de L.P y 7,00 % de I.P, como se manifiesta:

Tabla 36*Resultado del ensayo de límites de consistencia*

Límites de Consistencia	
Límite Líquido	21,00 %
Límite Plástico	14,00 %
Índice de Plasticidad	7,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Mediante el estudio realizado con las muestras de las calicatas de la carretera, se obtuvo como resultado 3,10 % de Contenido de Humedad, como se presenta en la Tabla 37:

Tabla 37*Resultado del ensayo de contenido de humedad*

Contenido de Humedad	
Contenido de Humedad Promedio	3,10 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Con el Próctor Modificado, se determinó como resultado 2,230 g/cm³ de M.D.S y 7,00 % de Humedad Óptima, como se muestra en la Tabla 38:

Tabla 38*Resultado del ensayo de Próctor modificado*

Proctor Modificado	
Densidad Máxima Seca	2,230 g/cm³
Humedad Óptima	7,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Mediante la prueba de Capacidad de Soporte CBR, aplicando los procesos de expansión y penetración en la muestra, se obtuvo un promedio de 2,370 g/cm³ de Densidad Húmeda Promedio y 2,200 g/cm³ de Densidad Seca Promedio, como sigue:

Tabla 39*Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca*

Relación de Capacidad de Soporte CBR	
Densidad Húmeda Promedio	2,370 g/cm³
Densidad Seca Promedio	2,200 g/cm³

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Se obtuvo complementariamente los diagramas que relacionan la carga y la penetración del espécimen para cada tipo de muestra, según la cantidad de golpes, como se presenta a continuación:

Tabla 40*CBR por cantidad de golpes*

56 golpes		25 golpes		12 golpes	
CBR (0,1")	62,00 %	CBR (0,1")	40,00 %	CBR (0,1")	16,90 %
CBR (0,2")	87,00 %	CBR (0,2")	51,00 %	CBR (0,2")	23,20 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Aplicando las normas AASHTO se realizó el ensayo CBR. Con el material extraído de las calicatas se las compactó en sus moldes, sumergió en agua y aplicó punzonamiento para evaluar la resistencia del suelo de la carretera.

Del espécimen sustraído de la calicata 2, a 56 golpes, se obtuvo un CBR de 62,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 87,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; a 25 golpes, CBR de 40,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 51,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; y a 12 golpes, CBR de 16,90 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 23,20 % con el pistón de 0,2 pulgadas.

Mediante el ensayo de Capacidad de Soporte CBR, con 0,1 pulgada de diámetro del pistón, al 100 % de la M.D.S se obtuvo un valor de 61,70 % y al 95 % de la M.D.S se obtuvo un valor de 39,70 %; y con 0,2 pulgadas de diámetro del pistón, al 100 % de la M.D.S se consiguió un valor de 86,90 % y al 95 % de la M.D.S se consiguió un valor de 50,70 %.

- Profundidad: 0,20 – 1,50 m

Los datos obtenidos mediante el ensayo de Análisis Granulométrico de las calicatas fueron: 53,30 % grava, el 28,30 % arena y el 18,40 % material fino, como se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 41*Resultado del ensayo de Análisis Granulométrico*

Resultados del Análisis Granulométrico	
Tipo de suelo:	Grava arcillosa con arena (GC)
Porcentaje de material gravoso:	53,30 %
Porcentaje de material arenoso:	28,30 %
Porcentaje de material fino:	18,40 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Empleando la prueba de Límites de Consistencia, se obtuvieron los resultados siguientes: 25,00 % de L.L, 17,00 % de L.P y 8,00 % de I.P, como se muestra:

Tabla 42*Resultado del ensayo de Límites de Consistencia*

Límites de Consistencia	
Límite Líquido	25,00 %
Límite Plástico	17,00 %
Índice de Plasticidad	8,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Mediante el estudio realizado con las muestras de las calicatas en la carretera, se obtuvo como resultado 5,30 % de Contenido de Humedad, como se presenta en la Tabla 43:

Tabla 43*Resultados del ensayo de Contenido de Humedad*

Contenido de Humedad	
Contenido de Humedad Promedio	5,30 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Desarrollando el Próctor Modificado, se obtuvo como resultado 2,186 g/cm³ de M.D.S y 6,00 % de Humedad Óptima, como se presenta en la Tabla 44:

Tabla 44*Resultados del ensayo de Próctor modificado*

Proctor Modificado	
Densidad Máxima Seca	2,186 g/cm³
Humedad Óptima	6,00 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Por medio del ensayo de Capacidad de Soporte CBR, se aplicó los procesos de expansión y penetración en la muestra, donde se obtuvo 2,220 g/cm³ de Densidad Húmeda Promedio y 2,080 g/cm³ de Densidad Seca Promedio, como se presenta a continuación:

Tabla 45*Ensayo de CBR: Densidad húmeda y seca*

Relación de Capacidad de Soporte CBR	
Densidad Húmeda Promedio	2,220 g/cm³
Densidad Seca Promedio	2,080 g/cm³

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Se obtuvieron complementariamente los diagramas que relacionan la carga y la penetración del espécimen para cada tipo de muestra según la cantidad de golpes, como se muestra en la Tabla 46:

Tabla 46*CBR por cantidad de golpes*

56 golpes		25 golpes		12 golpes	
CBR (0,1")	55,00 %	CBR (0,1")	35,00 %	CBR (0,1")	23,00 %
CBR (0,2")	78,00 %	CBR (0,2")	48,00 %	CBR (0,2")	29,80 %

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Aplicando la norma AASHTO se realizó el ensayo CBR. Con el material extraído de las calicatas se las compactó en sus moldes, sumergió en agua y aplicó punzonamiento para evaluar el tramo de la carretera considerado.

Con el espécimen recogido de la calicata 2 con profundidad de 0,20 m – 1,50 m, a 56 golpes, se obtuvo un CBR de 55,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 78,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; a 25 golpes, CBR de 35,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 48,00 % con el pistón de 0,2 pulgadas; a 12 golpes, CBR de 23,00 % con el pistón de 0,1 pulgada, y 29,80 % con el pistón de 0,2 pulgadas.

Mediante el ensayo de Capacidad de Soporte CBR, con 0,1 pulgada de diámetro del pistón, al 100 % de la M.D.S se obtuvo un valor de 54,70 % y al 95 % de la M.D.S se obtuvo un valor de 35,10 %; y con 0,2 pulgadas de diámetro del pistón, al 100 % de la M.D.S se consiguió un valor de 77,80 % y al 95 % se consiguió un valor de 47,70 %.

6.1.16 Determinación del módulo de reacción de la subrasante (k)

Con la aplicación del nomograma AASHTO y el diagrama que relaciona el CBR con la clasificación del tipo suelo planteado por el MTC y la guía PCA, se asumió que el k fue 280 pci, equivalente a 76,710 MPa/m.

6.1.17 Compendio de los estudios en campo, laboratorio y gabinete

Se presenta el compendio de los resultados del estudio investigativo de diseño experimental en campo, laboratorio y gabinete al aplicar los procedimientos de las guías mencionadas, las normas y los manuales de carreteras para obtener los resultados cuantitativos con sus respectivas evidencias, como se presenta a continuación:

Tabla 47*Compendio de los estudios en campo, laboratorio y gabinete*

COMPENDIO DE LOS ESTUDIOS EN CAMPO, LABORATORIO Y GABINETE			
Estudios en campo, laboratorio y gabinete	Procedimientos de AASHTO, PCA, normas y manuales	Resultados cuantitativos	Evidencias
Campo	-	-	Foto de carretera Oyón-Ambo Foto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.
Laboratorio	-	-	-
Gabinete	Elaboración del diseño técnico del espesor de la losa del pavimento del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.	<u>AASHTO:</u> Con Bermas: 20 cm Sin Bermas: 24 cm <u>PCA:</u> Con Bermas: 22 cm Sin Bermas: 25 cm	Cálculo del espesor de losa de pavimento rígido por la guía AASHTO. Cálculo de espesor de losa de pavimento rígido por la guía PCA.
Campo	Obtención de indicadores climáticos de la zona de intervención.	- Temperaturas mínimas: -1,6 °C - Temperaturas máximas: 23,6 °C	Datos climática de la zona de estudio obtenido del SENAMHI
Laboratorio	-	-	-
Gabinete	- Aplicación de la norma de pesos y medidas-SUTRAN para determinar las cargas vehiculares. - Conteo de los vehículos que transitan sobre la vía. - Aplicación de la AASHTO para determinar del Índice de Serviciabilidad.	- Ejes equivalentes de 4 640 532,810 - Índice de serviciabilidad inicial: 4,300 Índice de serviciabilidad final: 2,500 Diferencia de serviciabilidad: 1,800	Uso de la norma de pesos y medidas - SUTRÁN. Determinación de Ejes Equivalentes empleando el Manual de Carreteras. Determinación del índice de serviciabilidad utilizando el método AASHTO y el Manual de Carreteras. Foto de Gabinete de trabajo
Campo	-	-	-
Laboratorio	-	-	-
Gabinete	Aplicación de las fórmulas propuestas por el manual de	<u>AASHTO:</u> S'c = 644,970 psi (4,450 MPa)	Cálculo del módulo de rotura por la guía AASHTO.

	pavimentos AASHTO y PCA	PCA: MR = 597,366 psi (4,120 MPa)	Cálculo del módulo de rotura por la guía PCA. Foto en Gabinete de trabajo
Campo	Uso de indicadores climáticos en la zona de intervención emitidas por el SENAMI	8 meses de clima seco y 4 meses de clima húmedo	Fichas de precipitaciones pluviales del Senamhi.
Laboratorio	-	-	-
Gabinete	Empleo del Manual de Carreteras - MTC para establecer valores de drenaje	Clasificación de drenaje buena con coeficiente 1.	Determinación del coeficiente de drenaje empleando la guía AASHTO.
Campo	Extracción de muestras de material de terreno mediante las calicatas.	Excavación de calicatas 1 y 2.	Foto de excavación de calicata 1: km 162+280. Foto de excavación de calicata 2: km 163+200.
Laboratorio	Aplicación de las pruebas de mecánica de suelos: análisis granulométrico, contenido de humedad, Próctor Modificado y CBR.	Análisis granulométrico: Grava arcillosa (GC) Contenido de humedad: 2,70 % y 3,10 % Límite líquido: 23,00 % Límite Plástico: 15,00 % Índice de plasticidad: 8,00 % Próctor modificado: 2,204 g/cm³ CBR: 36,50 % de la MDS al 95 %	Ensayos de mecánica de suelos.
Gabinete	- Uso del nomograma de la guía AASHTO para determinar el módulo de reacción de la subrasante. - Empleo del procedimiento de la guía del diseño del pavimento PCA.	AASHTO: k = 280 pci PCA: k = 280 pci	Determinación del módulo de reacción de la subrasante.

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

6.1.18 Contratación de hipótesis

En el estudio investigativo se realizó la contrastación de las hipótesis con los resultados obtenidos, mediante la experimentación, en campo, laboratorio y gabinete.

Hipótesis principal: La aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permitirán evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo; supuesto experimental que se cumplió válidamente; y que se sustentó con los resultados siguientes: En gabinete, elaboración del diseño técnico de la losa del pavimento en base a la aplicación de las metodologías AASHTO (con bermas: 20 cm y sin bermas 24 cm) y PCA (con bermas: 22 cm y sin bermas: 25 cm).

Hipótesis secundaria alterna 1: Mediante la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA se comprobará la influencia del criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto; supuesto experimental que asumió el criterio de confiabilidad; y que se sustentó en los siguientes resultados: En campo, obtención de indicadores climáticos de la zona de intervención (temperaturas mínimas: $-1,3^{\circ}\text{C}$ y temperaturas máximas: 23°C), en gabinete, aplicación de la norma de pesos y medidas SUTRAN para determinar las cargas vehiculares (Ejes Equivalentes de 4 640 532,810), conteo de vehículos y aplicación de la guía de diseño de pavimento AASHTO (Índice de Serviciabilidad Inicial: 4,300, Índice de Serviciabilidad Final: 2,300 y Diferencia de Serviciabilidad: 1,800).

Hipótesis secundaria alterna 2: Mediante el esfuerzo de compresión se comprobará la influencia del módulo de rotura menor a 4,800 Mpa para el diseño del espesor de la losa de concreto; supuesto experimental que asumió el criterio de confiabilidad; y que se sustentó en los resultados siguientes: En gabinete, aplicación de las fórmulas propuestas por el manual de diseño de pavimento AASHTO ($S'c = 4,450 \text{ MPa}$) y PCA ($MR = 4,120 \text{ MPa}$).

Hipótesis secundaria alterna 3: Mediante la absorción a la humedad se valorará la incidencia del coeficiente de drenaje en más del 25 % para el diseño del espesor la losa de concreto; supuesto experimental que asumió el criterio de confiabilidad; y que se sustentó en los resultados siguientes: En campo, uso de indicadores climáticos en la zona de intervención emitidas por SENAMI (8 meses de clima seco y 4 meses de clima húmedo), en gabinete, empleo del Manual de Carreteras MTC para establecer valores de drenaje (clasificación de drenaje: buena con coeficiente: 1).

Hipótesis secundaria alterna 4: Mediante la capacidad de carga se valorará el módulo de reacción de la subrasante menor a 100 MPa/m para el diseño del espesor de la losa de concreto; supuesto experimental que asumió el criterio de confiabilidad; y que se sustentó

en los resultados siguientes: En campo, extracción de muestras de material de terreno (calicatas 1 y 2), en laboratorio, aplicación de los ensayos de mecánica de suelos (análisis granulométrico: grava arcillosa, contenido de humedad: 2,70 % y 3,10 %, límite líquido: 23, límite plástico: 15, Índice de Plasticidad: 8, Próctor Modificado 2.204 g/cm³, y CBR: 36,50 % de la MDS al 95 %, en gabinete, uso del nomograma de la guía de pavimento AASHTO para determinar el módulo de reacción de la subrasante ($k = 76,710$ MPa/m) y empleo del procedimiento de la guía de diseño de pavimento PCA ($k = 76,710$ MPa/m).

6.2 Aporte científico de la investigación

Consideramos que, los aportes científicos de la investigación, son los siguientes:

- El estudio aporta fundamentos y viabilidad para elaborar una propuesta de diseño de espesor de losa de concreto en un tramo de carretera de la zona altoandina empleando las metodologías AASHTO y PCA.
- La investigación al haberse desarrollado en una zona altoandina, caracterizada por: altura (de más de 4 500 m s.n.m.), temperaturas (de -1,3 °C a 23,6 °C), rayos ultravioletas (de 3 uv a 6 uv), precipitaciones pluviales (de 0 mm/día a 4 mm/día) y pendiente de inclinación de la vía (en 9%), aporta no sólo los criterios de validez y confiabilidad, sino el criterio de pertinencia científica.
- El estudio investigativo al demostrar la importancia de aplicar los procedimientos de las metodologías mencionadas para evaluar los parámetros de diseño en una losa de concreto altoandina, articulando técnicamente los estudios en campo, laboratorio y gabinete, contribuye con mayor información a la comunidad científica.
- La investigación al formular juicios de valor para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto (tráfico, confiabilidad, desviación estándar normal, módulo de reacción de la subrasante, módulo de rotura de concreto, coeficiente de drenaje, transferencia de carga y factor de seguridad), contribuye con el mejoramiento continuo de estudiantes e investigadores.
- El estudio demuestra que la aplicación de las metodologías antes mencionadas sirven para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto altoandina.

La investigación en todos los grados y los títulos se considera un aporte importante para la comunidad académica que valora y reconoce el trabajo y la perseverancia de docentes y estudiantes de la universidad en los campos de la ciencia y la tecnología.

6.3 Conclusiones

Se demostró que la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permite evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. La evaluación de los parámetros en campo, laboratorio y gabinete probó la importancia de aplicar ambas metodologías a fin de diseñar la superficie de rodadura rígida. Mediante la aplicación del método AASHTO se determinó que el espesor de la losa, con bermas de concreto, fue de 20 cm; y, sin bermas de concreto, 24 cm. Empleando el método PCA, se asumió que el grosor de losa, con bermas de concreto, fue de 22 cm; y, sin bermas de concreto, 25 cm, llegándose a la conclusión de que se acepta la hipótesis general planteada para la presente investigación.

Se comprobó por qué las metodologías AASHTO y PCA influyen en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto en el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. Después de aplicar los procedimientos AASHTO y PCA se determinó su importancia en el criterio de durabilidad del pavimento de concreto rígido asumiendo que soportará temperaturas de $-1,6^{\circ}\text{C}$ a $23,6^{\circ}\text{C}$, Ejes Equivalentes de 4 640 532,81 y una diferencia de serviciabilidad de 1,80 para el período de 20 años, llegándose a la conclusión de que se acepta la hipótesis específica planteada para la presente investigación.

Se comprobó por qué el esfuerzo de compresión influye en el módulo de rotura para el diseño del espesor de la losa de concreto, aplicando las metodologías AASHTO y PCA, en el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. Al aplicar en el diseño de la losa de concreto el esfuerzo de compresión de 280 kg/cm^2 se obtuvo el módulo de rotura por el método AASHTO 4,450 MPa; y por el PCA, 4,120 MPa, llegándose a la conclusión de que se acepta la hipótesis específica planteada para la presente investigación.

Se valoró por qué la absorción a la humedad incide en el coeficiente de drenaje para el diseño del espesor de la losa de concreto, aplicando las metodologías AASHTO y PCA, en el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. Después de aplicar en la losa de concreto las normativas y los procedimientos materia de estudio se asumió que la calidad de drenaje fue buena; el tiempo de exposición del pavimento a niveles de humedad, mayor al 25 %; y el valor del coeficiente de drenaje, 1, llegándose a la conclusión de que se acepta la hipótesis específica planteada para la presente investigación.

Se valoró por qué la capacidad de carga influye en el módulo de reacción de la subrasante para el diseño del espesor de la losa de concreto, aplicando las metodologías AASHTO y PCA, en el km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo. Al

desarrollar la prueba CBR en las tres muestras, se obtuvieron los resultados siguientes: En la C1 M-01 el CBR fue 29,10 %; en la C2 M-01 el CBR, 29,40 %; y en la C2 M-02 el CBR, 38,90 %. Relacionando el promedio de los porcentajes de CBR y el módulo resiliente se obtuvo el módulo de reacción de subrasante igual a 76,710 MPa/m, llegándose a la conclusión de que se acepta la hipótesis específica planteada para la presente investigación.

6.4 Recomendaciones

Los investigadores que apliquen los métodos AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de las losas de concreto deben dominar la fundamentación teórica y la aplicación práctica de sus procedimientos para lograr un eficiente estudio.

En todo diseño de pavimentos rígidos en carreteras se deben considerar los análisis de campo, laboratorio y gabinete a fin de que los investigadores obtengan datos confiables y válidos que sustenten su trabajo.

Las futuras investigaciones, de diseño experimental, relacionadas con la planificación de losas de concreto, deben tener en cuenta la validez de los ensayos de laboratorio y los estándares de calidad de las normas técnicas.

Para evaluar los parámetros de diseño de las carreteras rurales altoandinas del territorio nacional, las metodologías estudiadas tienen alta confiabilidad; por lo que, deben aplicarse técnicamente sus procedimientos.

Las metodologías AASHTO y PCA al influir en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto se debe considerar las variaciones y fenómenos climatológicos en la zona de intervención, la cantidad y tipo de vehículos que transitarán, y el diseño del pavimento empleando adecuados materiales para su ejecución.

Se debe obtener el módulo resiliente mediante las fórmulas propuestas por el MTC y las guías de diseño de pavimentos, cuando éstos contengan estratos rocosos a poca profundidad.

Es indispensable efectuar las pruebas confiables de mecánica de suelos del proyecto de carretera porque nos permite determinar las propiedades y características de cada estrato, para diseñar el pavimento.

En la carretera Oyón- Ambo, para el diseño de vías vehiculares duraderas, se deben aplicar eficientemente los métodos AASHTO y PCA de pavimentos, con el fin de que su ejecución sea viable y a menor costo y tiempo.

Bibliografía

- American Association of State Highway and Transportation (1993). *Guide for Design of Pavements Structures*. Washington: AASHTO.
- Arias Odón, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas: EPISTEME, C.A.
- ASOCEM. (2015). *ASOCEM*. Obtenido de <http://web.asocem.org.pe/asocem/opac/principal.php>
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México. PATRIA.
- Becerra Salas, M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto*. Lima. Flujo Libre.
- Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá. PEARSON.
- Braja M., D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Santa Fe. Cengage Learning.
- Cabrera Illescas, A. & Urgiles Parra, D. (2017). *Análisis de sensibilidad de parámetros en el diseño de pavimentos rígidos por los métodos AASHTO y PCA* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca].
- Campana, J., & Lima, A. (2014). *Conceptos de Pavimentos*. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires.
- Chang Arbitres, C. (2016). *Guía Metodológica de Diseños Equivalentes de Pavimentos*. ASOCEM.
- Laboratorio Estratos. (2021). *Ensayos de Mecánica de Suelos*. Lima Perú.
- Gómez Betancourt, E. (2012). *Ingeniería de Pavimentos para Carretera*. Colombia. Universidad Católica de Colombia.
- Guiesecke Sara Lafosse, M. (Diciembre de 2020). *SCIELO PERÚ*. Obtenido de Elaboración y pertinencia de la matriz de consistencia cualitativa para las investigaciones en ciencias sociales: <http://orcid.org/0000-0001-7603-3202>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hil / Interamericana Editores.
- Informática, I. N. (Octubre de 2018). *Huánuco, resultados definitivos*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1570/10TOMO_01.pdf
- Informática, I. N. (Octubre de 2018). *Pasco, resultados definitivos*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1572/19TOMO_01.pdf

- Informática, I. N. (Octubre de 2018). *Región Lima, resultados definitivos*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1550/15BTOMO_01.pdf
- Informática, I. N. (Mayo de 2021). *Perú: Población 2021*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1803/libro.pdf
- Menéndez Acurio, J. (2012). *Ingeniería de Pavimentos*. Lima: Instituto de Construcción y Gerencia.
- Minchán Lezcano, C. (2019). *Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca-2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- Montejo Fonseca, A. (2012). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá. Universidad Católica de Colombia.
- Morán Fernández, B. y Solís Mendoza, E. (2019). *Rediseño de la estructura del pavimento de la av. Piedrahita mediante los métodos AASHTO-93 y PCA del Cantón Daule, provincia del Guayas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos*. Lima: Squadrito EIRL.
- Muñoz Rocha, C. (2015). *Metodología de la Investigación*. Oxford University.
- Nova Moreno, J. (2017). *Propuesta de rehabilitación del pavimento rígido en la calle 127D entre carreras 93F y carrera 96 barrio El Rubí, de la localidad de Suba-Bogotá* [Tesis de posgrado, Universidad Militar Nueva Granada].
- Portland Cement Association (1995). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*.
- Quintana, S. (2020). *Clave para armar una Tesis*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Schwap, K. (2018). *World Economic Forum*. Obtenido de <https://www3.weforum.org/docs/GCR2017-2018/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2017%E2%80%932018.pdf>
- Senamhi. (2021). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional 2020-2021*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Sinti Pinedo, J. (2017). *Diseño de pavimento vehicular y peatonal del Centro Poblado Culebreros, Santa Catalina de Mossa*. UCV.

- Uribe García, M. A. (2018). *Geotécnia y Pavimentos*. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres.
- Ticona Chino, W. (2021). *Evaluación técnica y económica de os métodos AASHTO y PCA en el diseño de pavimento rígido en la avenida Héroes del Cenépa, Ilave, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Tiznado Aguilar, B & Zavaleta Pejerrey, J. (2021). *Diseño de pavimento rígido aplicando los métodos AASHTO 93 y PCA en la carretera Matacoto, Yungay – Ancash – 2020* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].

Anexos

Anexo 2: Matriz de Operacionalización de Variables

Proceso lógico de desagregación de los elementos más abstractos, hasta llegar al nivel más concreto, producidos en la realidad y que representan indicios del concepto, pero que podemos observar, recoger, valorar, es decir, sus indicadores. (Quintana , 2020).

Tabla 48

Tabla de Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ENSAYOS/ INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE: Metodologías AASHTO y PCA	“La metodología AASHTO es una guía que proporciona procedimientos usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos”. (AASHTO, 1993). “La metodología PCA es una guía de procedimientos para determinar los espesores de losas en el diseño de estructuras de pavimentos rígidos”. (Portland Cement Asociation, 1995)	Las metodologías AASHTO son guías generales que interrelaciona: módulo de ruptura, factor de seguridad, módulo de reacción de la subrasante, coeficiente de drenaje, transferencia de carga, confiabilidad para diseñar el espesor de la losa de concreto.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Parámetros ➤ Dimensiones 	Módulo de ruptura Factor de seguridad de carga Módulo de reacción de subrasante Relación de Soporte de California (CBR). Transferencia de carga Coeficiente de drenaje Tráfico Resistencia a la rigidez Espesor de losa Rugosidad	Fichas de inspección de campo. Fichas para el conteo de los vehículos Fichas de especificaciones técnicas Fichas de evaluaciones climatológicas Fichas de conteo vehicular Ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos. Nomograma para la estimación del módulo compuesto de la reacción de la subrasante. Nomograma de corrección del módulo efectivo de reacción de la subrasante por la posible pérdida de soporte de la subbase.
VARIABLE DEPENDIENTE: Parámetros de diseño de la losa de concreto	“Los parámetros de diseño para pavimentos está definida como criterios indispensables que debe ser considerado para el procedimiento de diseño de cada tipo de superficie de pavimento”. (Guide for design of pavements structures).	El parámetro de diseño asume las siguientes características: resistencia a la rigidez, resistencia a la compresión, durabilidad, absorción a la humedad y capacidad de carga, para una construcción efectiva.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esfuerzos ➤ Pavimentos ➤ Carreteras 	Esfuerzo de compresión Durabilidad Capacidad de carga Compresión Módulo de rotura Flexión Permeabilidad Absorción	Tabla de niveles de confiabilidad para carreteras. Tablas de desviación estándar normal respecto a niveles de confiabilidad. Tabla del gráfico para la estimación del módulo compuesto de reacción de la subrasante. Tabla de corrección del módulo efectivo de reacción de la subrasante por la posible pérdida de soporte de la subbase. Tabla de coeficientes de transferencia de carga por tipos de pavimentos. Ensayo de contenido de humedad en los agregados.

Anexo 3: Matriz de Consistencia

Es una herramienta metodológica para ordenar, jerarquizar, estructurar y controlar los conceptos, las categorías, las dimensiones y las variables, entre el objeto o fenómeno que se quiere estudiar y los atributos que se le asignan. (Guiesecke Sara Lafosse, 2020).

Tabla 49

Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA PRINCIPAL ¿Por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo?</p>	<p>OBJETIVO PRINCIPAL Demostrar por qué la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permiten evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la carretera Oyón-Ambo.</p>	<p>HIPÓTESIS PRINCIPAL La aplicación de las metodologías AASHTO y PCA permitirán evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al km 163+219 de la Carretera Oyón-Ambo.</p>	<p>Variable Independiente METODOLOGÍAS AASHTO y PCA</p>	<p>ENFOQUE Cuantitativo</p>
<p>PROBLEMAS SECUNDARIOS ¿Por qué las metodologías AASHTO y PCA comprueban la influencia del criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto? ¿Por qué el esfuerzo de compresión comprueba la influencia del módulo de rotura para el diseño del espesor de la losa de concreto? ¿Por qué la absorción a la humedad valora la incidencia del coeficiente de drenaje para el diseño de espesor de la losa de concreto? ¿Por qué la capacidad de carga valora la influencia del módulo de reacción de la subrasante para el diseño del espesor de la losa de concreto?</p>	<p>OBJETIVOS SECUNDARIOS Comprobar por qué las metodologías AASHTO y PCA influyen en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto. Comprobar por qué el esfuerzo de compresión influye en el módulo de rotura para el diseño del espesor de la losa de concreto. Valorar por qué la absorción a la humedad incide en el coeficiente de drenaje para el diseño de espesor de la losa de concreto. Valorar por qué la capacidad de carga influye en el módulo de reacción de la subrasante para el diseño del espesor de la losa de concreto.</p>	<p>HIPÓTESIS SECUNDARIAS Mediante la aplicación de las metodologías AASHTO y PCA se comprobará la influencia en el criterio de durabilidad para el diseño del espesor de la losa de concreto. Mediante el esfuerzo de compresión se comprobará la influencia del módulo de rotura menor a 4.8 Mpa para el diseño del espesor de la losa de concreto. Mediante la absorción a la humedad se valorará la incidencia del coeficiente de drenaje en más del 25% para el diseño del espesor de la losa de concreto. Mediante la capacidad de carga se valorará el módulo de reacción de la subrasante menor a 100 MPa/m para el diseño del espesor de la losa de concreto.</p>	<p>Variable Dependiente PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO</p>	<p>NIVEL Explicativo ESTADÍSTICA Estadística Descriptiva Estadística Inferencial</p>

Anexo 4: Presupuesto de la investigación**Tabla 50***Presupuesto del diseño y desarrollo del estudio investigativo*

PRESUPUESTO				
Trabajo de Campo			S/	4700,00
Descripción	UND	CANT	P.U	P. PARCIAL
Pasajes (Lima-Oyón-Ambo-Lima) (Ida - Vuelta)	und	10	120	1200
Alimentación	días	20	80	1600
Estadía	días	20	80	1600
Calicatas y extracción de muestras	días	2	150	300
Trabajo en Laboratorio			S/	910,00
Descripción	UND	CANT	P.U	P. PARCIAL
Pasajes (ida - vuelta)	und	14	15	210
Ensayo de Límite Líquido	und	1	60	60
Ensayo de Límite Plástico	und	1	60	60
Ensayo de Clasificación SUCS O AASHTO	und	1	110	110
Ensayo de Análisis granulométrico	und	1	90	90
Ensayo de Próctor Modificado	und	1	160	160
Ensayo de Soporte California o CBR	und	1	220	220
Trabajo en Gabinete			S/	267,50
Descripción	UND	CANT	P.U	P. PARCIAL
Softwares	und	2	15	30
Impresiones de formatos y fichas	und	25	1.5	37,5
Impresión de tesis	und	10	20	200
TOTAL			= S/	5877,50

Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Anexo 5: Panel fotográfico

Figura 35

Provincia de Oyón - Región Lima



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Figura 36

Plaza de la provincia de Oyón - Región Lima



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Figura 37

Provincia de Ambo - Región Huánuco



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Figura 38

Plaza de la provincia de Ambo - Región Huánuco



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Anexo 6: Ensayo granulométrico de la Calicata 1 – M 01

 LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO <small>(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-98)</small>							
DATOS DE LA MUESTRA							
TESIS	:	Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021					
UBICACIÓN	:	km 162+280					
CALICATA	:	C-1					
PROFUNDIDAD	:	0.00 - 0.20 m					
FECHA	:	11/12/2021					
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion	Descripcion
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (gr) 5,027.5
3"	73.000						Peso Fraccion Fina (gr) 798.5
2 1/2"	60.300						
2"	50.800				100.0		2. Características
1 1/2"	37.500	315.0	6.3	6.3	93.7		Tamaño Maximo 2"
1"	25.400	738.0	14.7	21.0	79.1		Tamaño Maximo Nominal 1 1/2"
3/4"	19.000	244.0	4.9	25.8	74.2		Grava (%) 59.4
1/2"	12.700	464.0	9.2	35.0	65.0		Arena (%) 28.3
3/8"	9.520	363.0	7.2	42.3	57.8		Finos (%) 12.3
1/4"	6.350						Modulo de Fineza (%)
N° 4	4.750	860.0	17.1	59.4	40.6		
N° 8	2.380	588.0	11.3	70.7	29.3		3. Clasificación
N° 10	2.000	86.0	1.7	72.4	27.6		Limite Liquido (%) 22
N° 16	1.190	253.0	5.0	77.4	22.6		Limite Plastico (%) 14
N° 20	0.850	98.0	2.0	79.4	20.7		Indice de Plasticidad (%) 8
N° 30	0.600	87.0	1.7	81.1	18.9		Clasificación SUCS GC
N° 40	0.420	84.0	1.7	82.8	17.3		Clasificación AASHTO A-2-4 (0)
N° 50	0.300	69.0	1.4	84.1	15.9		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180	82.0	1.6	85.8	14.3		
N° 100	0.150	31.0	0.6	86.4	13.6		
N° 200	0.075	65.0	1.3	87.7	12.3		
Pasante		619.7	12.3	100.0	0.0		



Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

Anexo 7: Ensayo de Límites de consistencia de la Calicata 1 – M 01



ESTRATOS
INGENIERIA & CONSTRUCCION

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

LIMITES DE CONSISTENCIA
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318 / AASHTO T-90, T-89)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
 UBICACIÓN : km 162+280
 CALICATA : C-1
 PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.20 m
 FECHA : 11/12/2021

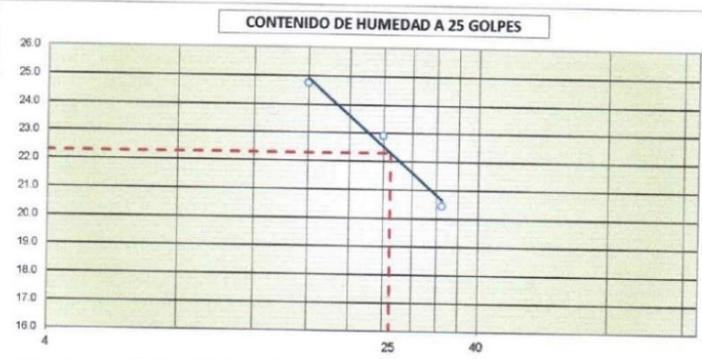
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N° de Tarro		19	5	12	
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.	25.41	22.65	23.54	
Peso de Tarro + Suelo Seco	gr.	22.60	20.36	21.61	
Peso de Tarro	gr.	11.25	10.36	11.58	
Peso de Agua	gr.	2.81	2.29	2.03	
Peso del Suelo Seco	gr.	11.35	10.00	9.93	
Contenido de Humedad	%	24.76	22.90	20.44	
Numero de Golpes		16	24	33	22

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

N° de Tarro		10	19		
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.	35.51	36.78		
Peso de Tarro + Suelo seco	gr.	34.41	35.72		
Peso de Tarro	gr.	26.76	26.06		
Peso de Agua	gr.	1.10	1.06		
Peso de Suelo seco	gr.	7.65	7.66		
Contenido de Humedad	%	14.38	13.84		
					14

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



Constantes Fisicas de la Muestra

Limite Liquido	22
Limite Plastico	14
Indice de Plasticidad	8

Observaciones

Pasante Tamiz N° 40



HUGO M. AGUILAR HUMÁN
ING. CIVIL
CIP. 94664

Anexo 8: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 1 – M 01

	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD	
(MTC E-108 / ASTM D-2216)	
DATOS DE LA MUESTRA	
TESIS	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
UBICACIÓN	: km 162+280
CALICATA	: C-1
PROFUNDIDAD	: 0.00 - 0.20 m
FECHA	: 13/12/2021
Contenido de Humedad Muestra Integral :	

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	560.0	490.0
Peso de la tara + muestra seca (gr)	532.0	465.0
Peso del agua contenida (gr)	28.0	25.0
Peso de la muestra seca (gr)	532.0	465.0
Contenido de Humedad (%)	5.3	5.4
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.3	


 HUGO M. AGUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CIP: 94664

Anexo 9: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 1 – M 01



ESTRATOS
INGENIERIA & CONSTRUCCION

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
RELACION DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR)
(MTC E-115, E 116 / ASTM D-1557, D 698 / AASHTO T-180)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
UBICACIÓN : km 162+280
CALICATA : C-1
PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.20 m
FECHA : 15/12/2021

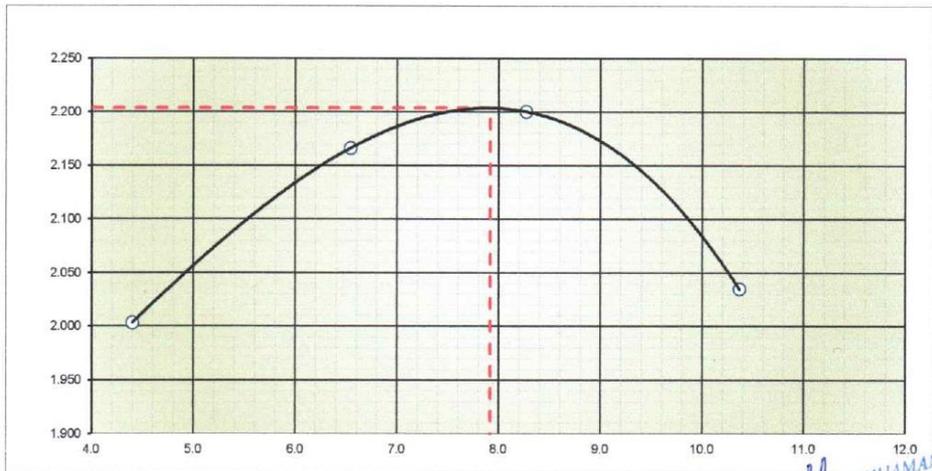
Molde N° 1	Diametro Molde			Volumen Molde	2059	m3.	N° de capas	5
	4"	6"						
	A	B	C	Peso Molde	5946	gr.	N° de golpes	56 Gp

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	10,252	10,698	10,851	10,570	
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4,306	4,752	4,905	4,624	
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,091	2,306	2,382	2,246	
Recipiente Numero		20	20	18	18	
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	572.3	653.7	569.4	557.1	
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	558.5	628.6	544.8	528.0	
Peso de la Tara	gr.	245	245	247	247	
Peso del agua	gr.	13.8	25.1	24.6	29.1	
Peso del suelo seco	gr.	314	384	298	281	
Contenido de agua	%	4.4	6.5	8.3	10.4	
Densidad Seca	gr/cc	2.003	2.166	2.200	2.035	

RESULTADOS

Densidad Máxima Seca	2.204	(gr/cm3)	Humedad óptima	8.00	%
----------------------	--------------	----------	----------------	-------------	---

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. A. LLAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 C.I.F. 93664

Anexo 10: Ensayo de CBR de la Calicata 1 – M 01

															
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR <small>(MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-193)</small>															
DATOS DE LA MUESTRA															
TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambó : 2021 UBICACIÓN : km 162+280 CALICATA : C-1 PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.20 m FECHA : 15/12/2021															
CÁLCULO DEL CBR															
Molde Nº	2			5			7								
Capas Nº	5			5			5								
Golpes por capa Nº	58			25			12								
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO				
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13553.4		13824.5		11366.8		12630.9		12103.2		12345.3				
Peso de molde (g)	8547.0		8547.0		6498.0		6498.0		7579.0		7579.0				
Peso del suelo húmedo (g)	5006.4		5277.5		4868.8		6132.9		4524.2		4766.3				
Volumen del molde (cm ³)	2105.0		2105.0		2105.0		2105.0		2111.0		2111.0				
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.378		2.507		2.313		2.913		2.143		2.268				
Tara (Nº)															
Peso suelo húmedo + tara (g)	396.8		374.6		396.8		374.7		354.9		409.6				
Peso suelo seco + tara (g)	386.5		365.2		385.4		385.4		347.6		395.4				
Peso de tara (g)	256.3		256.7		256.3		256.3		254.1		250.5				
Peso de agua (g)	10.3		9.4		11.4		9.3		7.3		14.2				
Peso de suelo seco (g)	130.2		108.5		129.1		108.1		93.5		144.9				
Contenido de humedad (%)	7.9		8.7		8.8		8.5		7.8		9.8				
Densidad seca (g/cm ³)	2.204		2.307		2.126		2.686		1.988		2.066				
EXPANSION															
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION					
				mm	%		mm	%		mm	%				
15/12/21	10:20 am	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0	0.000	0.000				
16/12/21	10:20 am	24	8.00	0.203	0.177	14.00	0.356	0.356	25.00	0.635	0.552				
17/12/21	10:20 am	48	11.00	0.279	0.243	16.00	0.406	0.406	28.00	0.711	0.618				
18/12/21	10:20 am	72	13.00	0.330	0.287	19.00	0.483	0.483	35.00	0.889	0.773				
19/12/21	10:20 am	96	16.00	0.406	0.353	25.00	0.635	0.635	40.00	1.016	0.883				
PENETRACION															
PENETRACION		CARGA		MOLDE Nº		M-02		MOLDE Nº		M-05		MOLDE Nº		M-07	
		STAND.	CARGA	CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION			
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000	0.000		0	0	kg/cm2		0	0.0			0	0.0			
0.635	0.025		30	130.1			18	78.4			13	56.9			
1.270	0.050		58	250.6			43	186.1			33	143.0			
1.905	0.075		84	362.4			72	310.8			68	293.6			
2.540	0.100	70.5	125	538.5	539	38.2	105	410.0	410	29.1	92	380.0	380.0	27.0	
3.180	0.125		105	710.0			134	577.1			115	495.0			
3.810	0.150		186	799.9			152	654.3			138	594.2			
5.080	0.200	105.7	224	880.0	880	41.6	189	720.0	720	34.1	159	648.3	648	30.7	
6.350	0.250		256	1030.9			215	868.4			186	724.2			
7.620	0.300		290	1099.2			248	924.0			205	800.0			
10.160	0.400			1244.3				1065.0				861.0			
12.700	0.500														

Dirección: Calle La Victoria Nº 130 S.M.P
Teléfono: 965142534
Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. VILLAR HUAMAN
ING. CIVIL
CIP: 94664



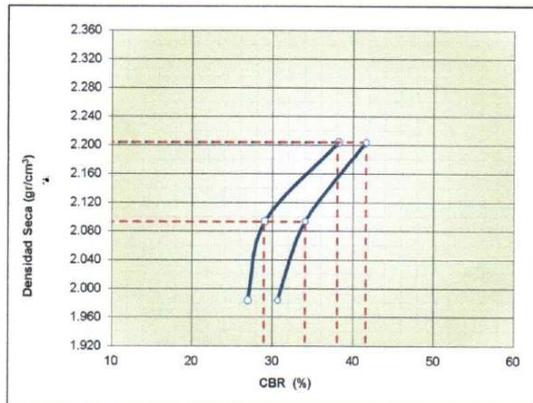
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR

(MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-183)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
 UBICACIÓN : km 162+280
 CALICATA : C-1
 PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.20 m
 FECHA : 15/12/2021

REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR

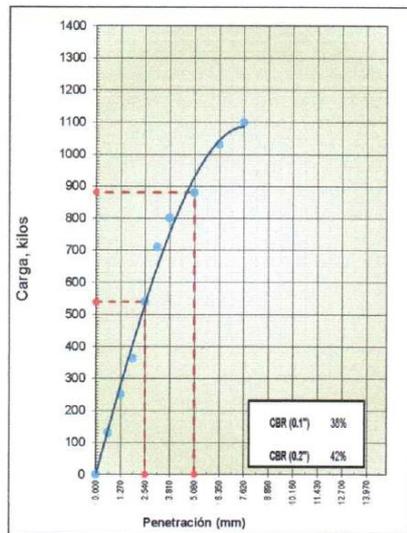


METODO DE COMPACTACION	: AASHTO T-180
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.204
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 8.00
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.093
	1.983

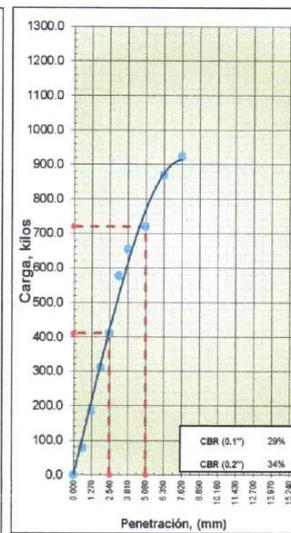
RESULTADOS:	
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.1"	= 38.0 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.1"	= 29.0 %
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.2"	= 41.6 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.2"	= 34.1 %

OBSERVACIONES:

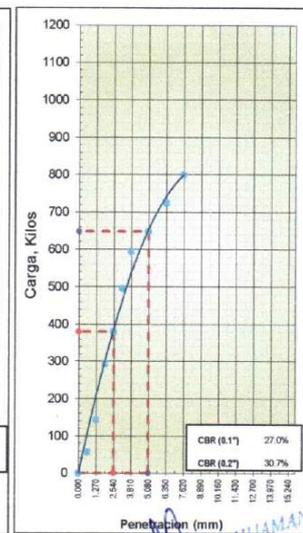
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

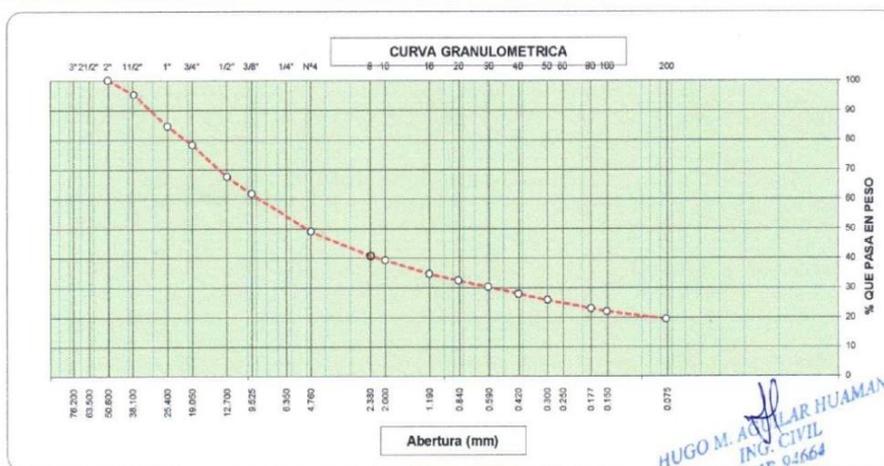


Dirección: Calle La Victoria Nº 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. QUILLAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CIP: 94664

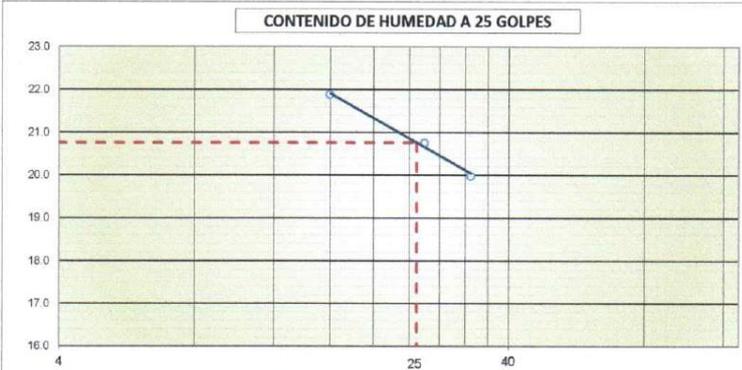
Anexo 11: Ensayo granulométrico de la Calicata 2 – M 01

							
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO							
(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-68)							
DATOS DE LA MUESTRA							
TESIS	:	Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021					
UBICACIÓN	:	km 163+200					
CALICATA	:	C-2					
PROFUNDIDAD	:	0.00 - 0.20 m					
FECHA	:	11/12/2021					
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificación	Descripcion
5"	127.000						1. Peso de Material
4"	101.600						Peso Inicial Total (gr) 4,878.7
3"	73.000						Peso Fraccion Fina (gr) 750.3
2 1/2"	60.300						
2"	50.800				100.0		2. Características
1 1/2"	37.500	232.0	4.8	4.8	95.2		Tamaño Maximo 2"
1"	25.400	526.0	10.8	15.5	84.5		Tamaño Maximo Nominal 1 1/2"
3/4"	19.000	308.0	6.3	21.9	78.2		Grava (%) 51.0
1/2"	12.700	523.0	10.7	32.6	67.4		Arena (%) 29.7
3/8"	9.520	282.0	5.8	38.4	61.7		Finos (%) 19.3
1/4"	6.350						Modulo de Fineza (%)
N° 4	4.750	618.0	12.7	51.0	49.0		
N° 8	2.360	404.0	8.3	59.3	40.7		3. Clasificación
N° 10	2.000	71.0	1.5	60.8	39.2		Limite Liquido (%) 21
N° 16	1.190	231.0	4.7	65.5	34.5		Limite Plastico (%) 14
N° 20	0.850	109.0	2.2	67.7	32.3		Indice de Plasticidad (%) 7
N° 30	0.600	104.0	2.1	69.8	30.2		Clasificación SUCS GM-GC
N° 40	0.420	112.0	2.3	72.1	27.9		Clasificación AASHTO A-2-4 (0)
N° 50	0.300	100.0	2.1	74.2	25.8		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180	140.0	2.9	77.1	23.0		
N° 100	0.150	49.0	1.0	78.1	22.0		
N° 200	0.075	128.0	2.6	80.7	19.3		
Pasante		942.7	19.3	100.0	0.0		



Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

Anexo 12: Ensayo de Límite de consistencia de la Calicata 2 – M 01

 ESTRATOS INGENIERIA & CONSTRUCCION													
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS													
LIMITES DE CONSISTENCIA													
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318 / AASHTO T-80, T-89)													
DATOS DE LA MUESTRA													
TESIS	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021												
UBICACIÓN	: km 163+200												
CALICATA	: C-2												
PROFUNDIDAD	: 0.00 - 0.20 m												
FECHA	: 11/12/2021												
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO													
N° de Tarro	2 6 17												
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr. 24.26 23.26 24.56												
Peso de Tarro + Suelo Seco	gr. 22.59 21.54 22.35												
Peso de Tarro	gr. 14.23 13.25 12.25												
Peso de Agua	gr. 1.67 1.72 2.21												
Peso del Suelo Seco	gr. 8.36 8.29 10.10												
Contenido de Humedad	% 19.98 20.75 21.88												
Numero de Golpes	33 26 16												
Limite Liquido													
21													
DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD													
N° de Tarro	11 9												
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr. 22.25 23.56												
Peso de Tarro + Suelo seco	gr. 21.31 22.62												
Peso de Tarro	gr. 14.68 15.99												
Peso de Agua	gr. 0.94 0.94												
Peso de Suelo seco	gr. 6.63 6.63												
Contenido de Humedad	% 14.18 14.18												
Limite Plastico													
14													
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES													
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Constantes Físicas de la Muestra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Limite Liquido</td> <td style="text-align: center;">21</td> </tr> <tr> <td>Limite Plastico</td> <td style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td>Indice de Plasticidad</td> <td style="text-align: center;">7</td> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Observaciones</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 10px;">Pasante Tamiz N° 40</td> </tr> </tbody> </table>	Constantes Físicas de la Muestra		Limite Liquido	21	Limite Plastico	14	Indice de Plasticidad	7	Observaciones		Pasante Tamiz N° 40	
Constantes Físicas de la Muestra													
Limite Liquido	21												
Limite Plastico	14												
Indice de Plasticidad	7												
Observaciones													
Pasante Tamiz N° 40													


HUGO M. AGUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CIP. 94664

Anexo 13: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 2 – M 01

	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD	
(MTC E-108 / ASTM D-2216)	
DATOS DE LA MUESTRA	
TESIS 0	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
UBICACIÓN	: km 163+200
CALICATA	: C-2
PROFUNDIDAD	: 0.00 - 0.20 m
FECHA	: 13/12/2021
Contenido de Humedad Muestra Integral :	

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	620.0	600.0
Peso de la tara + muestra seca (gr)	607.0	582.0
Peso del agua contenida (gr)	13.0	18.0
Peso de la muestra seca (gr)	421.4	582.0
Contenido de Humedad (%)	3.1	3.1
Contenido de Humedad Promedio (%)	3.1	


 HUGO M. AGUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CIP. 92664

Anexo 14: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 2 – M 01



ESTRATOS
INGENIERIA & CONSTRUCCION

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
RELACION DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR)
(MTC E-115, E 116 / ASTM D-1557, D 698 / AASHTO T-180)

DATOS DE LA MUESTRA

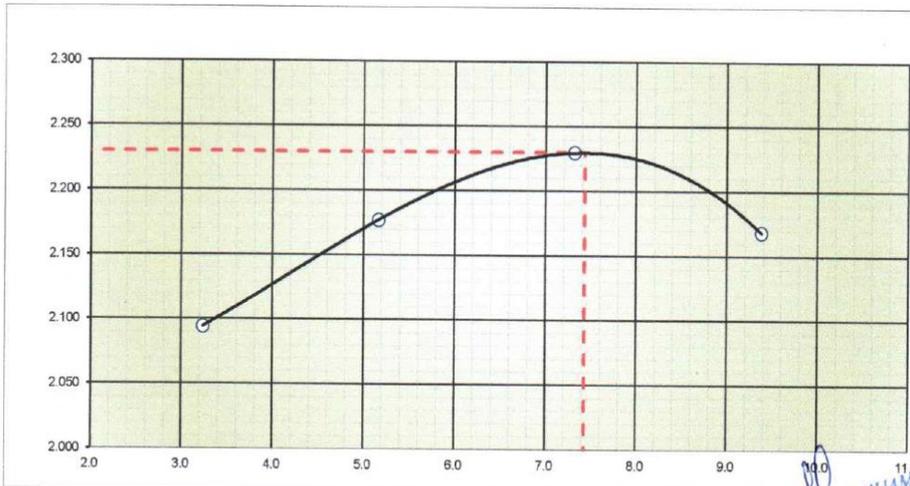
TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
 UBICACIÓN : km 163+200
 CALICATA : C-2
 PROFUNDIDAD : 0,00 - 0,20 m
 FECHA : 15/12/2021

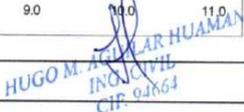
Molde N° 1	Diametro Molde	4"	6"		Volumen Molde	2115	m3.	N° de capas	5
	Metodo	A	B	C	Peso Molde	5977	gr.	N° de golpes	56 Glp

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4	5
Peso Suelo + Molde	gr.	10,560	10,819	11,038	10,993	
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4,573	4,842	5,061	5,016	
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,162	2,289	2,393	2,372	
Recipiente Numero						
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	870.0	1,331.9	1,126.5	1,169.5	
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	850.5	1,278.7	1,066.6	1,090.5	
Peso de la Tara	gr.	248	248	248	248	
Peso del agua	gr.	19.5	53.2	59.9	79.0	
Peso del suelo seco	gr.	603	1,031	819	842	
Contenido de agua	%	3.2	5.2	7.3	9.4	
Densidad Seca	gr/cc	2.094	2.177	2.230	2.168	

RESULTADOS					
Densidad Máxima Seca	2.230	(gr/cm3)	Humedad óptima	7.00	%

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA





HUGO M. AGUILAR HUAMAN
INGENIERO CIVIL
CIP. 04864

Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

Anexo 15: Ensayo de CBR de la Calicata 2 – M 01

															
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-193)															
DATOS DE LA MUESTRA															
TESIS	Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo														
	2021														
UBICACIÓN	km 163+200														
CALICATA	C-2														
PROFUNDIDAD	0.00 - 0.20 m														
FECHA	15/12/2021														
CALCULO DEL CBR															
Molde N°	A09				A10				A05						
Capas N°	5				5				5						
Golpes por capa N°	56				25				12						
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO				
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12924.0		13163.1		13452.6		13731.9		12460.4		12720.0				
Peso de molde (g)	7950.0		7950.0		8547.0		8547.0		7809.0		7809.0				
Peso del suelo húmedo (g)	4974.0		5213.1		4905.6		5184.9		4651.4		4911.0				
Volumen del molde (cm ³)	2077.0		2077.0		2105.0		2105.0		2104.0		2104.0				
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.395		2.510		2.330		2.463		2.211		2.334				
Tara (N°)															
Peso suelo húmedo + tara (g)	770.3		570.2		516.7		657.9		728.8		836.0				
Peso suelo seco + tara (g)	734.5		546.3		498.1		625.4		695.3		787.0				
Peso de tara (g)	250.5		247.3		250.5		247.3		246.8		248.1				
Peso de agua (g)	35.8		23.9		18.6		32.5		33.5		49.0				
Peso de suelo seco (g)	484.0		299.0		247.6		378.1		448.5		538.9				
Contenido de humedad (%)	7.4		8.0		7.5		8.6		7.5		9.1				
Densidad seca (g/cm ³)	2.230		2.324		2.168		2.268		2.057		2.140				
EXPANSION															
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION					
				mm	%		mm	%		mm	%				
15/12/21	11:20 am	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0	0.000	0.000				
16/12/21	11:20 am	24	0.33	0.008	0.007	16.00	0.406	0.406	22.00	0.559	0.486				
17/12/21	11:20 am	48	0.36	0.009	0.008	20.00	0.508	0.508	29.00	0.737	0.641				
18/12/21	11:20 am	72	0.56	0.014	0.012	28.00	0.711	0.711	36.00	0.889	0.773				
19/12/21	11:20 am	96	0.71	0.018	0.016	36.00	0.914	0.914	42.00	1.067	0.928				
PENETRACION															
PENETRACION		CARGA		MOLDE N°		A09		MOLDE N°		A10		MOLDE N°		A05	
		STAND.													
mm	psig	kg/cm ²	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000	0.000		0	0	kg/cm ²		0	0.0			0	0.0			
0.635	0.025		30	112.9			18	78.4			13	56.9			
1.270	0.050		58	349.5			43	220.5			33	117.2			
1.905	0.075		84	658.6			72	358.1			66	173.2			
2.540	0.100	70.5	125	870.0	870	61.7	105	560.0	560	39.7	92	237.7	237.7	16.9	
3.180	0.125		165	1146.2			134	780.0			115	323.7			
3.810	0.150		186	1525.4			152	915.0			138	388.2			
5.080	0.200	105.7	224	1801.6	1,837	86.9	189	1070.0	1,070	50.6	159	490.0	490	23.2	
6.350	0.250		256	2066.2			215	1280.7			186	610.7			
7.620	0.300		290	2330.8			248	1491.4			205	731.4			
10.160	0.400			2659.8				1763.4				864.1			
12.700	0.500														

Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. A. ARHUAMAN
 INGENIERO CIVIL
 CIP 93364



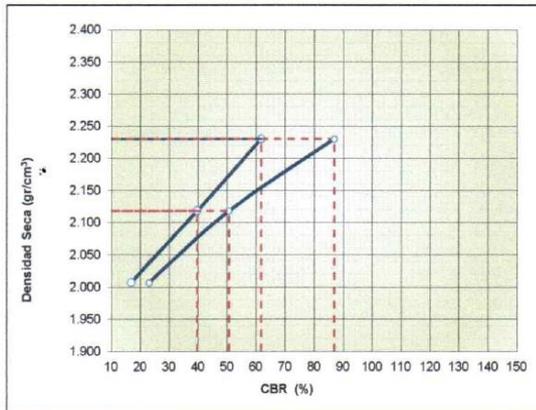
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR

(MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-193)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
 UBICACIÓN : km 163+200
 CALICATA : C-2
 PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.20 m
 FECHA : 15/12/2021

REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR



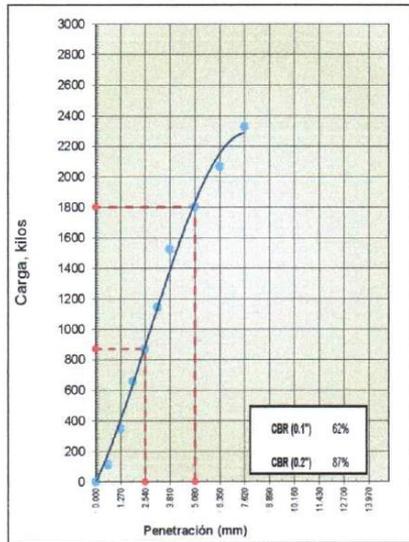
METODO DE COMPACTACION	: AASHTO T-180
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2.230
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 7.00
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	: 2.118
	: 2.007

RESULTADOS:

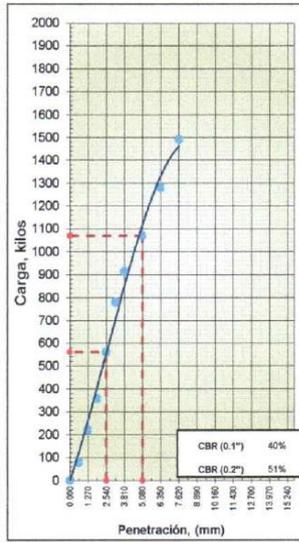
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.1"	= 61.7 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.1"	= 39.7 %
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.2"	= 86.9 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.2"	= 50.7 %

OBSERVACIONES:

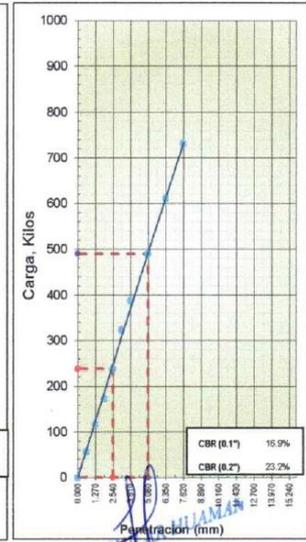
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



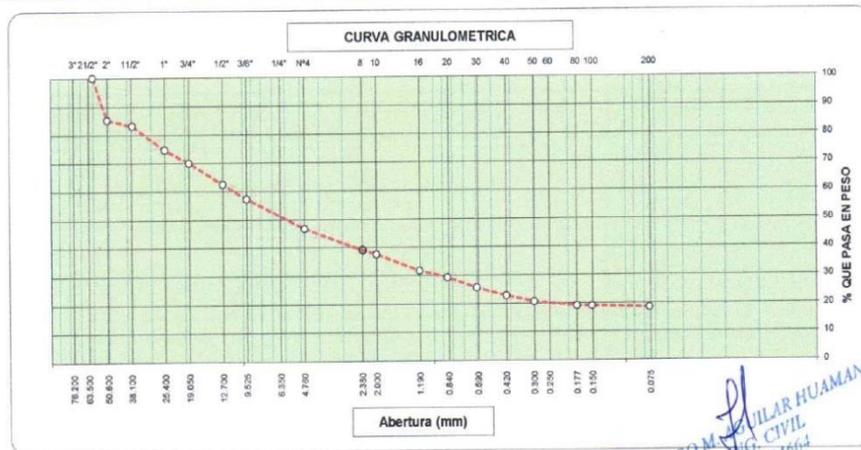
EC = 12 GOLPES



HUGO M. ACOSTA
 ING. CIVIL
 CIP. 941664

Anexo 16: Ensayo granulométrico de la Calicata 2 – M 02

 LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)							
DATOS DE LA MUESTRA							
TESIS	:	Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021					
UBICACIÓN	:	km 163+200					
CALICATA	:	C-2					
PROFUNDIDAD	:	0.20 - 1.50 m					
FECHA	:	11/12/2021					
Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion	Descripcion
5"	127.000						1. <u>Peso de Material</u>
4"	101.600						Peso Inicial Total (gr) 5,074.7
3"	73.000						Peso Fraccion Fina (gr) 762.6
2 1/2"	60.300				100.0		
2"	50.800	750.0	14.8	14.8	85.2		2. <u>Características</u>
1 1/2"	37.500	111.7	2.2	17.0	83.0		Tamaño Maximo 2 1/2"
1"	25.400	431.9	8.5	25.5	74.5		Tamaño Maximo Nominal 2"
3/4"	19.000	232.8	4.6	30.1	69.9		Grava (%) 53.3
1/2"	12.700	381.7	7.5	37.6	62.4		Arena (%) 28.3
3/8"	9.520	262.7	5.2	42.8	57.2		Finos (%) 18.4
1/4"	6.350						Modulo de Fineza (%)
N° 4	4.750	532.6	10.5	53.3	46.7		3. <u>Clasificación</u>
N° 8	2.360	394.9	7.8	61.1	38.9		Limite Liquido (%) 25
N° 10	2.000	72.1	1.4	62.5	37.5		Limite Plastico (%) 17
N° 16	1.190	302.8	6.0	68.5	31.6		Indice de Plasticidad (%) 8
N° 20	0.850	125.2	2.5	70.9	29.1		Clasificación SUCS GC
N° 30	0.600	183.4	3.6	74.5	25.5		Clasificación AASHTO A-2-4 (0)
N° 40	0.420	137.3	2.7	77.2	22.8		
N° 50	0.300	110.0	2.2	79.4	20.6		
N° 60	0.250						
N° 80	0.180	76.5	1.5	80.9	19.1		
N° 100	0.150	5.8	0.1	81.0	19.0		
N° 200	0.075	28.1	0.6	81.6	18.4		
Pasante		936.2	18.5	100.0	0.0		



HUGO M. J. HUAMAN
 ING. CIVIL
 C.I.F. 92664

Anexo 17: Ensayo de Límites de consistencia de la Calicata 2 – M 02

					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
LIMITES DE CONSISTENCIA					
(MTC E-110,111 / ASTM D-4318 / AASHTO T-90, T-89)					
DATOS DE LA MUESTRA					
TESIS	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021				
UBICACIÓN	: km 163+200				
CALICATA	: C-2				
PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.50 m				
FECHA	: 11/12/2021				
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO					
N° de Tarro		14	18	2	
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.	44.32	43.88	46.56	
Peso de Tarro + Suelo Seco	gr.	41.86	41.42	44.32	
Peso de Tarro	gr.	32.28	31.29	34.62	
Peso de Agua	gr.	2.46	2.46	2.24	
Peso del Suelo Seco	gr.	9.58	10.13	9.70	Limite Liquido
Contenido de Humedad	%	25.68	24.28	23.09	25
Numero de Golpes		19	34	45	

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

N° de Tarro		8	1	
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.	6.76	14.81	
Peso de Tarro + Suelo seco	gr.	6.40	14.31	
Peso de Tarro	gr.	4.24	11.43	
Peso de Agua	gr.	0.36	0.50	
Peso de Suelo seco	gr.	2.16	2.88	Limite Plastico
Contenido de Humedad	%	16.67	17.36	17



HUGO M.  ALAR HUAMAN
ING. CIVIL
CIF. 94664

Anexo 18: Ensayo de Contenido de humedad de la Calicata 2 – M 02

	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD	
(MTC E-108 / ASTM D-2216)	
DATOS DE LA MUESTRA	
TESIS	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
UBICACIÓN	: km 163+200
CALICATA	: C-2
PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.50 m
FECHA	: 13/12/2021
Contenido de Humedad Muestra Integral :	

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	560.0	520.0
Peso de la tara + muestra seca (gr)	532.0	494.0
Peso del agua contenida (gr)	28.0	26.0
Peso de la muestra seca (gr)	532.0	494.0
Contenido de Humedad (%)	5.3	5.3
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.3	


 HUGO M. AGUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 C.R. 91664

Anexo 19: Ensayo de Próctor modificado de la Calicata 2 – M 02



ESTRATOS
INGENIERIA & CONSTRUCCION

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

RELACION DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR)

(MTC E-115, E 116 / ASTM D-1557, D 698 / AASHTO T-180)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
 UBICACIÓN : km 163+200
 CALICATA : C-2
 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.50 m
 FECHA : 15/12/2021

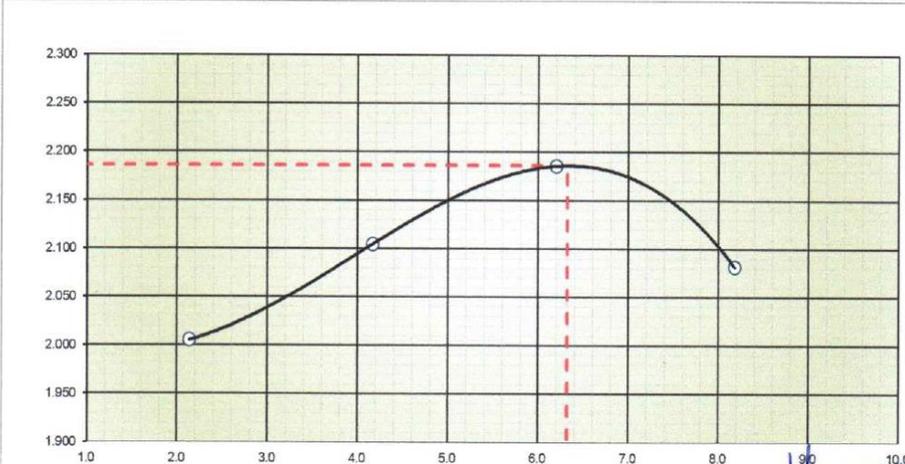
Molde N° 1	Diametro Molde	4"	6"	Volumen Molde	2115	m3.	N° de capas	5
	Metodo	A	B		C	Peso Molde	5987	gr.

NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
Peso Suelo + Molde	gr.	10,319	10,624	10,896	10,750
Peso Suelo Humedo Compactado	gr.	4,332	4,637	4,909	4,763
Peso Volumetrico Humedo	gr.	2,048	2,192	2,321	2,252
Recipiente Numero					
Peso Suelo Humedo + Tara	gr.	614.2	705.6	670.9	681.6
Peso Suelo Seco + Tara	gr.	606.6	687.3	646.1	649.0
Peso de la Tara	gr.	250	248	246	250
Peso del agua	gr.	7.6	18.3	24.8	32.6
Peso del suelo seco	gr.	356	439	400	399
Contenido de agua	%	2.1	4.2	6.2	8.2
Densidad Seca	gr/cc	2.005	2.105	2.186	2.082

RESULTADOS

Densidad Máxima Seca	2.186	(gr/cm3)	Humedad óptima	6.00	%
----------------------	--------------	----------	----------------	-------------	---

RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA



The graph plots dry density (gr/cm³) against moisture content (%). The y-axis ranges from 1.900 to 2.300 in increments of 0.050. The x-axis ranges from 1.0 to 10.0 in increments of 1.0. A smooth curve is drawn through four data points. A vertical dashed red line marks the peak of the curve at 6.00% moisture content, and a horizontal dashed red line marks the corresponding maximum dry density of 2.186 gr/cm³.

HUGO M. AGUIAR HUAMAN
ING. CIVIL
CIP. 11664

Anexo 20: Ensayo de CBR de la Calicata 2 – M 02

 LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR (MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-193)															
DATOS DE LA MUESTRA															
TESIS : Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambó : 2021 UBICACIÓN : km 163+200 CALICATA : C-2 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.50 m FECHA : 15/12/2021															
CALCULO DEL CBR															
Molde N°	A09				A10				A05						
Capas N°	5				5				5						
Golpes por capa N°	56				25				12						
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO				
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12917.0		13020.0		12535.0		12615.0		10910.0		10902.0				
Peso de molde (g)	8024.0		8024.0		7950.0		7950.0		6511.0		6511.0				
Peso del suelo húmedo (g)	4893.0		4996.0		4585.0		4665.0		4399.0		4391.0				
Volumen del molde (cm ³)	2105.0		2105.0		2077.0		2077.0		2105.0		2105.0				
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.324		2.373		2.208		2.246		2.090		2.088				
Tara (N°)															
Peso suelo húmedo + tara (g)	695.0		579.9		765.1		610.2		661.3		644.6				
Peso suelo seco + tara (g)	668.3		549.4		734.2		576.8		655.5		609.8				
Peso de tara (g)	247.2		132.0		248.1		127.0		247.2		135.0				
Peso de agua (g)	26.7		30.5		30.9		33.4		25.8		34.8				
Peso de suelo seco (g)	421.1		417.4		486.1		449.8		408.3		474.8				
Contenido de humedad (%)	6.3		7.3		6.4		7.4		6.3		7.3				
Densidad seca (g/cm ³)	2.186		2.212		2.076		2.091		1.966		1.944				
EXPANSION															
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION					
				mm	%		mm	%		mm	%				
15/12/21	12:20 md	0	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0	0.000	0.000				
16/12/21	12:20 md	24	15.00	0.381	0.331	19.00	0.483	0.483	24.00	0.610	0.530				
17/12/21	12:20 md	48	19.00	0.483	0.420	24.00	0.610	0.610	33.00	0.838	0.729				
18/12/21	12:20 md	72	25.00	0.635	0.552	30.00	0.782	0.782	40.00	1.016	0.883				
19/12/21	12:20 md	96	32.00	0.813	0.707	38.00	0.965	0.965	48.00	1.219	1.060				
PENETRACION															
PENETRACION		CARGA		MOLDE N°		A09		MOLDE N°		A10		MOLDE N°		A05	
		STAND.	CARGA	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
mm	pulg.	kg/cm2	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	
0.000	0.000		0	0	kg/cm2		0	0.0			0	0.0			
0.635	0.025		30	121.5			18	91.3			13	95.6			
1.270	0.050		58	267.8			43	220.5			33	164.5			
1.905	0.075		84	474.1			72	328.0			68	254.9			
2.540	0.100	70.5	125	770.5	771	54.6	105	495.0	495	35.1	92	325.0	325.0	23.0	
3.180	0.125		165	960.0			134	697.1			115	366.7			
3.810	0.150		186	1150.0			152	872.7			138	538.5			
5.000	0.200	105.7	224	1000.0	1,543	77.7	109	1000.0	1,000	47.7	109	1000.0	1000	29.0	
6.350	0.250		256	1980.0			215	1203.2			186	759.9			
7.620	0.300		290	2208.3			248	1406.3			205	889.8			
10.160	0.400			2748.2				1750.7				1080.8			
12.700	0.500														

Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. AQUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CH. 24664



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS

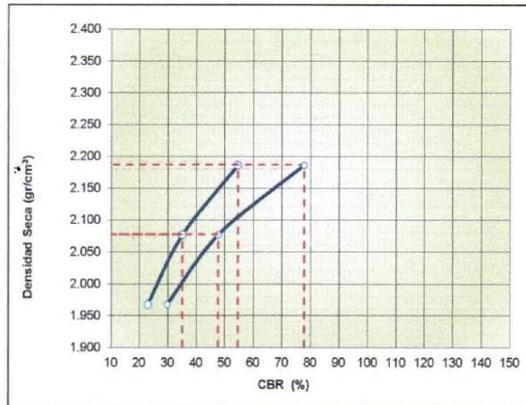
RELACION DE CAPACIDAD DE SOPORTE, CBR

(MTC E-132 / ASTM D-1883 / AASTHO T-193)

DATOS DE LA MUESTRA

TESIS	: Aplicación de las metodologías AASHTO y PCA para evaluar los parámetros de diseño de la losa de concreto del km 162+270 al 163+219 de la carretera Oyón-Ambo 2021
UBICACIÓN	: km 163+200
CALICATA	: C-2
PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.50 m
FECHA	: 15/12/2021

REPRESENTACION GRAFICA DEL CBR

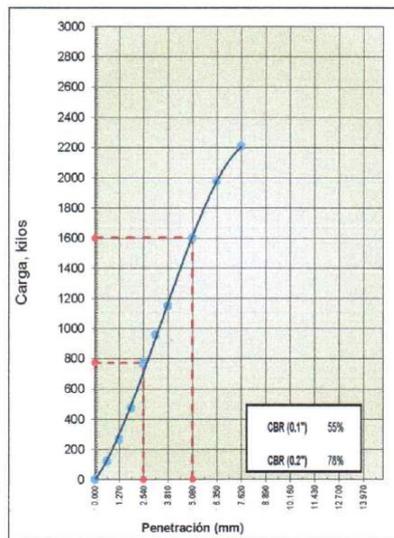


METODO DE COMPACTACION	: AASHTO T-180
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.186
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 6.00
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	: 2.077
	: 1.967

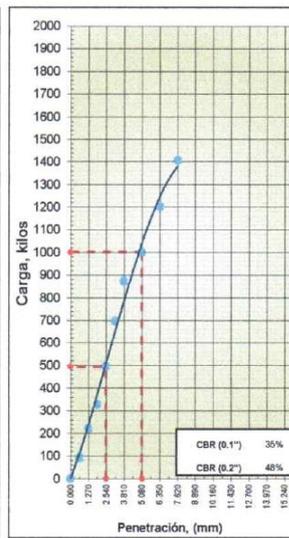
RESULTADOS:	
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.1"	= 54.7 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.1"	= 35.1 %
Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. a 0.2"	= 77.8 %
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. a 0.2"	= 47.7 %

OBSERVACIONES:

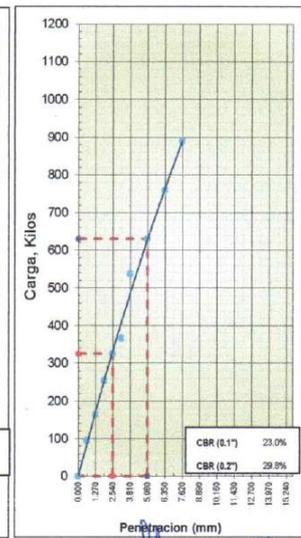
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Dirección: Calle La Victoria N° 130 S.M.P
 Teléfono: 965142534
 Correo: estratos1@hotmail.com

HUGO M. AGUILAR HUAMAN
 ING. CIVIL
 CIP: 94664

Anexo 21: Fotografías de recojo y procesamiento de datos en el centro meteorológico de Oyón

Figura 39

Centro meteorológico de Oyón - Región Lima



Fuente: Base de datos del estudio investigativo

Figura 40

Instrumentos de observación meteorológica de Oyón - Región Lima



Fuente: Base de datos del estudio investigativo