



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFEECTO DEL TIEMPO DE SATURACIÓN MAYOR A LOS 4 DÍAS
EN SUELOS FINOS DE ALTA PLASTICIDAD EN LA ALTURA
DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ARNOLD IVÁN TRISTÁN PERALTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL TIEMPO DE SATURACIÓN
MAYOR A LOS 4 DÍAS EN SUELOS FINOS
DE ALTA PLASTICIDAD EN LA ALTURA
DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE
S**

AUTOR

ARNOLD IVÁN TRISTÁN PERALTA

RECuento DE PALABRAS

21824 Words

RECuento DE CARACTERES

114769 Characters

RECuento DE PÁGINAS

129 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.8MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 27, 2023 7:52 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 27, 2023 7:54 AM GMT-5

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 13% Base de datos de Internet
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- 11% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

V°B°

Firmado digitalmente por
HUAQUISTO CACERES Samuel
FAU 20145496170 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27.10.2023 08:44:32 -05:00



Firmado digitalmente por CASTILLO
ARONI Emilio FAU 20145496170
hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 29.10.2023 09:46:40 -05:00



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Oliverio y Lucha.

Arnold Iván Tristán Peralta



AGRADECIMIENTO

A la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, por impartirme el conocimiento y valores para cumplir con mi formación profesional. A los docentes de esta carrera quienes con su enseñanza contribuyeron en la ejecución de este proyecto; directamente al director de tesis y miembros de jurado por su paciencia y apoyo para lograr este objetivo.

Y como no, a mis padres, quienes no solo con el apoyo económico sino también con el apoyo emocional fueron parte fundamental para el logro de esta meta.

Finalmente, a todos los que implícitamente ayudaron a cumplir la finalización de este proyecto.

Arnold Iván Tristán Peralta



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ACRÓNIMOS

RESUMEN 19

ABSTRACT..... 20

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 21

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 22

1.2.1. Problema general..... 22

1.2.2. Problemas específicos 22

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 23

1.3.1. Hipótesis general 23

1.3.2. Hipótesis específicas 23

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 23

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 24

1.5.1. Objetivo general 24

1.5.2. Objetivo específico..... 25



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.2.	BASES TEÓRICAS	31
2.2.1.	Suelo Fino	31
2.2.2.	Plasticidad en suelos	31
2.2.3.	Granulometría de suelo	32
2.2.4.	Clasificación de suelos método SUCS	33
2.2.5.	Clasificación de suelos método AASHTO	37
2.2.6.	Compactación de los suelos	40
2.2.7.	Ensayo CBR	41
2.2.8.	Diseño de pavimento, método AASHTO 93.....	43
2.2.8.1.	Tránsito.....	44
2.2.8.2.	Características de la subrasante.....	48
2.2.8.3.	Características de concreto asfáltico	50
2.2.8.4.	Características de la base.....	53
2.2.8.5.	Características de la subbase	54
2.2.8.6.	Confiabilidad.....	55
2.2.8.7.	Drenaje	57
2.2.8.8.	Serviciabilidad.....	59
2.2.8.9.	Procedimiento AASHTO 93	60
2.2.9.	Estabilización de suelos	62

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	METODOLOGÍA	65
-------------	--------------------------	-----------



3.1.1. Tipo de investigación	65
3.1.2. Nivel de investigación	65
3.1.3. Diseño de investigación	65
3.1.4. Población.....	66
3.1.5. Muestra.....	67
3.1.6. Recolección de datos	68
3.1.7. Operacionalización de variables	68
3.1.8. Prueba de hipótesis.....	73
3.2. MATERIALES.....	74
3.2.1. Ubicación del suelo	74
3.2.2. Características del suelo	75
3.2.2.1. Granulometría.....	75
3.2.2.2. Límites de consistencia.	79
3.2.2.3. Clasificación de suelo.....	80
3.2.2.4. Densidad máxima y contenido de humedad óptimo	84
3.2.2.5. Relación de soporte con la piedra de California.	86
3.2.3. Características del Pavimento (AASHTO 93)	89
3.2.4. Características del grado de saturación	97

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HIPÓTESIS GENERAL	99
4.1.1. Altura del pavimento a los 4 días	99
4.1.2. Altura del pavimento a los 8 días	100
4.1.3. Altura del pavimento a los 15 días	100
4.1.4. Altura del pavimento a los 30 días	101



4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1	103
4.2.1. Relación de CBR.....	104
4.2.2. Valores de expansión	107
4.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	109
4.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3	111
4.4.1. Propiedades del CBR	111
4.4.2. Diseño de pavimento.....	113
4.5. DISCUSIÓN	115
V. CONCLUSIONES.....	118
VI. RECOMENDACIONES.....	120
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
ANEXOS.....	125

TEMA: PAVIMENTOS FLEXIBLES, NUEVAS TENDENCIAS

ÁREA: TRANSPORTES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES Y GESTIÓN VIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 6 DE NOVIEMBRE DE 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Límite de partículas de suelos.....	33
Tabla 2	Clasificación de suelos para suelos-AASHTO	38
Tabla 3	Ejes equivalentes según a su peso y tipo	45
Tabla 4	Factor de crecimiento de vehículos pesados.....	46
Tabla 5	Factores de dirección y carril.....	47
Tabla 6	Factor de ajuste por presión de neumático	48
Tabla 7	Niveles de confiabilidad	56
Tabla 8	Valores Zr en función de confiabilidad	57
Tabla 9	Calidad de drenaje del pavimento.....	58
Tabla 10	Valores de mi según a la calidad de drenaje.....	59
Tabla 11	Índice de serviciabilidad final.....	60
Tabla 12	Espesores de base y concreto asfáltico	61
Tabla 13	Muestra de la investigación	67
Tabla 14	Variables de investigación.....	69
Tabla 15	Matriz de operacionalización de variables	70
Tabla 16	Escala de interpretación coeficiente rho	73
Tabla 17	Ubicación geográfica de suelo.....	75
Tabla 18	Granulometría mayor a malla #200	76



Tabla 19	Granulometría de suelo	78
Tabla 20	Límite plástico	80
Tabla 21	Clasificación de suelo fino (AASHTO).....	81
Tabla 22	Clasificación de suelo fino (SUCS).....	83
Tabla 23	Resultado Proctor modificado	85
Tabla 24	CBR (4D).....	87
Tabla 25	Expansión del suelo a los 4 días de saturación	87
Tabla 26	CBR (8D).....	87
Tabla 27	Expansión del suelo a los 8 días de saturación	88
Tabla 28	CBR (15D).....	88
Tabla 29	Expansión del suelo a los 15 días de saturación	88
Tabla 30	CBR (30D).....	89
Tabla 31	Expansión a los 30 días de saturación	89
Tabla 32	ESAL de diseño	90
Tabla 33	Nivel de serviciabilidad final.....	91
Tabla 34	Datos de lluvia en la ciudad de Puno.....	93
Tabla 35	Módulo resiliente 4D	94
Tabla 36	Módulo resiliente 8D	94
Tabla 37	Módulo resiliente 15D	94



Tabla 38	Módulo resiliente 30D	95
Tabla 39	Requisitos para mezcla asfáltica	95
Tabla 40	Requisito de CBR en capa de base	96
Tabla 41	Requisitos de CBR para subbase	97
Tabla 42	Dimensiones de pavimento 4D	99
Tabla 43	Dimensiones de pavimento 8D	100
Tabla 44	Dimensiones de pavimento 15D	100
Tabla 45	Dimensiones de pavimento 30D	101
Tabla 46	Altura del pavimento de acuerdo a saturación.....	101
Tabla 47	Análisis de Spearman	103
Tabla 48	CBR con respecto a días de saturación.....	104
Tabla 49	Análisis de Spearman	106
Tabla 50	Porcentaje de expansión en CBR.....	107
Tabla 51	Análisis de Spearman	108
Tabla 52	Grado de saturación	109
Tabla 53	Análisis de Spearman	110
Tabla 54	Relación de CBR para suelo – cal	111
Tabla 55	Análisis de Spearman	112
Tabla 56	Expansión del suelo – cal	112



Tabla 57	Análisis de Spearman	113
Tabla 58	Dimensiones pavimento suelo - cal	114
Tabla 59	Análisis de Spearman	115



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Carta de plasticidad	35
Figura 2	Flujograma para clasificación de suelo de partículas gruesas	36
Figura 3	Carta de plasticidad-AASHTO.....	39
Figura 4	Principio de compactación	41
Figura 5	Curva del suelo de California del ensayo de CBR	43
Figura 6	Correlaciones con el módulo resiliente	50
Figura 7	Coefficiente estructural a1 para mezcla de concreto asfáltico	52
Figura 8	Relación de coeficiente a1 con distintos ensayos.....	53
Figura 9	Coefficiente estructural a2 para base granular no tratada	54
Figura 10	Coefficiente estructural a3 para subbase granular no tratada.....	55
Figura 11	Ubicación geográfica de la muestra	74
Figura 12	Extracción de suelo	75
Figura 13	Curva granulométrica partículas gruesas	77
Figura 14	Curva de granulometría partículas finas.....	79
Figura 15	Límite líquido	79
Figura 16	Carta de plasticidad (AASHTO)	82
Figura 17	Carta de plasticidad (SUCS).....	84



Figura 18	Curva de compactación	85
Figura 19	Altura del Pavimento en su diseño estructural	102
Figura 20	Resultado de CBR	105



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ecuación para agregar agua	126
ANEXO 2: Ecuación para saturación y relación de vacíos	129
ANEXO 3: Diseño de pavimentos con CBR a 4 días de saturación.....	133
ANEXO 4: Diseño de pavimentos con CBR a 8 días de saturación.....	137
ANEXO 5: Diseño de pavimentos con CBR a 15 días de saturación.....	141
ANEXO 6: Diseño de pavimentos con CBR a 30 días de saturación.....	145
ANEXO 7: Diseño de pavimento para suelo – cal	149
ANEXO 8: Contenido de humedad	154
ANEXO 9: Granulometría	155
ANEXO 10: Límite líquido y límite plástico.....	157
ANEXO 11: Gravedad específica.....	159
ANEXO 12: Hidrometría.....	162
ANEXO 13: Clasificación AASHTO	165
ANEXO 14: Clasificación SUCS	167
ANEXO 15: Proctor modificado	169
ANEXO 16: CBR con 4 días de saturación	172
ANEXO 17: CBR con 8 días de saturación	187
ANEXO 18: CBR con saturación de 15 días	202



ANEXO 19: CBR con 30 días de saturación	217
ANEXO 20: Ensayo CBR para suelo – cal.....	232
ANEXO 21: Humedad después de CBR	252
ANEXO 22: Constancia de Laboratorio de Suelos	259
ANEXO 23: Panel fotográfico.....	260
ANEXO 24: Documentos de tesis	265



ACRÓNIMOS

CBR:	California Bearing Ratio
ASTM:	American Society for Testing and Materials
LP:	Límite plástico
LL:	Límite líquido
IP:	Índice de plasticidad
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
LEF:	Factor de carga equivalente
EE:	Ejes equivalentes
ESAL:	Valor total de ejes equivalentes
Zr:	Desviación estándar normal
R:	Confiabilidad
ESAL:	Valor total de ejes equivalentes
AASHTO:	American Association Standards Highway Transportation Officials
Δpsi :	Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño
p_i :	Índice de serviciabilidad inicial
p_f :	Índice de serviciabilidad final
a_i :	Coefficiente estructural según a la capa de pavimento
m_i :	Coefficiente de drenaje según a la capa de pavimento



D _i :	Espesor según a la capa de pavimento
NTP:	Norma Técnica Peruana
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
4D:	Cuatro días de saturación
8D:	Ocho días de saturación
15D:	Quince días de saturación
30D:	Treinta días de saturación
Rho:	Coefficiente de relación de Spearman
p valor:	Valor de probabilidad
DSM:	Densidad seca máxima



RESUMEN

En el laboratorio de suelos y materiales de la universidad se observó que la condición de saturación no siempre se cumple a los 4 días, a razón de eso, esta investigación tuvo por objetivo determinar el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en la altura del diseño de pavimentos flexibles, también en sus valores de CBR y grado de saturación, con un enfoque cuantitativo de nivel explicativo, así, la investigación tendrá un diseño de investigación del tipo experimental contando con tres grados de manipulación (8, 6 y 30 días de saturación) y un grupo de control (4 días de saturación). La población fue la masa total del suelo de alta plasticidad que proviene de centro poblado de Capullani, para muestrear, se hizo uso de la metodología no probabilística teniendo como muestra tres pruebas para el punto de control y tres para cada grado de manipulación. Se recolectó los datos a través del cuaderno de campo, registro digital de datos y hojas de cálculo. Se probó que para la arcilla de alta plasticidad estudiada el tiempo de saturación mayor a los 4 días afecta a la altura del diseño de pavimentos con un coeficiente rho de 0.887 y un p valor menor a 0.001; además afecta los valores de CBR, en cuanto a la relación de soporte: una rho de -0.885 y un p valor menor a 0.001, para la expansión del suelo: una rho de 0.950 y un p valor menor a 0.001; también afecta directamente en los valores del grado de saturación: rho de 0.864 y un p valor menor a 0.001.

Palabras Clave: CBR, Tiempo de saturación, Suelos finos de alta plasticidad, Diseño de pavimento



ABSTRACT

At laboratory of soils and materials of the university, it was observed that the saturation condition is not always fulfilled at 4 days, that is why this research had the objective of determining the effect of soaking time greater than 4 days in high plasticity soil on the design height of flexible pavements, The research will have a research design of the experimental type with three degrees of manipulation (8, 6 and 30 days of soaking) and a control group (4 days of soaking). The population was the total mass of soil of high plasticity that comes from the Capullani population center, for sampling, the non-probabilistic methodology was used, having as a sample three tests for the control point and three for each degree of manipulation. The data was collected through the field notebook, digital data recording and spreadsheets. It was proved that for the high plasticity clay studied the soaking time greater than 4 days affects the roadway design height with a rho coefficient of 0.887 and a p value less than 0.001; it also affects the CBR values, for the support ratio: a rho of -0.885 and a p value less than 0.001, for soil expansion: a rho of 0.950 and a p value less than 0.001; it also directly affects the values of the degree of saturation: rho of 0.864 and a p value less than 0.001.

Keywords: CBR, Soaking time, High plasticity soil, Roadway design



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el procedimiento del ensayo de CBR dentro del laboratorio de suelos de la universidad de Puno, se observó que los suelos finos no terminan totalmente saturados luego de los cuatro días de saturación; estudiando la norma internacional ASTM D1883 (2016) y norma nacional MTC E 132 (2016), procedimientos del ensayo CBR, se explica, en ambas, que el suelo luego de saturarlo por cuatro días se obtendrá las condiciones más desfavorables para este ensayo. Sin embargo, en la experiencia del laboratorio cierto tipo de suelos no llegan a saturarse completamente, por tanto, se presume que tampoco llega a mostrar su situación más desfavorable en el ensayo de CBR.

A su vez, es común en Perú, especialmente en la región de Puno, presenciar lluvias intensas que persisten durante largos períodos de tiempo. Las inundaciones de carreteras y los desbordamientos de ríos y lagunas son una problemática que ha surgido como resultado de esta situación climática. Estos eventos se han registrado y causan preocupación en la infraestructura vial de la región.

Es importante tener en cuenta que, antes de que ocurrieran estas inundaciones y desbordes, las carreteras y, en particular, la subrasante, habían estado en contacto con el agua en un tiempo prolongado, o incluso de manera permanente. Esta exposición, continua, con el agua puede afectar significativamente la resistencia y la estabilidad de la infraestructura vial.



Es importante destacar que estas condiciones desfavorables se simulan mediante el ensayo del CBR. No obstante, es importante destacar que la norma peruana, como la internacional, establece un período de prueba de 4 días, que en muchos casos no es suficiente para saturar por completo los suelos altamente cohesivos de la región de Puno.

Por lo tanto, la brevedad de este ensayo puede sobrestimar la capacidad real de las subrasantes para resistir las condiciones extremas de humedad a las que están expuestas en esta región. Esto plantea desafíos adicionales para el diseño y mantenimiento de la infraestructura vial en un entorno tan exigente como el de Puno.

Motivado por esta carencia de conocimiento, que finalmente repercute en los pavimentos flexibles debido a que la normativa vigente hace completo uso de la relación de soporte de CBR para su diseño, se propone evaluar el tiempo de saturación de un suelo altamente plástico en su CBR y consecuentemente en un diseño de pavimento flexible para la región de Puno.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en la altura del diseño de pavimentos flexibles?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en los valores de CBR?
- ¿Cuál es la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su grado de saturación?



- ¿Cuál es la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su mejoramiento de suelo?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento de manera directa en la altura del diseño de pavimentos flexibles.

1.3.2. Hipótesis específicas

- El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad resulta en el cambio de los valores de CBR.
- El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento del grado de saturación
- El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en el mejoramiento del suelo tiene un impacto en los valores de CBR, y su altura de diseño de pavimento flexible.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Desde una perspectiva económica, las carreteras no solo facilitan el movimiento de bienes y personas, sino que también fomentan el crecimiento económico al unir áreas y fomentar la inversión. Por lo tanto, un diseño estructural deficiente puede hacer que las carreteras necesiten más costos mantenimiento, lo que puede resultar en costos adicionales para la reparación de baches, grietas y desplazamientos. (Campana, 2010)

Para diseñar un pavimento es necesario saber el CBR del terreno donde se construirá el pavimento; el diseño tomará distintas dimensiones dependiendo del CBR o



incluso nos indicará mejorar el terreno si el CBR es muy bajo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). El ensayo CBR en laboratorio trata de simular la resistencia potencial del terreno en las peores condiciones: máximos esfuerzos y suelo saturado (ASTM, 2021, p.1). En el laboratorio de suelos y materiales de la universidad nacional de Altiplano se observó que la condición de saturación no siempre se cumple a los 4 días, la norma establece este tiempo para saturar al suelo (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

En consecuencia, esta investigación tiene el potencial de llenar una brecha de conocimiento existente al abordar el problema principal. La base de conocimientos en la ingeniería civil se enriquece como resultado de esto, y puede proporcionar información útil que puede beneficiar a la comunidad profesional. Esta investigación puede ayudar en identificar y comprender mejor los problemas relacionados con carreteras donde la subrasante tenga valores de CBR de suelos altamente plásticos.

Además, aporta un marco metodológico para investigaciones futuras porque proporciona una estructura coherente y organizada que permite la replicabilidad y comparabilidad de los resultados, la reducción de sesgos y errores, el ahorro de tiempo y recursos, la colaboración entre investigadores, la mejora de la calidad de la investigación y el avance del conocimiento en la ingeniería civil. (Azüero Azüero, 2019)

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- Determinar el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en la altura del diseño de pavimentos flexibles.



1.5.2. Objetivo específico

- Determinar el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en los valores de CBR.
- Determinar la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su grado de saturación
- Determinar la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su mejoramiento de suelo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Sachar & Wani (2022) en su artículo tienen por objetivo determinar el efecto de la humedad en la resistencia del suelo. Esta investigación fue del tipo experimental – causal y la resistencia del suelo se mide a través de su valor de CBR. La muestra fue de seis suelos diferentes teniéndose como resultado: para la muestra “A” la reducción del CBR (en comparación de la muestra sin saturar) con un día de saturación fue del 13.58%, con dos días de saturación 19.24%, con tres días de saturación 30.29% y con cuatro días de saturación 40.75%; para la muestra “B” la reducción del CBR con un día de saturación fue de 5.16%, con dos días de saturación 10.43%, con tres días de saturación 18.54% y con cuatro días de saturación 26.74%; para la muestra “C” la reducción de CBR para un día de saturación fue el de 6.54%, con dos días de saturación 11.51%, con tres días de saturación 31.93% y con cuatro días de saturación 43.19%; para la muestra “D” la reducción para un día de saturación fue del 6.56%, para dos días de saturación 17.82%, con tres días de saturación 29.62% y con cuatro días de saturación 47.31%; para la muestra “E” la disminución proporcional para un día de saturación fue de 6.79%, con dos días de saturación 13.47%, con tres días de saturación 25.70% y con cuatro días de saturación 40.65%; para la muestra “F” la reducción del CBR al primer de saturación fue de 10.82%, con dos días de saturación 26.52%, con tres días de saturación 42.98% y con cuatro días de saturación 56.55%. Se concluye que la clasificación de las muestras “A” y “B” como ML, “C” como CL, “D” y “E” como SC y “F” como SM; también, que hay una disminución de CBR para una muestra sin saturar en comparación de una saturada,



además, a medida que aumenta el tiempo de saturación de la muestra, esta reducción en el porcentaje de CBR aumenta.

Cedeño Tuárez & Tejeda Piusseaut (2023) en su artículo científico tienen por objetivo de utilizar una enzima orgánica para estabilizar un suelo fino. Se utilizó una muestra de suelo de limo arcilloso, donde se agregaron tres mililitros de aditivo a 0.67 pies cúbicos de material para evaluar el impacto del tiempo de curado en el peso específico logrado a través de la energía de compactación aplicada. Para comprobar estos resultados, se aumentó la proporción de aditivo hasta 9 mililitros para la misma cantidad de suelo. Como resultado: la energía aplicada tuvo cierta influencia en el CBR del suelo estabilizado, pero la variación del tiempo de curado no la tuvo. Se concluyó que, la resistencia tras inmersión del suelo no estabilizado aumentó gracias al aditivo, sin embargo, no alcanzó las condiciones suficientes para cumplir como la subrasante de una carretera, además, la expansión disminuyó significativamente durante los días de curado.

Maldonado Ccansaya & Tello Vargas (2022) en su tesis tienen por objetivo analizar la consecuencia del uso de la cal como agente estabilizante en una arcilla específica para luego ser usado como capa de subrasante de una carretera de concreto asfáltico. Como muestra se usó la muestra de arcilla limosa perteneciente al kilómetro 57 – 59 de la vía Canta – Huayllay, para su análisis se usó la metodología cuantitativa – experimental. Los resultados de la investigación, el valor de ph para el suelo natural es de 8.56, para las mezclas suelo – cal se obtuvo valores máximos de cal hidráulica de 8.02, para cal de obra 11.08; el valor de CBR para la subrasante natural fue de 3.5% y con la mezcla aumentó a 17.5%; además, se destaca para estabilizar por el método de sustitución es necesario al menos una capa de 75 cm, en cambio, cuando se hace uso de la estabilización por cal solo una basta con una capa de subrasante de 30 cm. Por otro lado,



el mejoramiento con cal de obra, evitó la necesidad de una capa de subbase. Se concluye que, los componentes de cada producto determinarán el impacto de la cal en un suelo arcilloso. Es importante tener en cuenta que no todas las cales con cal hidratada serán adecuadas para el uso en la estabilización del suelo. Cuando se adicionó a un 80 % de cal de obra, la muestra estudiada presentó un aumento de 342% de C.B.R, este valor aumentó a medida que se agregaba más cal de obra, pero se notó una disminución cuando se agregó el 200 % del compuesto; la resistencia en campo de los suelos tratados con cal aumenta con el tiempo; el curado refleja esto en el laboratorio.

Portilla Yandún & Villacrés Salazar (2021) en su tesis tienen por objetivo analizar y comparar los resultados de CBR y diseño de pavimento de muestras saturadas y no saturadas de suelos granulares de la región de Ambato, provincia de Tungurahua. Para lo cual, esta investigación fue del tipo cuantitativo – experimental, además, se hizo de una muestra de suelo de la región mencionada. Se obtuvo que los valores de CBR disminuyeron, con respecto al CBR no saturado, al 82%, 67% y 50% para 24, 72 y 96 horas de saturación respectivamente; además, la expansión del suelo aumenta con respecto al no saturado de 39%, 70% y 100% para 24, 72 y 96 horas de saturación respectivamente; con respecto al espesor del diseño pavimento aumento en 0.8 cm, 2.8 cm y 3.3 cm para 24, 72 y 96 horas de saturación respectivamente. Se concluyó que, el suelo evaluado es SM, y que hay una reducción del valor de CBR al aumentar el tiempo de saturación; además, los espesores del diseño de pavimento también aumentan en función al tiempo de saturación.

En el artículo de Okafor & Aigbavboa (2020) se investiga las variaciones de los valores de CBR con el contenido de agua a diferentes días de saturación usando el suelo cohesivo de Awgu, Nigeria. Esta investigación es del tipo cuantitativa – experimental



para lo cual se usó dos muestras de suelos de la región. Para la primera muestra los resultados son que el valor de CBR sin saturar es de 72%, para un día de saturación 8%, para dos días 4%, para tres 2.5%, para cuatro 12%, para cinco 3.5%; para la segunda muestra el valor de CBR sin saturar es de 85%, para un día de saturación 3%, para dos días es 4%, para tres es 2.5%, para cuatro 2.5%, para cinco 3.5%. Se concluyó que en las dos muestra experimentaron una disminución del valor de soporte de CBR desde el punto de sin saturar hasta los cinco días de saturación, además, los valores de CBR para los días de saturación de uno a cinco no hubo diferencias significativas.

Lima Flores (2021) en su tesis, llevó a cabo una investigación con el propósito de analizar el valor del CBR y cómo este valor varía en función de diversas condiciones de prueba. El objetivo principal era comprender cómo estas variaciones afectan al diseño de pavimentos. Esta investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo experimental, en el cual se recopilaban datos de un tramo de carretera que abarcaba 56.5 kilómetros y se tomaron un total de 73 muestras de suelo. Se llegó a la conclusión que los modelos constitutivos empleados en el estudio representan de manera precisa la reacción mecánica del suelo compactado bajo distintos parámetros de carga cíclica. Además, se observó que las correlaciones establecidas con el Índice de Soporte California (CBR) pueden ser valiosas para calibrar estos modelos. Por último, los hallazgos de la fase experimental dieron lugar al desarrollo de una estrategia de diseño basada en niveles para pavimentos..

Ramos Flores & Sanchez Alza (2021) en su tesis, se emplea una investigación de tipo descriptiva-aplicada a fin de determinar el diseño óptimo para incrementar la fluidez y eficacia de la vía terrestre que une el centro poblado de Chiquitoy con la Panamericana Norte. En este sentido, su muestra considerada para el estudio es precisamente esta carretera. Sus resultados arrojaron que, para los diseños flexibles, la configuración ideal



del pavimento consiste en una capa de carpeta asfáltica en caliente de 2 pulgadas, una capa intermedia granular de 12 pulgadas y una inferior granular de 6 pulgadas, con un costo directo estimado de cinco millones ochocientos catorce mil setenta y siete soles. Por otro lado, para el pavimento rígido, se recomienda una capa de losa de concreto de 8 pulgadas con una resistencia $f'c$ de 280 kg/cm^2 y una capa inferior granular de 6 pulgadas, para un presupuesto estimado de siete millones quinientos sesenta y cinco soles. Concluye que, considerando tanto la eficacia como el costo involucrado, se llega a que el diseño de pavimento flexible es la opción más adecuada.

Córdova Saavedra (2020) realizó para el tramo Chulucanas-Frías, el diseño de un pavimento de bajo volumen de tránsito utilizando un suelo estabilizado con cemento y un aditivo con recubrimiento. Esta investigación es del tipo cuantitativa – experimental, y su muestra son diez calicatas alrededor del tramo mencionado. El resultado de esta investigación fue que el óptimo de aditivo líquido es de 0.30 litros/m^3 y de cemento Portland es 60 kg/m^3 obteniendo un aumento de CBR de 32.5% a 118.5% de valor de soporte de california. Se concluye que, la altura de la base y el recubrimiento fue de 10 pulgadas y 0.39 pulgadas.

Machaca Machaca (2021) en su tesis tiene por objetivo hallar el impacto del grado de saturación en la capacidad máxima de soporte para aquellas muestras de suelo ubicadas dentro de la población de Puno, para lo cual su investigación es del tipo cuantitativa – experimental, su población son tres calicatas y su muestra es una calicata, teniendo como resultado que la capacidad de carga última admisible mínima es 0.62 kg/cm^2 , a su vez se obtuvo que tiene un asentamiento máximo de 1.916 cm que puede soportar antes de ocurrir una falla. Finalmente, se concluye que, el agua interfiere en la capacidad última de carga del suelo como en el hundimiento debido a los esfuerzos; por lo tanto, es crucial



tener en cuenta el grado de saturación en los ensayos de suelo para calcular tanto la carga final admisible del suelo como el asentamiento.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Suelo Fino

Un suelo fino es un tipo de suelo que tiene una granulometría dominada por partículas pequeñas con un diámetro menor a 0.075 mm, como arcillas y limos. Das también menciona que los suelos finos tienen una alta plasticidad y cohesión debido a su pequeño tamaño de partícula y alta área superficial por unidad de masa. (Das, 2013)

Una definición muy similar a la del ministerio de transporte de Perú (2005), es que el suelo fino es aquel suelo cuya mayor proporción de partículas, por peso, pasa el tamiz número 200 (0.075mm).

2.2.2. Plasticidad en suelos

Juárez (2005) dice que la plasticidad es la propiedad de los materiales que les permite deformarse permanentemente sin fracturarse bajo cargas aplicadas; se cuantifica utilizando el índice de plasticidad (IP), que es la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite de plasticidad (LP) de un suelo. Matemáticamente, se expresa como:

$$IP = LL - LP.$$

El límite líquido se define como la cantidad mínima de agua en un suelo para que éste se comporte como un líquido. El límite de plasticidad, por otro lado, es el contenido de agua mínimo en el cual un suelo pierde su capacidad plástica y



comienza a comportarse como un sólido, para lo cual se hace uso de la norma ASTM D-4318 (2016).

Entonces, la plasticidad de los suelos se mide mediante el IP, que se define como la resta entre el LL y el LP de un suelo. El IP es una medida importante para clasificar los suelos y entender su comportamiento bajo cargas aplicadas. Etuke et al. (2023) coincide en esto y explica que para valores mayores a 17% de índice de plasticidad se describe como un suelo de alta plasticidad, además, Das (2001) que un suelo de alta plasticidad tiene valores de límite líquido superiores a 50%. Por tanto, un suelo de alta plasticidad tiene valores de LL mayores a 50% y un IP mayor a 17%.

2.2.3. Granulometría de suelo

Menciona que sin importar el origen del suelo las partículas varían de la siguiente forma: grava, arena, limo o arcilla; dependiendo del tamaño predominante se nombrará. Das menciona que las principales diferencias entre estas partículas vienen dadas de la siguiente manera: (Das, 2001)

Tabla 1*Límite de partículas de suelos*

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) <0.075	

Nota. La tabla muestra las distintas medidas del tamaño de partículas según la organización. Tomado de "Fundamentos de la geotecnia" (p.28), por B. M. Das, 2013, Cengage Learning.

Para partículas de grava y arena se hace uso de metodología por tamizado (ASTM D422, 1998), en cambio para partículas más pequeñas, ya es necesario el uso de metodologías más complejas como el uso de un densímetro (ASTM D422-63, 2007).

2.2.4. Clasificación de suelos método SUCS

La ASTM (2011) nos indica que este método para categorizar los suelos según sus características principales como: tamaño de partícula y propiedades de los límites de Atterberg. Inicialmente, se separa al suelo en dos grandes categorías:

Suelos que menos del 50% de su peso pasa la malla N°200, por tanto, en su mayoría estarán compuestos por grava y arena.



Suelos que más del 50% de su peso pasa la malla N°200: compuesto mayormente por arcilla o limo.

Es decir, el primer paso es conocer el porcentaje de fino que cuenta el suelo.

Posteriormente, es saber las proporciones de peso de la grava, arena, limo y arcilla; para lo cual, es necesario realizar un ensayo de granulometría que incluya los siguientes tamices, a fin de separarlo por grupos:

Para grava: Porción de suelo que pasa la malla de 76.2 mm y es retenido por la malla N°4 (4.75mm).

Para arena: Pasa malla N°4 y es retenido por la malla N°200.

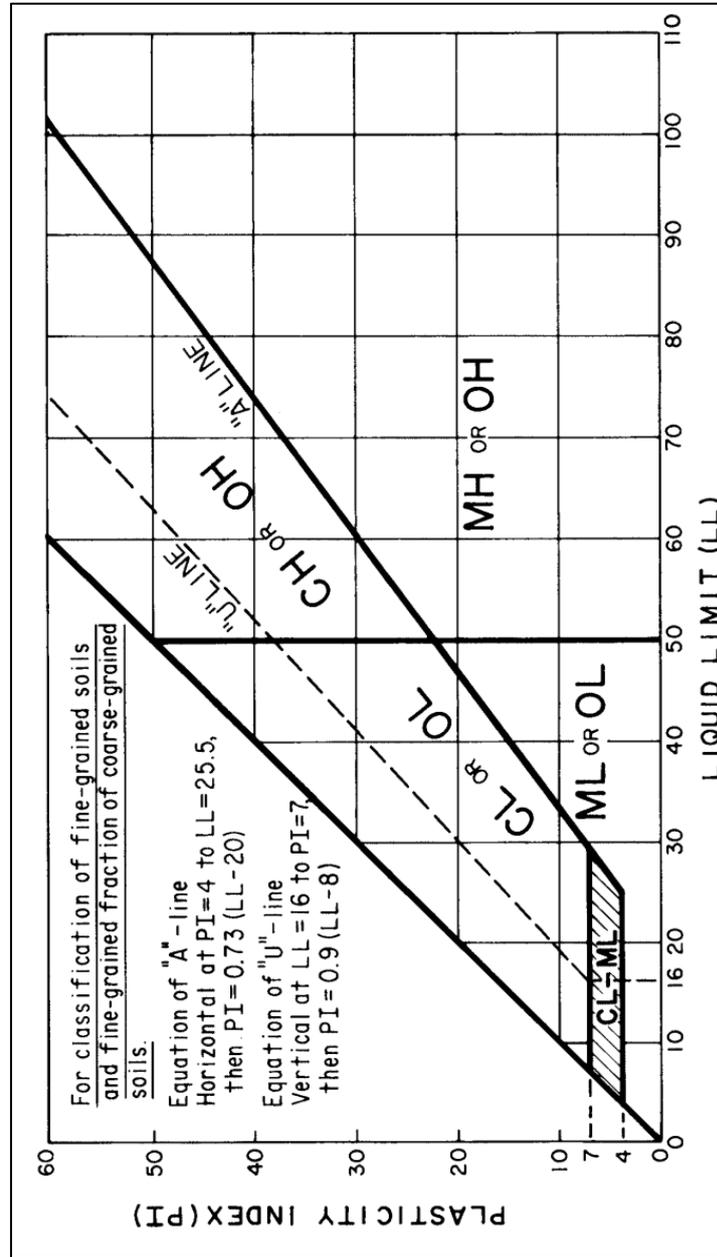
Para arcilla y limo: Pasa la malla N°200.

También, es necesario realizar ensayos para determinar los límites de Atterberg que incluyan límite líquido y límite plástico.

Entonces, de acuerdo al porcentaje mayor al 50% del peso del suelo, dependerá el procedimiento para clasificar al suelo: para suelo fino, más del 50% del suelo pasa la malla N° 200 se usará la figura 1; en cambio, para suelos con más del 50% de suelos retenido por la malla N° 200 se usará la figura 2.

Figura 1

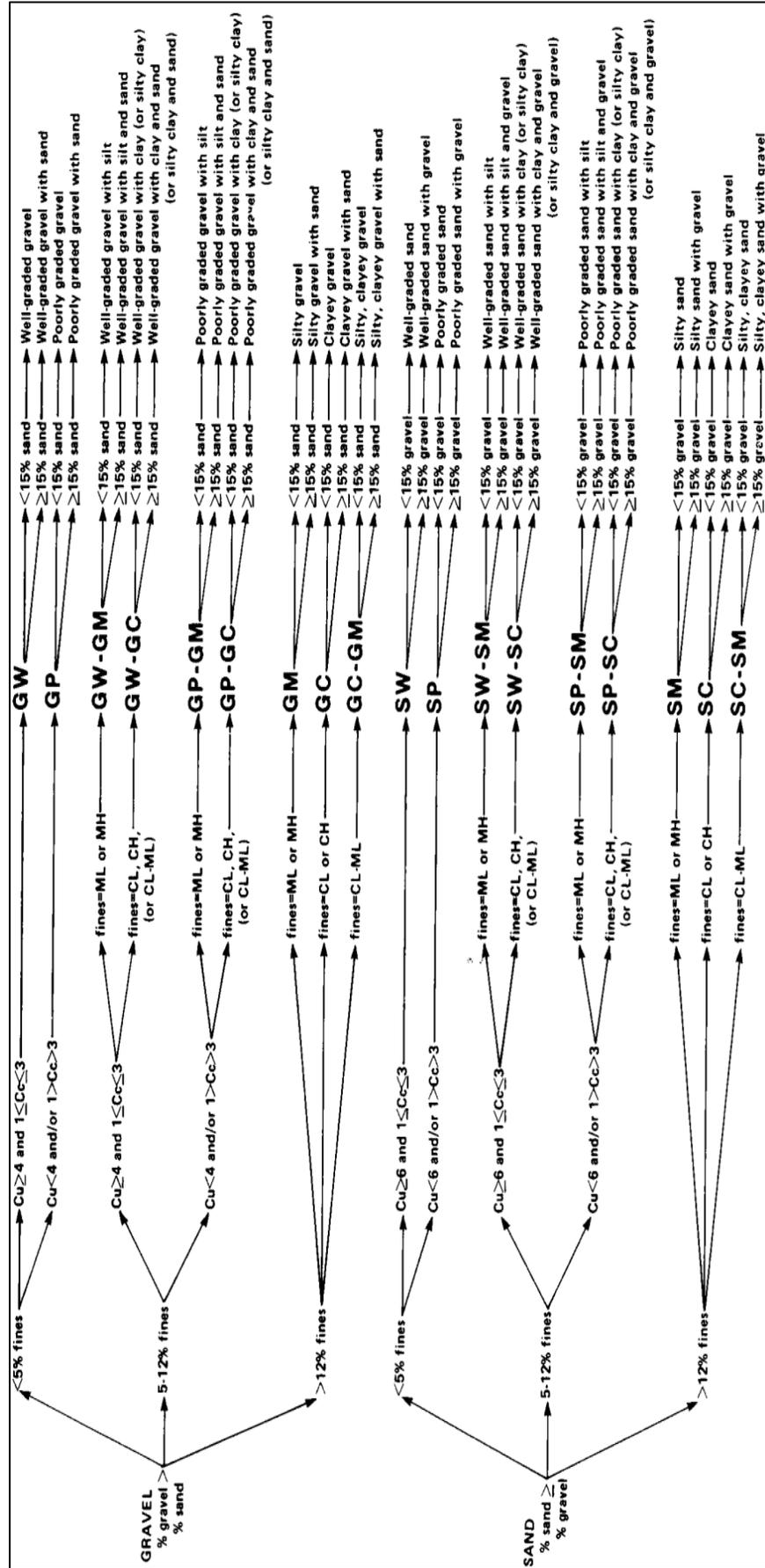
Carta de plasticidad



Nota. El gráfico muestra la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad, las regiones separadas por líneas representan el tipo de suelo. Tomado de "Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería" (p.13), por ASTM D 2487-11, 2011, ASTM International.

Figura 2

Flujograma para clasificación de suelo de partículas gruesas



Nota. El gráfico muestra el procedimiento para clasificar un suelo de grano grueso. Tomado de "Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería" (p.13), por ASTM D 2487-11, 2011, ASTM International.



2.2.5. Clasificación de suelos método AASHTO

La ASTM (1993) exhibe este tipo de clasificación inicia con la separación del suelo, según a su tamaño de agregado; el punto de separación al igual que el anterior método es la malla N°200 a diferencia que esta vez es 35% del peso del suelo. Es decir, que un suelo con más del 35% del peso retenido por la malla N°200 es considerado un suelo grueso.

De acuerdo a la separación del suelo: para suelo grueso se usará la tabla 1 y de acuerdo a la ASTM se ubicará de izquierda a derecha a fin de encontrar las características del suelo a la cual se ajusten. Por otra parte, para suelos donde se encuentren próximos A-2-6, A-6, A-2-7, A-7, recomienda el uso de la figura 3:

Tabla 2

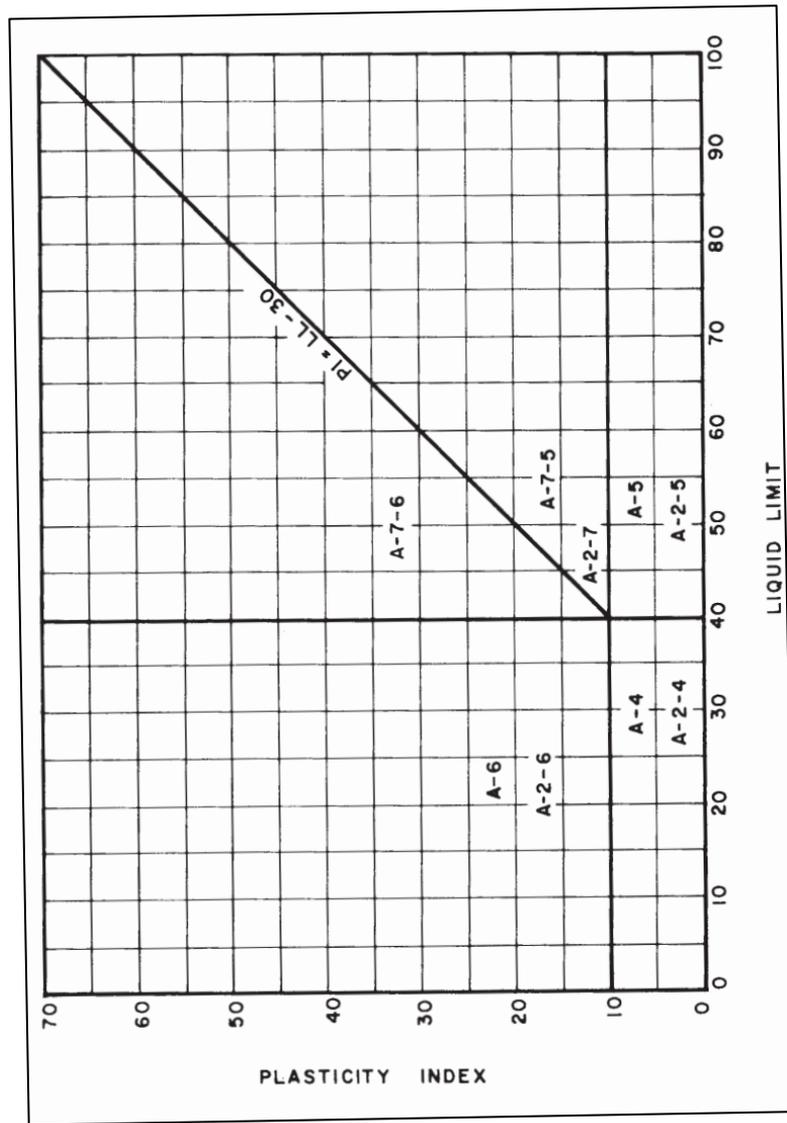
Clasificación de suelos para suelos-AASHTO

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos pasan la malla N°200)							Materiales limos-arcillosos (Más del 35% pasa la malla N°200)					
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7-5, A-7-6
Clasificación por grupo	A-1												
Análisis granulométrico, % que pasa:													
N°10 (2.00mm)	50 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N°40 (425um)	30 máx.	50 máx.	51 máx.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N°200 (75um)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la porción que pasa la N°40 (425um):													
Límite líquido	-	-	-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Materiales importantes habitualmente lo constituyen	Fragmentos de piedra, grava y arena.		Arena Fina		Grava y arena limosa o arcillosa		Suelo limoso		Suelo arcilloso				

Nota. La tabla muestra el tipo de suelo de acuerdo a características granulométricas y de consistencia. Tomado de "Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes" (p.13), por ASTM D 3282-93, 1993, ASTM International.

Figura 3

Carta de plasticidad-AASHTO



Nota. La figura muestra la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad, las regiones separadas indican al tipo de suelo y grupo que pertenecen tipo de suelo de acuerdo a características granulométricas y de consistencia. Tomado de "Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes" (p.4), por ASTM D 3282-93, 1993, ASTM International.



A su vez esta metodología permite al usuario saber que tan bueno es el suelo como subrasante, a través del índice de grupo:

$$\text{índice de grupo} = (F - 35) * [0.2 + 0.005 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (8PI - 10)$$

Donde:

F: porcentaje de suelo que pasa la malla N°200, expresado solo como número.

LL: límite líquido, expresado solo como número.

PI.: índice de plasticidad, expresado solo como número.

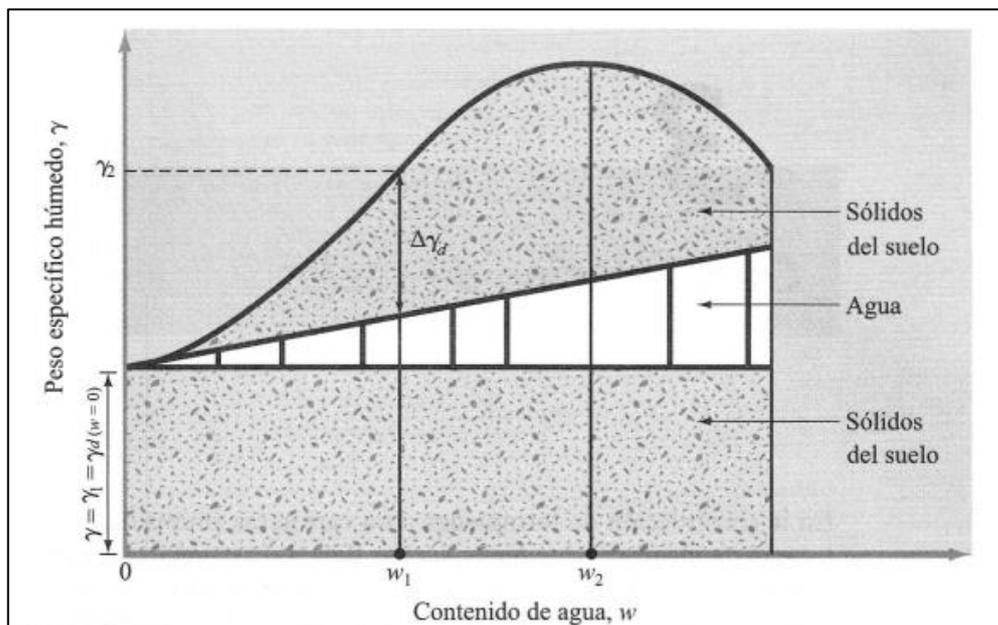
Para lo cual la ASTM (2011) menciona que valores cercanos a cero son muy favorables para un suelo de subrasante, cuanto más se aleje de este valor no son recomendables.

2.2.6. Compactación de los suelos

Das (2001) indica que la compactación tiene el fin de la densificación del suelo con la remoción de aires a través del energía mecánica; además, se hace uso del agua durante la compactación con el fin de ablandar las partículas del suelo, haciendo que el movimientos entres éstas sea más fácil, cambiando de posición para densificarlo. Esta explicación se entiende mejor en la siguiente figura:

Figura 4

Principio de compactación



Nota. El gráfico muestra la existencia de una densidad máxima para una cantidad de agua. Tomado de “Fundamentos de la ingeniería geotécnica” (p. 52), por B. M. Das, 2001, Thomson Learning.

En el laboratorio para encontrar el punto en el cual se tenga mayor densidad del suelo se hace uso del ensayo de Proctor que de acuerdo a las necesidades de los resultados del experimento: para un suelo que soportará mayor carga o menor se usará proctor modificado o normal respectivamente. (ASTM D1557-07, 2007)

2.2.7. Ensayo CBR

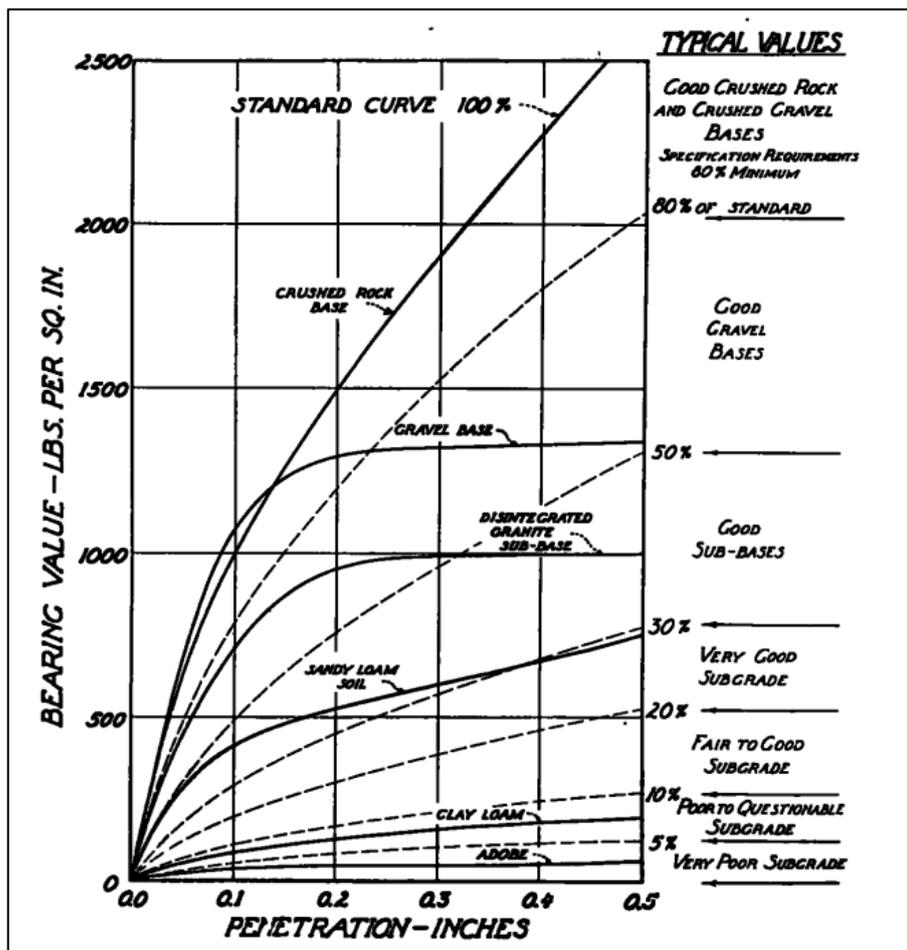
Explicado por Porter (1938) como un ensayo que se realiza en las partículas del suelo, en especial, las que pasen la malla N°40 la prueba consiste en humedecer el material hasta un contenido óptimo de humedad y luego consolidar la muestra en un recipiente de 6 pulgadas. molde cilíndrico, después de esta operación, el espécimen se sumerge y se coloca en un tanque de agua, después de anotar primero la altura. Durante el período de saturación, la muestra está



confinada dentro del molde por un disco poroso y un peso de 10 libras que representa el efecto de sobrecarga sobre la subrasante de un espesor de pavimento de 4 a 5 pulgadas. Luego someterlo a una carga de 2000 lb por pulgada cuadrada. La muestra contenida en el molde se prueba para el valor de soporte penetrando el centro de la muestra compactada a una velocidad de 0,05 pulgadas por minuto con un pistón de 3 pulgadas cuadradas de área. Un dial sujeto al aparato mide con precisión la penetración del pistón. Se registran las cargas para cada incremento de 0,1 pulg. de penetración, hasta un total de 0,5 pulg. Esta prueba se realizó a un suelo del área de California tomando el resultado como un estándar o un punto de medida para aplicar este mismo ensayo a otros suelos con el fin de compararlo con los resultados del suelo de California. En la siguiente figura se observa el resultado y la recomendación de Porter para el uso de otros suelos como parte del pavimento.

Figura 5

Curva del suelo de California del ensayo de CBR



Nota. El gráfico muestra la relación de penetración por esfuerzo de un suelo modelo del área de California y otros tipos de suelos. Tomado de "The Preparation Of Subgrades" (p. 327), por O. J. Porter, 1937.

2.2.8. Diseño de pavimento, método AASHTO 93

El diseño de pavimentos por la metodología AASHTO 93 Este proceso implica proporcionar una estimación de la cantidad de ejes equivalentes estándar de 80 kN que el pavimento puede resistir antes de que su nivel de servicio alcance un valor específico de deterioro. A través de esta estimación, podemos evaluar la duración prevista o el ciclo de vida de la estructura del pavimento. A su vez, se sabe que esta metodología es empírica ya que debido a su origen se basa en pruebas de laboratorio. (Rodríguez et al., 2016, p.1)



Esta metodología tiene distintos datos de ingreso para determinar el diseño de pavimento final, se detalla a continuación:

2.2.8.1. Tránsito

El origen de la evaluación del tránsito se realizó con un solo tipo de vehículo de ejes simples con un peso de 80 KN el cual es representado por un ESAL. Sin embargo, contamos con distintos tipos de vehículos por lo que es necesario llevar a una equivalencia estos distintos vehículos al estándar (ejes simples de 80 KN). (AASHTO, 1993, p. I-11,12)

Ya que se conoce la existencia de ejes simple, tándem, trídem para encontrar el factor de carga equivalente (LEF) para los ejes estándar, se expone la siguiente ecuación (AASHTO, 2006, p.21-22):

$$LEF = \frac{\text{Nº de ESALs de 80KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº de ESALs de } x \text{ KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

El LEF sirve como equivalencia para ejes, mas no para el vehículo entero que podría estar compuesto por distintos ejes (simple, tándem o trídem) por lo cual, para facilidad de cálculo se recomienda unir los LEF's de un vehículo: esta suma será el factor camión. El ministerio de transportes y comunicaciones resume el LEF y lo renombra como ejes equivalentes (EE) de la siguiente manera:

Tabla 3

Ejes equivalentes según a su peso y tipo

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2ton})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} =(P/6.6) ^{4.0}
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S1} =(P/8.2) ^{4.0}
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{S1} =(P/14.8) ^{4.0}
Eje Tandem (2 ejes ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{S1} =(P/15.1) ^{4.0}
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{S1} =(P/20.7) ^{3.9}
Eje Tridem (3 ejes ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{S1} =(P/21.8) ^{3.9}

P = Peso real por eje en toneladas

Nota. Esta tabla muestra los ejes equivalentes en función al Peso del eje y su tipo. Tomado de “Manual de carreteras” (p.65), por M.T.C., 2014.

Finalmente, el ESAL total es de la siguiente forma (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014):

$$ESAL's = \sum (TPDA * Fca * 365)$$

Donde:

\sum : Representa la sumatoria de cada tipo de vehículo pesado por día por el factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

365 : Número de días del año

Fca : Factor de crecimiento acumulado de vehículo pesado (ver tabla 4)

$$TPDA = IMD_{pi} * Fd * Fcd * FC * Fp$$

IMD_{pi} : Corresponde al índice medio diario según tipo vehículo pesado.

Fd : Factor dirección, ver tabla 5.



Fcd : Factor carril de diseño, ver tabla 5.

FC : Factor camión

Fp : Factor de presión de neumáticos, ver tabla 6.

Tabla 4

Factor de crecimiento de vehículos pesados

Periodo de análisis (años)	Sin crecimiento	Tasa de crecimiento anual, Porcentaje						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	18.29	19.60	21.02	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.54
18	18.00	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	29.78	33.07	36.79	41.00	45.76	57.27

Nota. Esta tabla muestra los factores de crecimiento acumulado en función a los años de análisis y la tasa de crecimiento. Tomado del apéndice D de “AASHTO guide for design of pavement structures” (p. appendix D-24), por AASHTO, 1993.



Tabla 5

Factores de dirección y carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 Calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1.00	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2.00	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3.00	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4.00	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1.00	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2.00	0.50	0.80	0.40
2 Calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentido	1.00	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2.00	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3.00	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4.00	0.50	0.50	0.25

Nota. Esta tabla muestra el factor ponderado por dirección y carril. Tomado de “Manual de carreteras” (p.64), por M.T.C., 2014.



Tabla 6

Factor de ajuste por presión de neumático

Capa de Rodadura (mm)	Presión de contacto del neumático (PCN) en psi, $PCN = 0.90x(\text{presión de inflado del neumático})$ (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.30	1.80	2.12	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Nota. Esta tabla muestra el factor por presión de neumático en base a la presión de inflado y el espesor de la capa de rodadura. Tomado de “Manual de carreteras” (p.73), por M.T.C., 2014.

2.2.8.2. Características de la subrasante

La metodología AASHTO (1993, p. I-13) hace uso del módulo resiliente del suelo, ya que es una medida de plasticidad o también módulo de elasticidad del suelo. Sin embargo, como esta característica era novedosa y, sobre todo, mucho más compleja que el ensayo de CBR. Por lo que, la propia AASHTO da



relaciones de módulo resiliente en función del CBR de acuerdo a ensayos hechos por ellos.

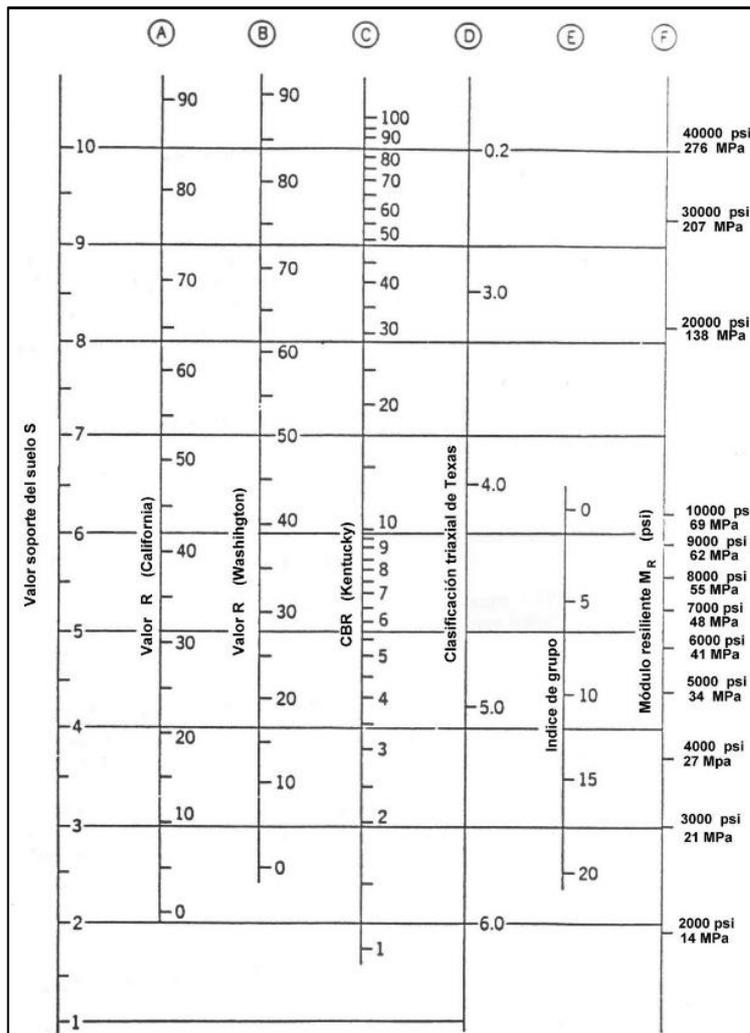
Heukelom and Klomp (extraído de AASHTO 93, p. I-14) relacionan el CBR con el módulo resiliente, se recomienda usar estos valores cuando el CBR es menor al 10%:

$$MR(\text{psi}) = 1500 * CBR$$

También (AASHTO, 2006) se muestra la siguiente figura, con el fin de relacionar únicamente los distintos tipos de ensayos con el módulo resiliente y no entre los otros ensayos:

Figura 6

Correlaciones con el módulo resiliente



Nota. Esta figura muestra la relación gráfica entre distintos ensayos y el módulo resiliente en suelos. Tomado de "Diseño de pavimentos" (p.93), por AASHTO, 2006.

2.2.8.3. Características de concreto asfáltico

En la guía de diseño de pavimentos por AASHTO (2006) se explica que el concreto asfáltico es un material compuesto por una combinación de agregados que quedan envueltos en una matriz de cemento asfáltico, que rellena los espacios entre estos agregados y los une entre sí. El cemento asfáltico conserva su flexibilidad y proporciona la entereza estructural al recubrir los agregados,

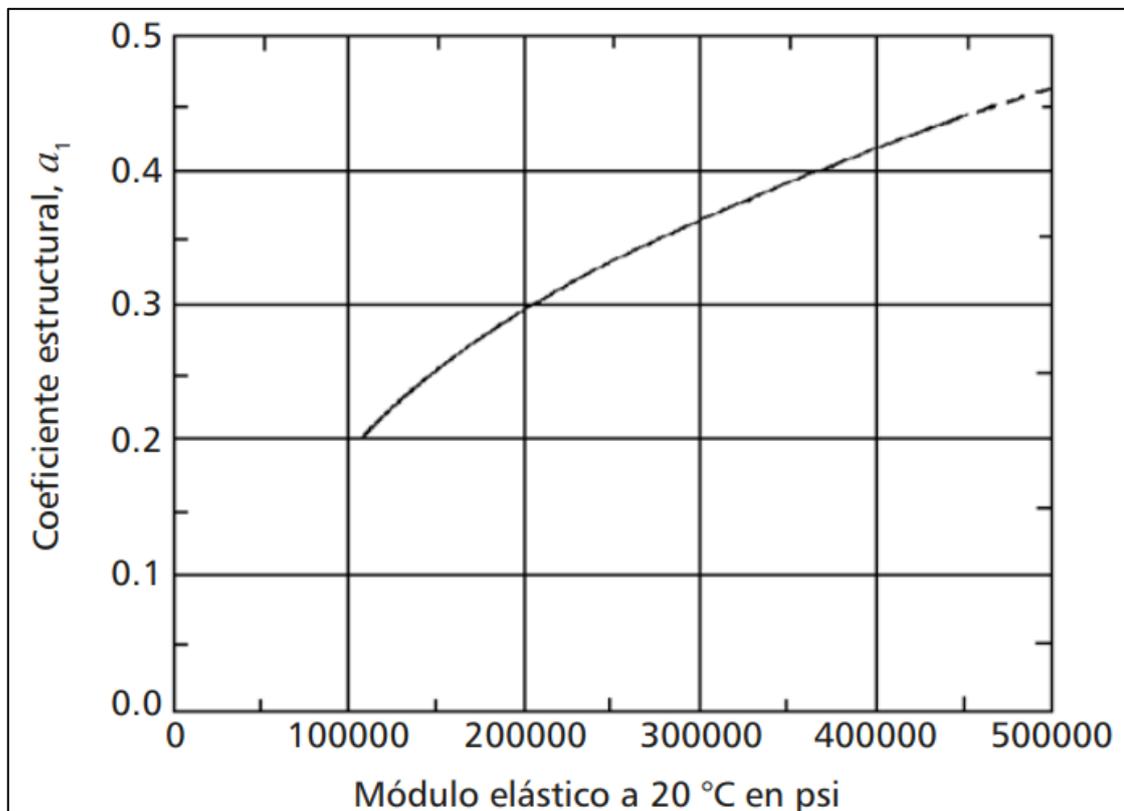


otorgándole a la combinación sus propiedades cohesivas. Ya que el cemento asfáltico se encuentra en un estado semisólido a temperaturas normales, la calidad y la granulometría de los agregados desempeñan un papel significativamente más importante en el caso del concreto asfáltico en comparación con los pavimentos de hormigón. (p.102)

Para continuar con el diseño de pavimentos por la metodología AASHTO es necesario tomar en cuenta la siguiente gráfica que relaciona el coeficiente de capa estructural del concreto asfáltico:

Figura 7

Coefficiente estructural α_1 para mezcla de concreto asfáltico

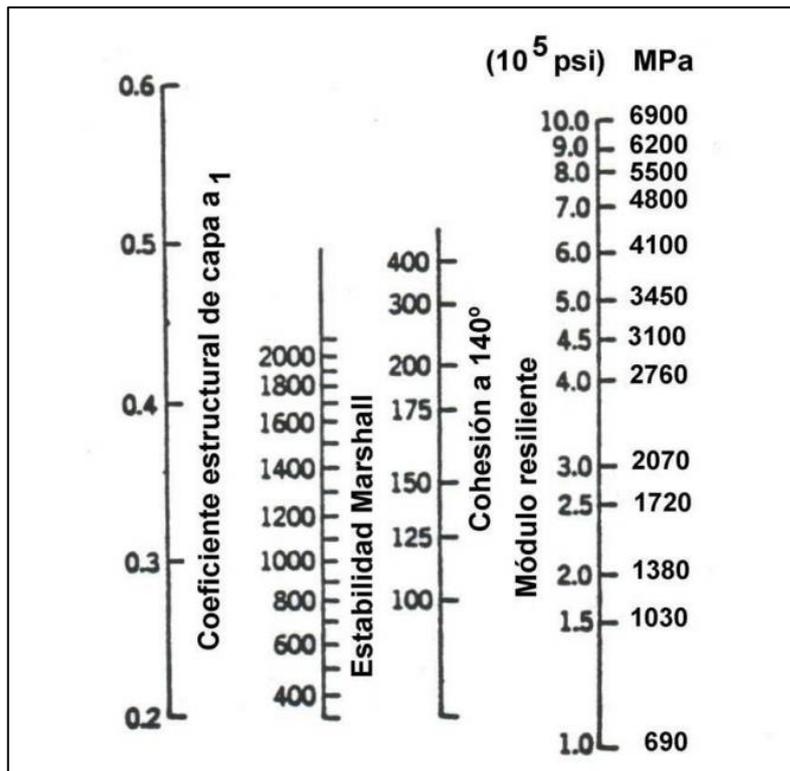


Nota. El gráfico muestra la relación gráfica entre el módulo elástico del concreto asfáltico y el coeficiente estructural α_1 . Extraído de “Pavimentos” (p. 542), por H. Rondón & F. Reyes, 2015. Ecoe Ediciones.

También la guía AASHTO nos muestra la siguiente figura que relaciona distintos ensayos con el fin de determinar el coeficiente estructural del concreto asfáltico.

Figura 8

Relación de coeficiente a1 con distintos ensayos



Nota. Esta figura muestra la relación gráfica entre distintos ensayos y el coeficiente estructural a1. Tomado de "Diseño de pavimentos" (p.110), por AASHTO, 2006.

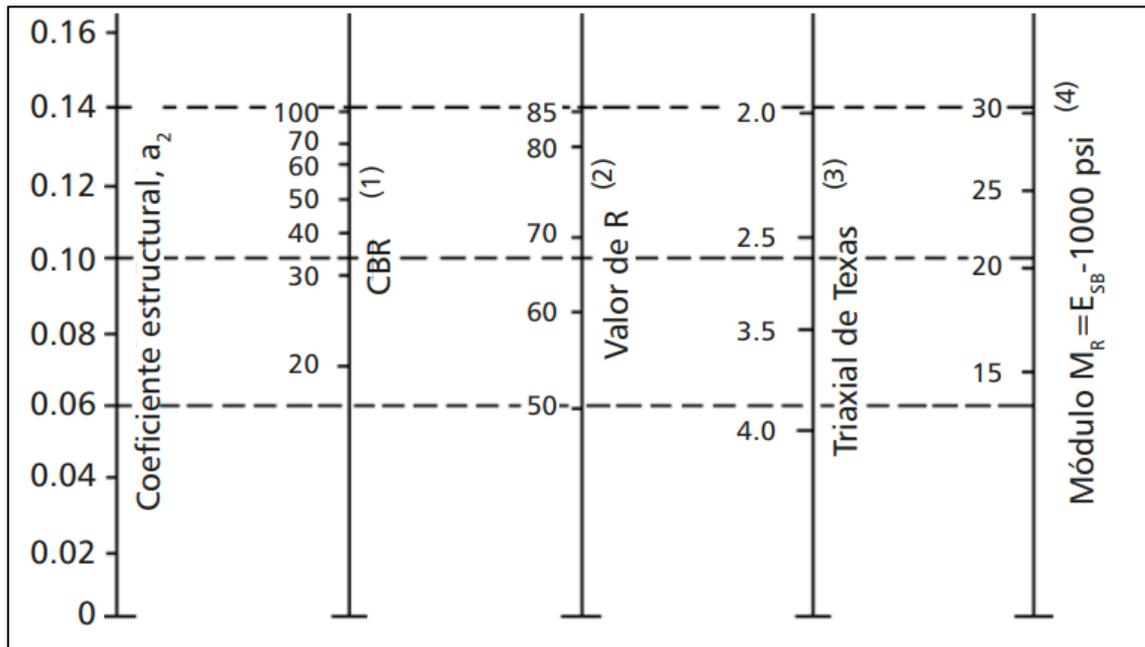
2.2.8.4. Características de la base

Esta capa se compone de materiales granulares sin tratamiento que se colocan sobre la subbase. En ocasiones, es posible construir esta capa directamente sobre la subrasante, siempre y cuando esta última muestre un buen rendimiento en términos mecánicos. El propósito fundamental de esta capa en el contexto de los pavimentos flexibles es transferir las cargas generadas por el tráfico, con las intensidades apropiadas, hacia las capas ubicadas debajo de ella. (Rondón Quintana & Reyes Lizcaon, p. 339, 2015)

Para el diseño del pavimento es importante conocer el módulo resiliente de la capa de base, para lo cual la AASHTO recomienda el siguiente gráfico que relaciona el CBR con el módulo resiliente (AASHTO, 1993):

Figura 9

Coefficiente estructural a_2 para base granular no tratada



Nota. El gráfico muestra la relación gráfica entre distintos ensayos de la base del pavimento y el coeficiente estructural a_2 . Extraído de “Pavimentos” (p. 543), por H. Rondón & F. Reyes, 2015. Ecoe Ediciones.

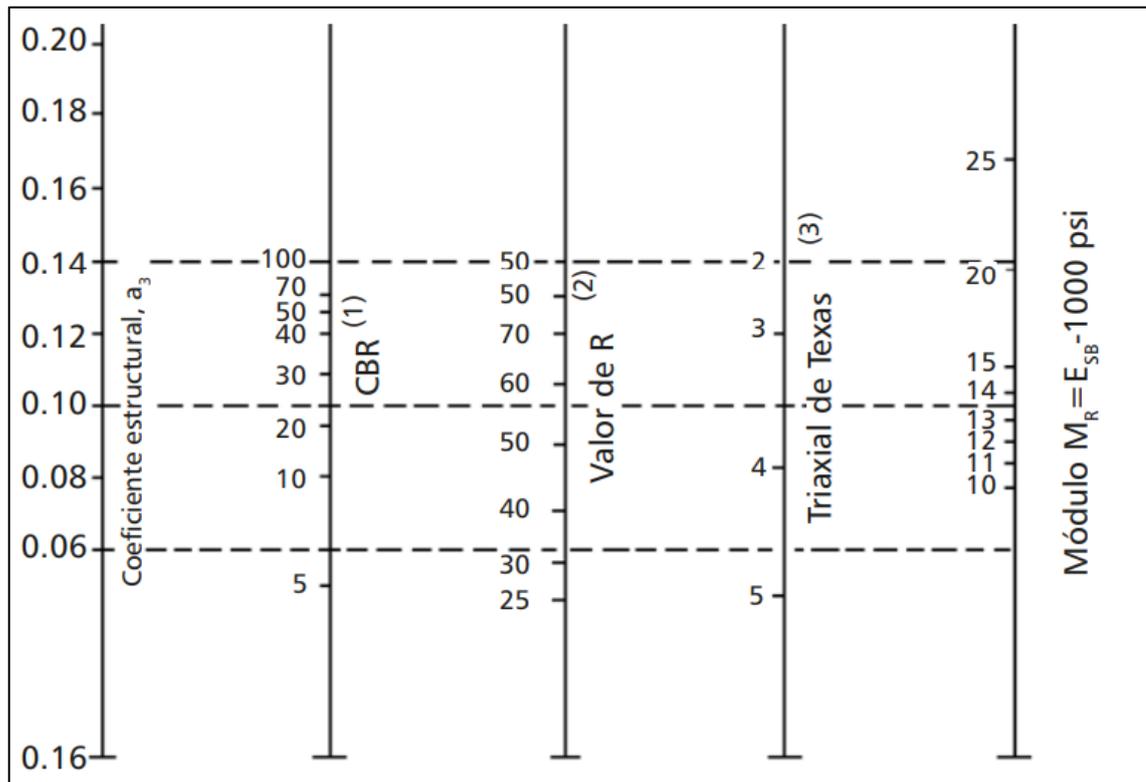
2.2.8.5. Características de la subbase

Es la capa de la estructura de pavimento que subyace a la base granular, compuesta por materiales granulares no tratados colocados generalmente sobre la subrasante, la subrasante mejorada, el afirmado o el terraplén. Al igual que la capa de base, la subbase presenta como función principal, en pavimentos flexibles, transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito impone en magnitudes moderadas y tolerables por esta. (Rondón Quintana & Reyes Lizcaon, p. 341, 2015)

Al igual que en la base, la AASHTO recomienda la siguiente relación entre el ensayo de módulo resiliente por otros más usados, como el CBR.

Figura 10

Coefficiente estructural a_3 para subbase granular no tratada



Nota. El gráfico muestra la relación gráfica entre distintos ensayos de la subbase del pavimento y el coeficiente estructural a_3 . Extraído de “Pavimentos” (p. 543), por H. Rondón & F. Reyes, 2015. Ecoe Ediciones.

2.2.8.6. Confiabilidad

La cualidad de variación es algo bastante presente que se tiene en cuenta en los diseños de pavimentos; la variabilidad en el diseño: la predicción del tránsito futuro puede cambiar a causa de distintos ejes de los vehículos pesados, mayor crecimiento económico por ende mayor carga de tránsito; variabilidad en la construcción: cualquier elemento que comprenda en la construcción del pavimento tiene una gran incertidumbre como los materiales, calidad del



pavimento final, espesores del pavimento, condiciones del drenaje; variabilidad en el comportamiento del pavimento: en una misma carretera se observará que, a pesar de tener las mismas especificaciones toda la trayectoria, habrá fisuras, fallas. Por lo que, a consecuencia de estas incertidumbres este diseño de pavimentos implementa un coeficiente que mitigue estas carencias (AASHTO, 2006).

La AASHTO recomienda la siguiente tabla de acuerdo a la funcionalidad del pavimento, para optar por confiabilidad:

Tabla 7

Niveles de confiabilidad

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

Nota. La tabla valores de confiabilidad recomendada en base al tipo de camino. Extraído de “Pavimentos” (p. 137), por H. Rondón & F. Reyes, 2015. Ecoe Ediciones.

Dentro de la confiabilidad, es parte la desviación estándar el MTC (2014, p. 136) recomienda que se le dé un valor de 0.45, además, la AASHTO recomienda los siguientes valores de desviación estándar normal (Z_r) en función de la confiabilidad adoptada:



Tabla 8

Valores Z_r en función de confiabilidad

Confiabilidad, R (porcentaje)	Desviación normal estándar, Z_R
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Nota. En esta tabla se muestra los valores de Z_R en base a valores de confiabilidad, R. Extraído de “AASHTO guide for design of pavement structures” (p. I-24), por AASHTO, 1993.

2.2.8.7. Drenaje

Los coeficientes de drenaje (m_i) para las capas de base y subbase se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a

niveles de humedad próxima a la saturación. (Rondón Quintana & Reyes Lizcaon, p. 544, 2015)

La AASHTO muestra la siguiente tabla que nos indica el tiempo que luego de estar saturado el tiempo que el agua demora en evacuar de la estructura de pavimento:

Tabla 9

Calidad de drenaje del pavimento

Calidad de Drenaje	Eliminación de agua dentro de
Excelente	2 horas
Bien	1 día
Justo	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

Nota. Se muestra la calidad de drenaje en base al tiempo de drenaje del agua. Extraído de “AASHTO guide for design of pavement structures” (p. II-22), por AASHTO, 1993.

De acuerdo a la clasificación anterior, luego, se presenta la siguiente tabla: el tiempo expuesto (porcentaje) con respecto a todos los días del año (365); es decir la relación entre los días de lluvia anual.

Tabla 10*Valores de mi según a la calidad de drenaje*

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo de la estructura de pavimento expuesto a humedad a niveles de saturación			
	Menos del 1%	1-5%	5-25%	Mayor a 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Justo	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Nota. Extraído de “AASHTO guide for design of pavement structures” (AASHTO, 1993, p. II-25).

2.2.8.8. Serviciabilidad

Nos indica el estado funcional de la vía, el cual se mide a través de la rugosidad de la capa de rodadura (medido en IRI, índice de rugosidad internacional); la AASHTO lo define como un índice de serviciabilidad: medido de 0 a 5 donde 5 es el valor más alto; que como su nombre lo indica, representa el grado de satisfacción del usuario de la vía, por lo que, al inicio de la vía se tendrá un índice de serviciabilidad alto, en cambio, cuando se haya cumplido su tiempo de vida será menor. La ecuación de la AASHTO nos indica la siguiente ecuación:

$$\Delta psi = p_i - p_f$$

Donde:

Δpsi : Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

p_i : índice de serviciabilidad inicial

p_f : índice de serviciabilidad final

Recomienda (Rondón Quintana & Reyes Lizcaon, p.544, 2015) que en al inicio de la vía se opte por valores de entre 4 y 4.2 para el índice de serviciabilidad y que pare el índice final, se opte de acuerdo a la importancia de la vía:

Tabla 11

Índice de serviciabilidad final

Tipo de vía	Serviciabilidad final, P_f
Autopista	2.5 - 3.0
Carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 - 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Nota. La tabla muestra valores de serviciabilidad final recomendada en base al tipo de camino. Extraído de “Pavimentos” (p. 544), por H. Rondón & F. Reyes, 2015. Ecoe Ediciones.

2.2.8.9. Procedimiento AASHTO 93

(AASHTO, 1993) Esta metodología se basa en la identificación de un número estructural (SN) para soportar el nivel de tráfico proyectado; para lo cual se hace uso de la siguiente fórmula:

$$\log(W_{18}) = Z_R * s_o + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log(M_R) - 8.07$$

Con la ecuación anterior, se determina el número estructural (SN), que la AASHTO nos indica que el resultado de este número es igual a las características del pavimento, para mejor entendimiento nos muestra la siguiente ecuación:

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



Donde:

a_1, a_2, a_3 : Son los coeficientes estructurales de la capa de rodadura, base y subbase respectivamente.

D_1, D_2, D_3 : Son los espesores de la capa de rodadura, base y subbase respectivamente, en pulgadas.

m_2, m_3 : Son los coeficientes de drenaje de la capa de base y subbase respectivamente, en pulgadas.

Esta ecuación puede tener muchas soluciones, con distintos espesores e incluso prescindiendo de la capa de subbase, por lo que, la AASHTO recomienda espesores de acuerdo a la carga de tráfico que el proyecto requiera:

Tabla 12

Espesores de base y concreto asfáltico

Espesor mínimo (pulgadas)		
Tráfico, ESAL's	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	1.0 (o tratamiento superficial)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,001 - 2,000,000	3.0	6
2,000,001 - 7,000,000	3.5	6
Mayor a 7,000,000	4.0	6

Nota. Esta tabla muestra los espesores mínimos recomendados para el concreto asfáltico y la base del pavimento. Extraído de “AASHTO guide for design of pavement structures” (p. II-35), por AASHTO, 1993.



Por lo que la solución deberá cumplir que el número estructural sea mayor o igual al que se requiera de acuerdo a la propiedad de módulo resiliente de la subrasante o terreno de fundación.

2.2.9. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos implica agregar sustancias químicas y métodos mecánicos para mejorar las características físicas de un suelo. Las sustancias químicas pueden ser naturales o sintéticas. Este tipo de estabilización generalmente se realiza en suelos que no son adecuados para su uso como subrasante y se conoce como estabilización con cemento, cal, asfalto u otros materiales similares. Por otro lado, una subbase o base granular tratada se refiere a la mejora de sus propiedades físicas con el fin de obtener una mejor calidad. Esto se hace utilizando cemento, cal, asfalto u otros materiales. Para mejorar los suelos, es imprescindible brindarles resistencia a los esfuerzos y la capacidad de sostener estas características a lo largo del tiempo. Existe una variedad de métodos, incluida la inclusión de un o más agentes estabilizadores y la adición de otro tipo de suelo. Después de la estabilización, se lleva a cabo un proceso de compactación, independientemente del mecanismo de estabilización utilizado. Existe una variedad de tipos de estabilización, incluida la sustitución del suelo en la subrasante, la estabilización mecánica del suelo, el mejoramiento por mezclas de suelos, la estabilización con cal, cemento, escorias, emulsión asfáltica y el mejoramiento con geomateriales sintéticos. No obstante, es crucial enfatizar la necesidad de realizar pruebas de laboratorio que confirmen la idoneidad de estas técnicas, así como la necesidad de construir etapas que confirmen los buenos resultados. Además, se debe garantizar que la construcción y el mantenimiento de



las vías se lleven a cabo de manera simple, económica y utilizando el equipamiento disponible. La siguiente información se proporciona por el MTC de Perú (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014):

- Se considerarán materiales aptos para suelos subrasantes con un CBR al menos del 6%. Si el suelo es menor (sub rasante insuficiente o sub rasante inadecuada) o hay zonas húmedas locales o áreas blandas, se llevará a cabo un Estudio Especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo. En este estudio, el Ingeniero Responsable evaluará varias opciones de estabilización o solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación o el reemplazo del suelo de cimentación. estabilización mediante el uso de productos o aditivos que mejoran las características del suelo, La estabilización se puede lograr mediante el uso de materiales sintéticos como geotextiles, geomallas u otros, pedraplén y capas de arena. Si las alternativas analizadas resultan demasiado costosas y complejas, se debe elevar la rasante o modificar el trazo vial.
- Si la capa de sub rasante es arcillosa o limosa y las partículas de estos materiales pueden penetrar en las capas granulares del pavimento al humedecerse, se debe proyectar una capa de material anticontaminante de al menos 10 cm de espesor o un geotextil, según lo justifique el Ingeniero Responsable.
- La superficie de la sub rasante debe estar por encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0,60 m para sub rasante extraordinaria y muy buena, 0,80 m para sub rasante buena y regular, 1,00 m para sub



rasante insuficiente y 1,20 m para sub rasante inadecuada. Se elevará la rasante hasta el nivel requerido o se colocarán subdrenes, capas anticontaminantes y/o drenantes según sea necesario.

- Se analizará el impacto de las heladas en el suelo en áreas a más de 4,000 metros sobre el nivel del mar. En general, la acción de congelamiento está relacionada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Si la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1.20 m), la acción de congelamiento no alcanzará la capa superior de la sub rasante. Si se encuentran suelos susceptibles al congelamiento en la capa superior de la sub rasante (últimos 0.60 m), se reemplazará el suelo en el espesor comprometido o se elevará la rasante con un relleno granular adecuado hasta el nivel requerido. Los suelos limosos son susceptibles al congelamiento. Igualmente, los suelos que contienen más del 3% de su peso de materiales de tamaño inferior a 0.02 mm no son congelables, excepto las arenas finas uniformes que contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a 0.02 mm. Los suelos no susceptibles generalmente contienen menos del 3% de su peso de materiales de tamaño inferior a 0.02 mm. La curva granulométrica de la fracción con un tamaño inferior a 0.074 mm (N° 200) se calculará mediante sedimentación.

Determinar el tipo de suelo existente es esencial para establecer un tipo de estabilización de suelo. En este sentido, los suelos que predominantemente requieren estabilización son limos, arcillas o arenas con un contenido considerable de éstas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, p. 89-90)



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Tipo de investigación

“Representa un conjunto de procesos organizado de manera secuencial para comprobar ciertas suposiciones. Cada fase precede a la siguiente y no podemos eludir pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna etapa”. (Hernández Sampieri & Mendoza, p. 6, 2018)

Por lo que esta investigación se ciñe a lo anterior y en consecuencia es del tipo cuantitativa.

3.1.2. Nivel de investigación

“Los estudios explicativos [...] como su nombre lo indica, 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 et al., 2014, p.95)

Los resultados de los ensayos han sido analizados y contrastados para determinar el efecto del tiempo de saturación en el diseño de pavimentos flexibles, por lo que es una investigación cuantitativa de nivel explicativo.

3.1.3. Diseño de investigación

Según Hernández Sampieri et al. (2014, p.128) menciona que el diseño implica elegir uno o más diseños de investigación y aplicarlos a la situación



específica de la investigación. El cuál se refiere a la estrategia ideal para concebir la información que sea necesaria para responder al problema.

Para la presente investigación, se desarrollará de la siguiente forma: el suelo se excavará del centro poblado de Capullani del distrito de Puno de la provincia de Puno, luego se clasificará el suelo por la metodología AASHTO y SUCS, de clasificarse como suelo de alta plasticidad, se continuará con la determinación de su contenido humedad óptimo y densidad máxima a través del ensayo de Proctor estándar; luego de saturar al suelo a los tiempos de: 4, 8, 15 y 30 días se realizó el ensayo de CBR. Posteriormente, con los resultados se diseñó el pavimento flexible por la metodología AASHTO 93; finalmente, se desarrollará los objetivos de la investigación.

Hernández Sampieri et al. (2014, p.129) asegura que, en una situación de control, las investigaciones experimentales buscan manipular mediante tratamientos o intervenciones (conocidas como variables independientes) para ver cómo afectan otras variables (dependientes). Por tanto, esta investigación tiene un diseño de investigación del tipo experimental contando con tres grados grado de manipulación (8, 15 y 30 días de saturación) y un grupo de control (4 días de saturación).

3.1.4. Población

Es un conjunto de componentes que comparten características comunes, para las cuales las conclusiones de la investigación serán extensivas. Esto está restringido por el problema y los objetivos del estudio. La población de la masa



total de suelo proviene de la zona de Capullani del distrito de Puno de la Provincia de Puno que cumpla las condiciones de suelo fino de alta plasticidad.

3.1.5. Muestra

La muestra es no probabilística, ya que, Hernández Sampieri et al (2014) explica que éstas proponen una estrategia de selección basada de acuerdo a las limitantes de la investigación (p. 189). La razón por la cual se opta por una muestra no probabilística, principalmente, es debido a la particular característica del suelo: altamente plástico, puesto que, es muy específica y no se sabe con certeza que cantidad de la zona de estudio puede contar con estos tipos de suelos que cumplan esta característica.

Entonces, la muestra es la cantidad de especímenes de suelos de alta plasticidad que se saturó en el ensayo de CBR:

Tabla 13

Muestra de la investigación

Tiempo de saturación en ensayo CBR	Cantidad de ensayos
4 días	3
8 días	3
15 días	3
30 días	3

Nota. Elaboración propia

Condo & Pazmiño (2015) explican que sin importar cuál sea el origen del error experimental, llevar a cabo el experimento nuevamente reduce el error vinculado con las disparidades entre los resultados promedio de los diferentes



tratamientos. Esto es válido siempre y cuando se hayan tomado precauciones específicas para evitar que ciertos tratamientos sean favorecidos en una repetición en comparación con otra. (p.45)

Entonces, con el fin de reducir el error experimental en la saturación y el resultado del ensayo CBR, se realiza tres ensayos por cada día de evaluación con el propósito de reducir los errores ocasionados por la contaminación cruzada (por cualquier componente en el agua de saturación), por condiciones ambientales (la temperatura puede afectar al ensayo) o por cualquier error aleatorio.

3.1.6. Recolección de datos

La principal técnica de recolección y análisis de datos es la observación y análisis documental mediante el registro digital de datos en formatos diseñados en hojas de cálculo y el registro manual en el cuaderno de campo. Luego, la fase estadística del análisis de datos es donde se realizan los cálculos pertinentes.

3.1.7. Operacionalización de variables

Ñaupas Paitán et al. (2018) explican que es un proceso lógico que implica convertir las variables teóricas en variables más precisas, luego estas últimas en indicadores, y posteriormente crear los reactivos en función de éstos últimos. (p. 260)

Esta investigación cuenta con las siguientes variables y su operacionalización:



Tabla 14

Variables de investigación

TIPO	VARIABLE
Independiente	Tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad
Dependiente	Altura del diseño de pavimentos flexibles
Dependiente	Valores de CBR
Dependiente	Grado de saturación
Dependiente	Mejoramiento del suelo

Nota. Elaboración propia

Tabla 15

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSI ONES	INDICADORES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE					
Tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad	El tiempo de saturación se refiere al período necesario para que una muestra de suelo se sature completamente con agua. La saturación implica que todos los espacios vacíos entre las partículas del suelo están llenos de agua, y el aire ha sido expulsado por completo	Tiempo de saturación	<ul style="list-style-type: none"> • 4 DÍAS • 8 DÍAS • 15 DÍAS • 30 DÍAS 	Medir el tiempo en días necesarios que se ha sumergido al suelo mediante el ensayo CBR.	Registro de tiempo durante el proceso de saturación en el laboratorio.
		Tipo de suelo	Clasificación del suelo por AASHTO, SUCS	Identificar y describir las propiedades físicas del suelo utilizado, como su granulometría, límites de consistencia	Análisis de laboratorio y documentación de las propiedades físicas del suelo mediante los ensayos de consistencia, granulometría e hidrometría
VARIABLE DEPENDIENTE					
Altura del diseño de pavimentos flexibles	Es el resultado de los espesores del diseño de pavimentos que se refiere al proceso de planificación y cálculo de las especificaciones técnicas necesarias para construir y mantener superficies de rodadura seguras y duraderas en carreteras, etc.	Espesor del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de tránsito • Características de los materiales: base, subbase, subrasante • Confiabilidad • Condición climática • Serviciabilidad 	Determinar el espesor del pavimento por la metodología AASHTO 93	Documentación, referencias escritas y hojas de cálculo para el diseño de pavimento

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE					
Valores de CBR	El CBR es una prueba para estimar la resistencia al esfuerzo del suelo utilizando la resistencia puntual del suelo con respecto a un suelo modelo.	Resistencia a al corte del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Relación de esfuerzo con valores de referencia Densidad seca Humedad del suelo 	Determinar la relación de soporte con respecto a la piedra de California para una densidad seca máxima y un contenido de humedad óptimo.	Análisis de laboratorio y documentación de la resistencia al corte del suelo mediante los ensayos de CBR y Proctor modificado
		Expansión del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Medida de expansión en días de saturación Grado de saturación 	Determinar la expansión en milímetros y el grado de saturación.	Aparato de medición de expansión, análisis de relaciones volumétricas mediante la gravedad específica
VARIABLE DEPENDIENTE					
Grado de saturación	Se define como el cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío en el suelo.	Propiedades del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Relación de vacíos, e Contenido de humedad, $\%w$ Peso específico húmedo, γ_w Gravedad específica, G_s 	Determinar el grado de saturación en función a propiedades del suelo, según la ecuación del anexo 2	Resultado de laboratorio para los ensayos de gravedad específica, mediciones del ensayo CBR.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE					
Mejoramiento del suelo	El mejoramiento del suelo se refiere a una serie de técnicas y prácticas utilizadas en la ingeniería civil y la construcción para modificar las propiedades y la calidad de un suelo con el objetivo de hacerlo adecuado para una aplicación específica.	Tipo de mejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Normas de mejoramiento de suelo 	Determinar el tipo de mejoramiento	Análisis de documentación, normas nacionales e internacionales
		Propiedades de CBR	<ul style="list-style-type: none"> • Valor de CBR del suelo • Expansión del suelo 	Determinar el valor de CBR y expansión para el tipo de mejoramiento elegido	Equipo de CBR, aparato de medición de expansión
		Espesor del pavimento de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño AASHTO 93 	Determinar el espesor del pavimento por la metodología AASHTO 93	Documentación, referencias escritas y hojas de cálculo para el diseño de pavimento

Nota. Elaboración propia

3.1.8. Prueba de hipótesis

Ñaupas Paitán et al. (2018) explica que la prueba de hipótesis es un método estadístico-matemático para determinar si las hipótesis alternas son consistentes. Es decir, la prueba consiste en recopilar información de la realidad con el fin de obtener pruebas empíricas que respalden o refuten la hipótesis planteada. Por su parte Hernández Sampieri & Mendoza (2018) exponen que existe dos tipos de análisis: paramétrico y no paramétrico; ya que, esta investigación tiene una población con una distribución no normal, requiere un análisis no paramétrico. Así, se hace uso de una análisis que permita evaluar la relación de variables que no tengan distribución normal; el coeficiente de rho de Spearman permite evaluar este tipo correlaciones (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018).

Para la interpretación del coeficiente de usará la siguiente tabla:

Tabla 16

Escala de interpretación coeficiente rho

Rho	Grado de relación
± 1	Perfecta
$\pm 0.9 - 1$	Excelente
$\pm 0.8 - 0.9$	Buena
$\pm 0.5 - 0.8$	Regular
$\pm <0.5$	Mala

Nota. La tabla muestra valores del grado de relación conforme al coeficiente de rho de Spearman. Extraído de “el coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización” (2009), por Martínez Ortega et al. Revista Habanera de Ciencias Médicas.

Además, Martínez Ortega et al (2009) explica que el coeficiente positivo significa que existe una correlación directa, en cambio el coeficiente negativo una correlación inversa.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Ubicación del suelo

El suelo proviene del centro poblado de Capullani, perteneciente al distrito, provincia y región de Puno. La ubicación exacta es la siguiente:

Figura 11

Ubicación geográfica de la muestra



Nota. Extraído de Google Earth (2023)

Tabla 17

Ubicación geográfica de suelo

Zona	Latitud	Longitud
19L	8239981.62 S	391228.37 E

Nota. Elaboración propia

Figura 12

Extracción de suelo



Nota. Elaboración propia

3.2.2. Características del suelo

3.2.2.1. Granulometría (ASTM D 422).

De acuerdo al ensayo de la ASTM (2007) se obtiene los siguientes resultados, primeramente se hace la granulometría por los tamices estándares, el cálculo a detalle en (anexo 9) y (anexo 12) :

Tabla 18*Granulometría mayor a malla #200*

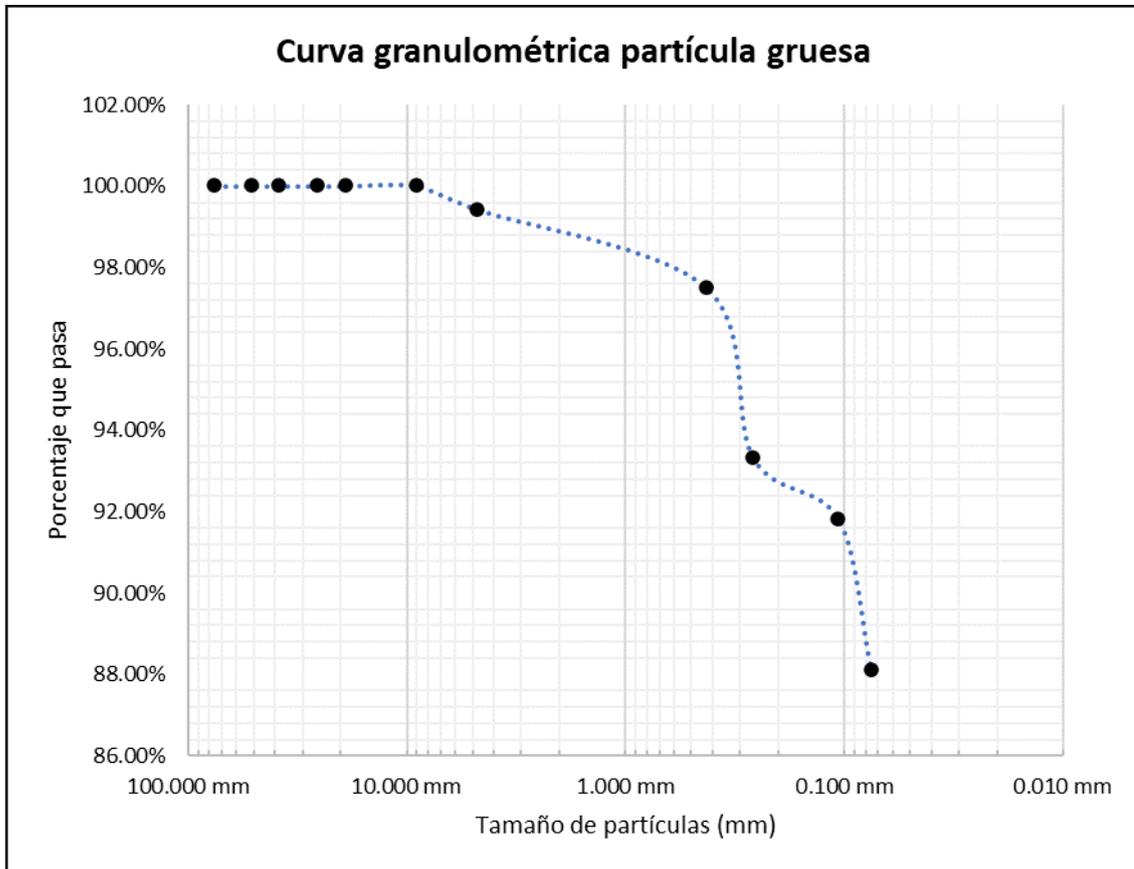
TAMICES	ABERTURAS (mm)	PESO RETENIDO	PESO RET. CORREGIDO	% RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%ACUMULADO QUE PASA
3"	75.000 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.800 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.000 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.000 mm	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.760 mm	3.12	3.12	0.57%	0.57%	99.43%
N°10	2.000 mm	10.5	10.5	1.93%	2.50%	97.50%
N°20	0.840 mm	0	0	0.00%	2.50%	97.50%
N°40	0.425 mm	0	0	0.00%	2.50%	97.50%
N°60	0.260 mm	22.81	22.81	4.19%	6.69%	93.31%
N°140	0.106 mm	8.2	8.2	1.50%	8.19%	91.81%
N°200	0.075 mm	20.18	20.18	3.70%	11.89%	88.11%
BASE		5.85	480.13	88.11%	100.00%	0.00%
TOTAL		70.66	544.94	100.00%		

Nota. Elaboración propia

El cual le corresponde la siguiente figura:

Figura 13

Curva granulométrica partículas gruesas



Nota. Elaboración propia

Como se observa el 88.11% de la muestra del suelo tiene un diámetro menor al de la malla #200 (0.075mm). Por lo que es necesario realizar un ensayo más acorde para suelos finos; se hace uso del ensayo de ASTM D422-63 (2007) que ayudará mejor a separar las proporciones de suelo que tengan un diámetro menor a 0.075mm:



Tabla 19

Granulometría de suelo

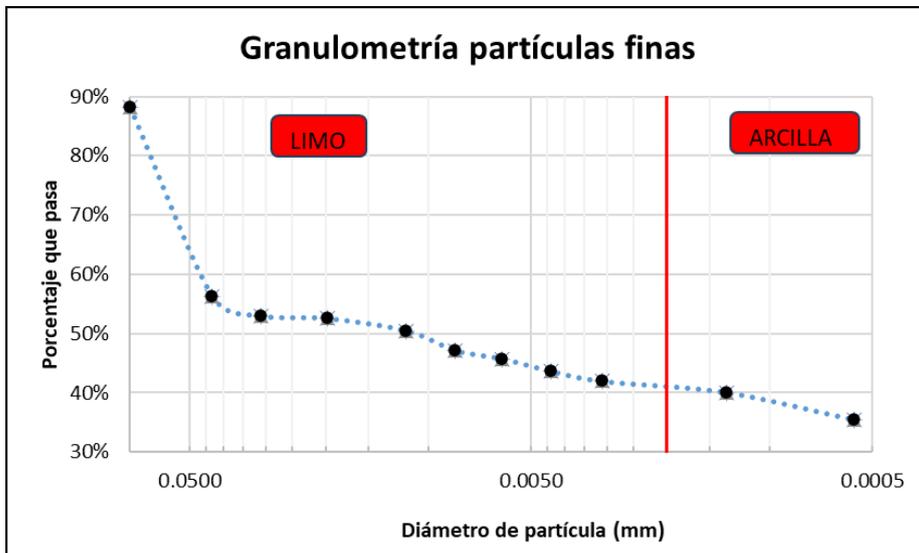
Tiempo	D(mm)	% más fino	% acumulado que pasa
-	9.0000	-	100%
-	4.7600	-	99%
-	2.0000	-	98%
-	0.2600	-	93%
-	0.1060	-	92%
-	0.0750	-	88%
1 min	0.0431	63.85	56%
2 min	0.0310	60.10	53%
5 min	0.0198	59.61	53%
15 min	0.0116	57.24	50%
30 min	0.0083	53.49	47%
60 min	0.0061	51.87	46%
120 min	0.0044	49.50	44%
250 min	0.0031	47.59	42%
1440 min	0.0013	45.45	40%
8640 min	0.0006	40.23	35%

Nota. Elaboración propia

Entonces, la curva, de la parte fina, del suelo es:

Figura 14

Curva de granulometría partículas finas



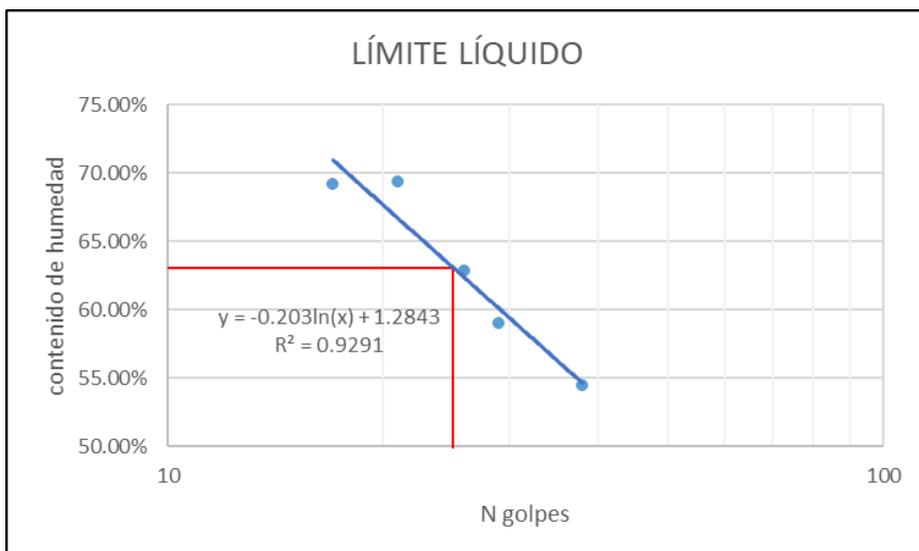
Nota. Elaboración propia.

3.2.2.2. Límites de consistencia (NTP 339.129).

Primero se realiza el ensayo de límite líquido, se realizó de acuerdo al Instituto Nacional de Calidad (2019). Ver detalle en (anexo 10):

Figura 15

Límite líquido



Nota. Elaboración propia

Reemplazando la ecuación:

$$\text{Límite líquido} = 63.09\%$$

Luego se realizó el ensayo de límite plástico; también, se realizó de acuerdo al Instituto Nacional de Calidad (2019):

Tabla 20

Límite plástico

	UND	1	2	3	4
TARA		D-21	A-7	S-011	A-07
PESO DE TARA	gr.	13.8	10.48	12.49	13.45
PESO TARA + SUELO HÚMEDO	gr.	18.91	19.6	19.65	21.58
PESO TARA + SUELO SECO	gr.	17.83	17.61	18.11	19.85
PESO DEL AGUA	gr.	1.08	1.99	1.54	1.73
PESO DEL SUELO SECO	gr.	4.03	7.13	5.62	6.4
LÍMITE PLÁSTICO	%	26.80%	27.91%	27.40%	27.03%

Nota. Elaboración propia

$$\text{Límite plástico} = 27.29\%$$

Finalmente, se halla el índice de plasticidad:

$$\text{índice de plasticidad} = 35.80\%$$

3.2.2.3. Clasificación de suelo.

A la muestra de suelo se le clasificó por la metodología AASHTO y SUCS, ver detalle en (anexo 13 y 14).



De acuerdo a la metodología AASHTO, se usó la guía de (ASTM D-3282, 1993) del cual resulto un suelo fino, primero se usó la siguiente tabla que de acuerdo a la granulometría se discriminó de la parte más gruesa:

Tabla 21

Clasificación de suelo fino (AASHTO)

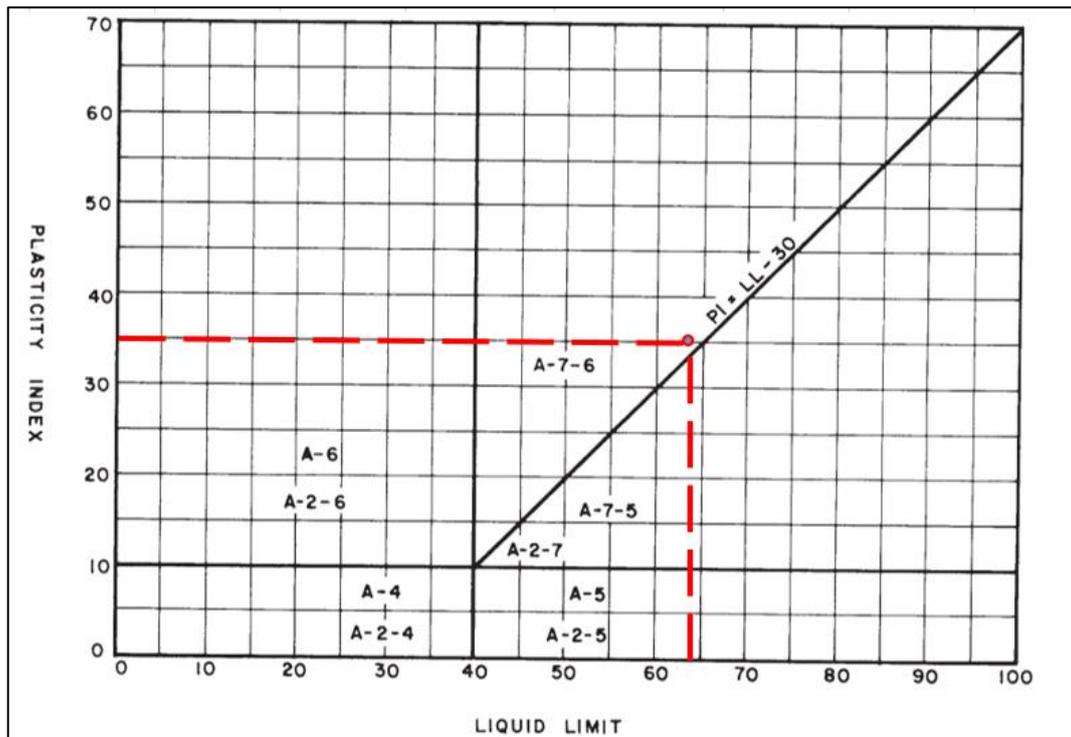
Clasificación General	Materiales limos-arcillosos (Más del 35% pasa la malla N°200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5, A-7-6
Análisis granulométrico, % que pasa:				
N°10 (2.00mm)	-	-	-	-
N°40 (425um)	-	-	-	-
N°200 (75um)	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la porción que pasa la N°40 (425um):				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Materiales importantes que habitualmente lo constituyen	Suelo limoso		Suelo arcilloso	

Nota. En esta tabla se muestra las características de los suelos finos. Recuperado de “Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes” (p. 3), por ASTM, 1993

Luego, para detallar mejor el tipo de suelo fino al que pertenece el suelo, se usó la siguiente figura:

Figura 16

Carta de plasticidad (AASHTO)



Nota. Esta figura muestra la relación del límite líquido y plástico para diferenciar los suelos finos. Recuperado de “Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes” (p. 4), por ASTM, 1993.

Por lo que el suelo es:

A-7-6 (36): Suelo arcilloso de alta plasticidad.

Para la metodología SUCS, se usó la guía de (ASTM-D-2487, 2011) del cual resulto un suelo (al igual que en la metodología anterior se separó la clasificación de suelo fino o grueso):

Tabla 22

Clasificación de suelo fino (SUCS)

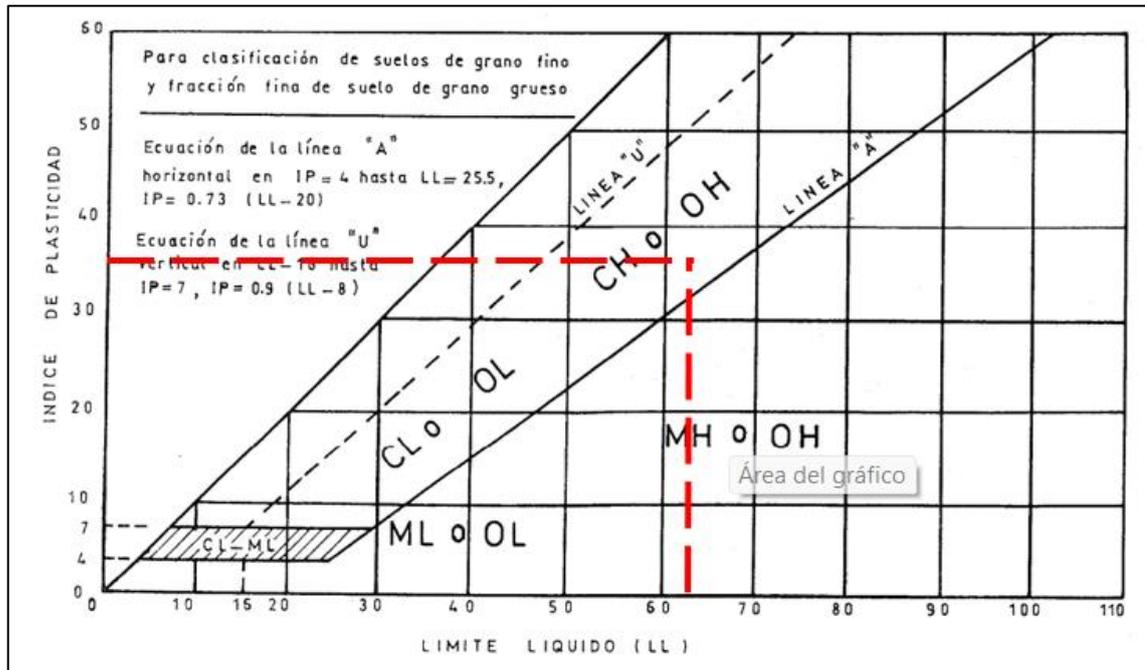
Criterios para asignar símbolos, Nombre utilizando ensayos de laboratorio		Clasificación del suelo			
		Símbolo de grupo	Nombre de grupo		
Suelos de grano fino	Limos y arcillas	Inorgánicos	IP > 7 y cae e o sobre la línea "A"	CL	Arcilla de plasticidad baja
	Límite líquido < 50	Orgánicos	IP < 4 y cae bajo la línea "A"	ML	Limo
			Límite líquido - secado al horno	OL	Arcilla orgánica
			Límite líquido - sin secado al horno	< 0.75	Limo orgánico
50% o más pasa la malla N°200	Limos y arcillas	Inorgánicos	IP cae en o sobre la línea "A"	CH	Arcilla de plasticidad alta
			IP cae bajo la línea "A"	MH	Limo elástico
	Límite líquido ≥ 50	Orgánicos	Límite líquido secado al horno	OH	Arcilla orgánica
			Límite líquido sin secado al horno	< 0.75	Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Patrón de identificación principal, color oscuro y olor orgánico	PT	Turba

Nota. Esta tabla muestra la clasificación del suelo de la parte fina por la metodología SUCS. relación del límite líquido y plástico para diferenciar los suelos finos. Recuperado de "Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)" (p. 6), por ASTM, 2011.

Luego, para detallar mejor el tipo de suelo fino al que pertenece el suelo, se usa la siguiente figura:

Figura 17

Carta de plasticidad (SUCS)



Nota. La figura muestra la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad. Recuperado de "Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos)" (p. 13), por ASTM, 2011.

Por lo que el suelo es:

CH: Arcilla de alta plasticidad.

3.2.2.4. Densidad máxima y contenido de humedad óptimo (ASTM D 1557).

Se usa el ensayo de Proctor modificado tomando en cuenta la norma (ASTM D1557-07, 2007), los resultados del ensayo son los siguientes. Ver a detalle en (anexo 15).

Tabla 23

Resultado Proctor modificado

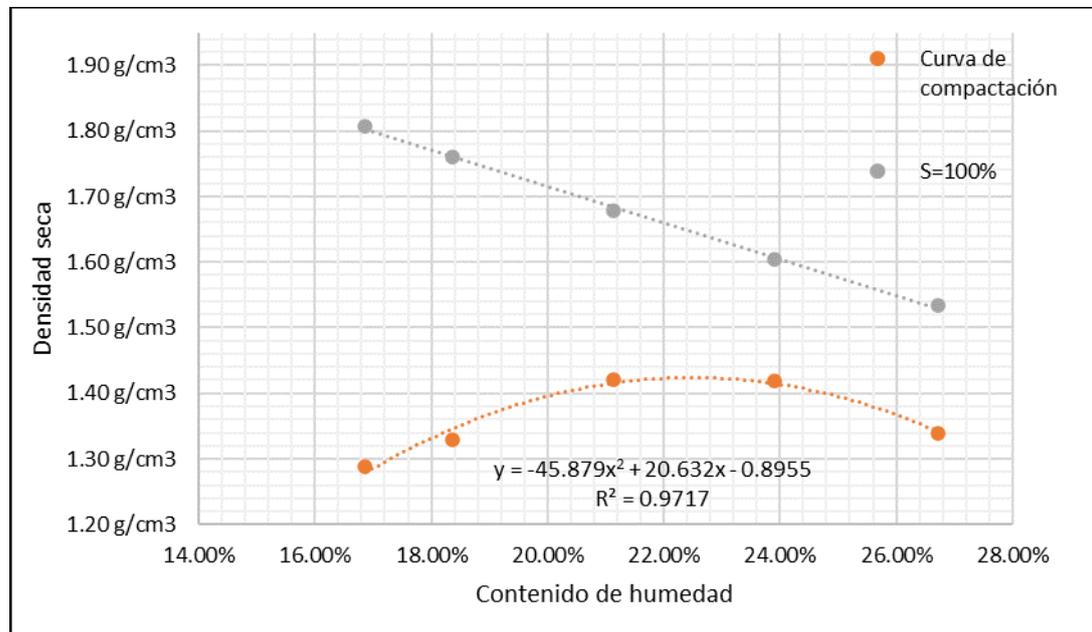
ENSAYOS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (g/cm ³)	S=100% (g/cm ³)
1	16.86%	1.29	1.81
2	21.14%	1.42	1.68
3	23.90%	1.42	1.60
4	26.71%	1.34	1.53
5	18.36%	1.33	1.76

Nota. Elaboración propia

Se grafica los resultados en un plano cartesiano contenido de humedad vs densidad seca:

Figura 18

Curva de compactación



Nota. Elaboración propia

De la ecuación se determina que:

$$\text{Contenido de humedad óptima} = 22.49\%$$



$$\text{Densidad máxima seca} = 1.42 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Además, para los siguientes ensayos, se usa la siguiente ecuación para determinar la cantidad de agua a aumentar (comprobación anexo 1):

$$x = (\%w_2 - \%w_1) * \left[\frac{Wh_1}{\%w_1 + 1} \right]$$

Donde:

x : Cantidad de agua a agregar (ml)

$\%w_1$: Contenido de humedad para una condición 1.

$\%w_2$: Contenido de humedad para una condición 2.

Wh_1 : Peso de la muestra en condición 1. (gramos)

3.2.2.5. Relación de soporte con la piedra de California (ASTM D 1883).

CBR Con 4 Días De Saturación. Los resultados de ensayo de CBR con una saturación de cuatro días son, ver a detalle en (anexo 16):



Tabla 24

CBR (4D)

CBR	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
100% Densidad seca máxima	5.38%	5.57%	5.51%
95% Densidad seca máxima	4.86%	4.79%	4.62%

Nota. Elaboración propia

La expansión para el suelo a cuatro días de saturación es:

Tabla 25

Expansión del suelo a los 4 días de saturación

EXPANSIÓN	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
12 GOLPES	6.22%	7.17%	5.40%
25 GOLPES	4.38%	4.97%	4.50%
56 GOLPES	1.57%	1.88%	2.23%

Nota. Elaboración propia

CBR Con 8 Días De Saturación. Los resultados de ensayo de CBR con

una saturación de ocho días son, ver a detalle en (anexo 17):

Tabla 26

CBR (8D)

CBR	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
100% Densidad seca máxima	3.19%	2.93%	3.33%
95% Densidad seca máxima	2.83%	2.54%	2.92%

Nota. Elaboración propia

La expansión para el suelo a ocho días de saturación es:

Tabla 27

Expansión del suelo a los 8 días de saturación

EXPANSIÓN	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
12 GOLPES	9.13%	10.46%	9.40%
25 GOLPES	7.39%	7.18%	7.45%
56 GOLPES	5.49%	5.62%	5.81%

Nota. Elaboración propia

CBR Con 15 Días De Saturación. Los resultados de ensayo de CBR con una saturación de quince días son, ver a detalle en (anexo 18):

Tabla 28

CBR (15D)

CBR	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
100% Densidad seca máxima	2.03%	1.98%	2.28%
95% Densidad seca máxima	1.84%	1.79%	1.88%

Nota. Elaboración propia

La expansión para el suelo a quince días de saturación es:

Tabla 29

Expansión del suelo a los 15 días de saturación

EXPANSIÓN	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
12 GOLPES	13.74%	13.20%	13.67%
25 GOLPES	10.06%	9.76%	10.02%
56 GOLPES	7.28%	7.61%	7.39%

Nota. Elaboración propia

CBR Con 30 Días De Saturación. Los resultados de ensayo de CBR con una saturación de treinta días son, ver a detalle en (anexo 19):

Tabla 30

CBR (30D)

CBR	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
100% Densidad seca máxima	1.94%	2.14%	2.06%
95% Densidad seca máxima	1.73%	1.91%	1.95%

Nota. Elaboración propia

La expansión para el suelo a treinta días de saturación es:

Tabla 31

Expansión a los 30 días de saturación

EXPANSIÓN	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
12 GOLPES	16.72%	16.27%	14.54%
25 GOLPES	13.94%	12.91%	10.67%
56 GOLPES	8.31%	7.51%	8.31%

Nota. Elaboración propia

3.2.3. Características del Pavimento (AASHTO 93)

Los datos iniciales y pertinentes necesarios para realizar el diseño son los siguientes:

ESAL de diseño. Para el dato del ESAL de diseño se toma como referencia estudios ya realizados acerca de la cuantificación del tránsito:

Tabla 32*ESAL de diseño*

TIPO DE VEHÍCULO	IMDA	Fd	Fc	Fca	FC	Fp (PPI*0.90)	EE (por vehículo)	EE
B2	13	0.5	0.8	12.46	4.504	1.80	191,728	
B3-1	19	0.5	0.8	12.46	2.631	1.80	163,688	
C2	24	0.5	0.8	13.49	4.511	1.80	383,815	
C3	10	0.5	0.8	13.49	3.285	1.80	116,459	
2S1	30	0.5	0.8	13.49	7.742	1.80	823,402	4.48E+06
2S3	46	0.5	0.8	13.49	6.523	1.80	1,063,757	
3S1	49	0.5	0.8	13.49	6.523	1.80	1,133,133	
3S3	34	0.5	0.8	13.49	4.991	1.80	601,594	

Nota. Adaptado de “Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de vía Circunvalación Sur, Puno, 2021” (Villanueva Flores, 2022, p.41)

Por lo tanto, se usará el valor de 4.48E+06 como dato de ESAL de diseño para evaluar el pavimento.

Índice de serviciabilidad. La guía AAHTO (1993) nos explica que este principio se basa en cinco puntos principales:

Las carreteras están diseñadas para el uso y la comodidad del usuario. La comodidad o la calidad de la conducción dependen de la respuesta del usuario. La serviciabilidad se puede medir utilizando las calificaciones de los usuarios. Las características físicas del pavimento pueden medirse de manera objetiva y se pueden relacionar con evaluaciones subjetivas. El historial de servicio del pavimento puede usarse para medir su desempeño.



Nos dice también, que la capacidad de servicio de la carretera tiene como indicador fundamental el índice de capacidad de servicio presente (PSI), que a su vez se obtiene a partir de mediciones rugosidad y deterioro. Por tanto, el cambio de rugosidad controlará el ciclo de vida del pavimento. Para el caso de este proyecto se considerará como índice serviciabilidad después de liquidado el proyecto de 4.2.

La guía AASHTO (1993) recomienda tener un índice serviciabilidad final que permita una adecuada rehabilitación, repavimentación o reconstrucción conforme al nivel y tipo de carretera:

Tabla 33

Nivel de serviciabilidad final

Nivel de servicio	Tipo de Vía
2.5	Principal de alto volumen de tránsito
2.0	Con poco volumen de tránsito

Nota. Adaptado de “AASHTO guide for design of pavement structures” (AASHTO, 1993)

Para el diseño de esta investigación se usará un índice de serviciabilidad final de 2.0, ya que la vía donde se desarrolló el estudio de tráfico es de un volumen de tránsito moderado.

Por lo tanto, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño es el siguiente:

$$\Delta psi = 2.2$$



Confiabilidad de diseño. De acuerdo a la tabla 7 de la guía del diseño de pavimentos AASHTO (2006) para vías como la usada en el estudio de tráfico se recomienda una confiabilidad de 85 a 99%.

Para este estudio se opta por la siguiente confiabilidad:

$$R = 90\%$$

A su vez se opta la recomendación de la AASHTO para el valor de desviación estándar, en pavimentos flexibles:

$$S_o = 0.45$$

De la tabla 8 se tiene:

$$Z_r = -1.036$$

Drenaje. De acuerdo a la tabla 9, y de acuerdo a los materiales del pavimento se selecciona un material que permita el drenaje en una calidad normal o justa.

Luego, de acuerdo a los datos de SENAMHI se determina la cantidad de días de lluvia a lo largo de un año.



Tabla 34

Datos de lluvia en la ciudad de Puno

MESES	DÍAS DE LLUVIAS	PRECIPITACIÓN TOTAL (mm)
ENERO	25	203
FEBRERO	22	94.8
MARZO	22	128
ABRIL	7	27.2
MAYO	0	0
JUNIO	0	0
JULIO	1	2.8
AGOSTO	1	5
SETIEMBRE	1	1.2
OCTUBRE	8	5
NOVIEMBRE	2	7.8
DICIEMBRE	7	21.4
TOTAL	96	496.2

Nota. Datos de la estación 15°49'34.5" S 70°0'43.5" W 3812 msnm. Extraído del año 2022 (SENAMHI, 2023).

Como la cantidad de días de lluvia anual es de 96 se tiene:

$$\text{Porcentaje de lluvia anual} = \frac{96}{365} = 26.30\%$$

De acuerdo a la tabla 10 el coeficiente de drenaje para esta investigación es de 0.80.

Características de subrasante. El módulo resiliente se determinará con la siguiente fórmula, siempre y cuando el CBR sea menor a 10%:

$$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR$$



A los cuatro días de saturación el CBR se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 35

Módulo resiliente 4D

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Módulo resiliente (psi)	8064.25	8357.23	8265.60

Nota. Elaboración propia

A los ocho días de saturación el CBR se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 36

Módulo resiliente 8D

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Módulo resiliente (psi)	4777.63	4395.68	4993.14

Nota. Elaboración propia

A los quince días de saturación el CBR se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 37

Módulo resiliente 15D

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Módulo resiliente (psi)	3039.83	2970.59	3413.88

Nota. Elaboración propia

A los treinta días de saturación el CBR se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 38*Módulo resiliente 30D*

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Módulo resiliente (psi)	2915.93	3206.06	3089.70

Nota. Elaboración propia

Características de la capa de rodadura. De acuerdo a el manual de carreteras: especificaciones técnicas, la mezcla como mínimo deberá cumplir lo siguiente:

Tabla 39*Requisitos para mezcla asfáltica*

Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3. Flujo 0.01" (0.25mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
Inmersión-Comprensión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (mín)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)		1700-4000	
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283		80 Mín.	

Nota. La tabla nos muestra valores mínimos de mezcla asfáltica. Extraído de “Manual de carreteras: Especificaciones técnicas para construcción”(p.570), por MTC, 2013.

Para los datos de la presente investigación se optará por el valor mínimo de estabilidad de Marshall que es de 8.15 kN o 846.17 kg-fuerza. Haciendo uso de la figura 8, se tiene que el coeficiente de capa es:

$$a_1 = 0.28$$

Características de la capa de base. De acuerdo a el manual de carreteras: especificaciones técnicas, las características mínimas que tendrá una base granular es la siguiente, con respecto al valor de CBR:

Tabla 40

Requisito de CBR en capa de base

Tráfico de ejes equivalentes (ESAL)	Valor de CBR mínimo
<10 ⁶	80%
>10 ⁶	100%

Nota. Esta tabla muestra el valor de CBR mínimo para base. Adaptado de “Manual de carreteras: Especificaciones técnicas para construcción”(p.370), por MTC, 2013.

Debido al estudio de tráfico (ver tabla 32) se toma como CBR de base:

$$CBR_{base} = 100\%$$

Por tanto, usando la figura 9, se tiene que el coeficiente de capa para la base es:

$$a_2 = 0.14$$

Características de la capa de subbase. De acuerdo a el manual de carreteras: especificaciones técnicas, las características mínimas que tendrá una subbase granular es la siguiente, con respecto al valor de CBR:

Tabla 41

Requisitos de CBR para subbase

Altitud del proyecto de pavimentación	Valor de CBR mínimo
<3000 m.s.n.m	40%
>3000 m.s.n.m	40%

Nota. Esta tabla muestra el valor de CBR mínimo para subbase. Adaptado de “Manual de carreteras: Especificaciones técnicas para construcción”(p.360), por MTC, 2013.

Debido a la ubicación del estudio de tráfico del presente estudio se toma como CBR de subbase:

$$CBR_{subbase} = 40\%$$

Por tanto, usando la figura 10, se tiene que el coeficiente de capa para la base es:

$$a_3 = 0.12$$

3.2.4. Características del grado de saturación

Para determinar el grado de saturación se usará las siguientes ecuaciones, demostradas en el anexo 2:

$$\text{Grado de saturación: } \%S = \frac{\%w * W_h}{V_T * \gamma_w * (1 + \%w)} * \left[1 + \frac{1}{e} \right]$$

$$\text{Relación de vacíos: } e = \frac{(G_s * \gamma_w) * (\%w + 1)}{\gamma_h} - 1$$

Donde:

%w: Contenido de humedad



W_h : *Peso húmedo*

V_T : *Volumen total*

γ_w : *Peso específico del agua*

γ_h : *Peso específico húmedo del suelo*

G_s : *Gravedad específica del suelo*

Se hace uso de estas ecuaciones, ya que son valores que se han determinado en laboratorio.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Se planteó lo siguiente: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad afecta de manera directa en la altura del diseño de pavimentos flexibles”. Los resultados son los siguientes:

4.1.1. Altura del pavimento a los 4 días

Tabla 42

Dimensiones de pavimento 4D

	Espesores (cm)		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
CARPETA ASFÁLTICA	10	10	10
BASE	30	30	30
SUBBASE	39	38	38
ALTURA DEL PAVIMENTO	79	78	78

Nota. Elaboración propia



4.1.2. Altura del pavimento a los 8 días

Tabla 43

Dimensiones de pavimento 8D

	Espesores		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
CARPETA ASFÁLTICA	10	10	10
BASE	30	30	30
SUBBASE	58	67	57
ALTURA DEL PAVIMENTO	98	107	97

Nota. Elaboración propia

4.1.3. Altura del pavimento a los 15 días

Tabla 44

Dimensiones de pavimento 15D

	Espesores		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
CARPETA ASFÁLTICA	10	10	10
BASE	30	30	30
SUBBASE	77	78	72
ALTURA DEL PAVIMENTO	117	118	112

Nota. Elaboración propia

4.1.4. Altura del pavimento a los 30 días

Tabla 45

Dimensiones de pavimento 30D

	Espesores		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
CARPETA ASFÁLTICA	10	10	10
BASE	30	30	30
SUBBASE	79	75	76
ALTURA DEL PAVIMENTO	119	115	116

Nota. Elaboración propia

Es decir, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 46

Altura del pavimento de acuerdo a saturación

TIEMPO DE SATURACIÓN	ALTURA DEL PAVIMENTO DE DISEÑO (cm)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
4 DÍAS	79	78	78	78.33
8 DÍAS	98	107	97	100.67
15 DÍAS	117	118	112	115.67
30 DÍAS	119	115	116	116.67

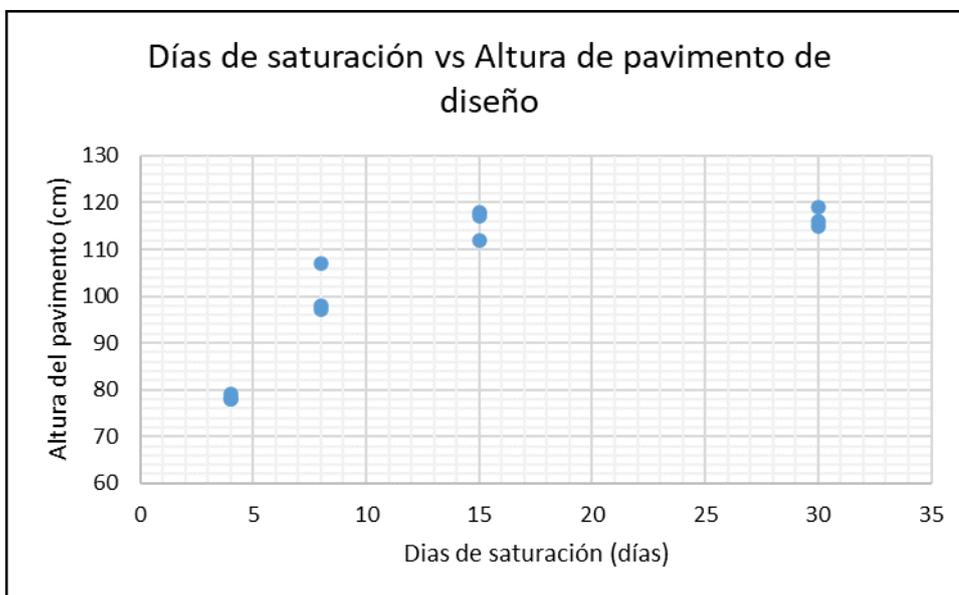
Nota. Elaboración propia

Se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días la altura del pavimento aumentó en un 26.90 % (en promedio); cuando el suelo del terreno en el que se llevó a cabo esta investigación

estuvo completamente saturado de agua durante un período continuo de 15 días, se observó un incremento en la altura del pavimento de aproximadamente el 45.81 % (en promedio) en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días se diseñó un pavimento que aumentó su altura en 47.07 % (en promedio).

Figura 19

Altura del Pavimento en su diseño estructural



Nota. Elaboración propia

En la figura 19 se muestra de mejor manera el aumento del espesor del pavimento de acuerdo a su diseño de pavimento, se observa que a mayores días de saturación la altura también aumenta, sin embargo, se mira que los dos últimos días de evaluación (15 y 30 días) tienen valores similares y próximos entre sí en su espesor de pavimento por lo que podemos deducir que se está próxima a la situación más desfavorable del estado del suelo.

Luego, se realiza un análisis de comprobación de hipótesis teniendo como variables: Días de saturación en suelos finos de alta plasticidad, y altura del diseño de

pavimento; para lo cual se hace uso del análisis de Spearman que debido al diseño de esta investigación es el adecuado:

Tabla 47

Análisis de Spearman

Correlaciones				
			DÍAS DE SATURACIÓN	ALTURA DEL PAVIMENTO
Rho de Spearman	DÍAS DE SATURACIÓN	Coefficiente de correlación	1.000	0.887
		Sig. (bilateral)	.	<0.001
		N	12	12
	ALTURA DEL PAVIMENTO	Coefficiente de correlación	0.887	1
		Sig. (bilateral)	<0.001	.
		N	12	12

Nota. Elaboración propia

El coeficiente de relación entre estas dos variables es de 0.887, nos indica que primeramente, es una relación positiva, por lo que tiene una relación directa buena: es decir a mayor días de saturación del suelo fino de alta plasticidad tendrá una mayor altura en el diseño de pavimento, y como el p valor es menor a 0.01 se acepta la hipótesis: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento de manera directa en la altura del diseño de pavimentos flexibles”

4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1

Se planteó lo siguiente: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad resulta en el cambio de los valores de CBR”. Los resultados son los siguientes:

4.2.1. Relación de CBR

Tabla 48

CBR con respecto a días de saturación

TIEMPO DE SATURACIÓN	CBR (100% DMS)	CBR (95% DMS)
4 DÍAS (media)	5.49%	4.76%
Ensayo 1	5.38%	4.86%
Ensayo 2	5.57%	4.79%
Ensayo 3	5.51%	4.62%
8 DÍAS (media)	3.15%	2.76%
Ensayo 1	3.19%	2.83%
Ensayo 2	2.93%	2.54%
Ensayo 3	3.33%	2.92%
15 DÍAS (media)	2.10%	1.67%
Ensayo 1	2.03%	1.84%
Ensayo 2	1.98%	1.79%
Ensayo 3	2.28%	1.88%
30 DÍAS (media)	2.05%	1.86%
Ensayo 1	1.94%	1.73%
Ensayo 2	2.14%	1.91%
Ensayo 3	2.06%	1.95%

Nota. Elaboración propia

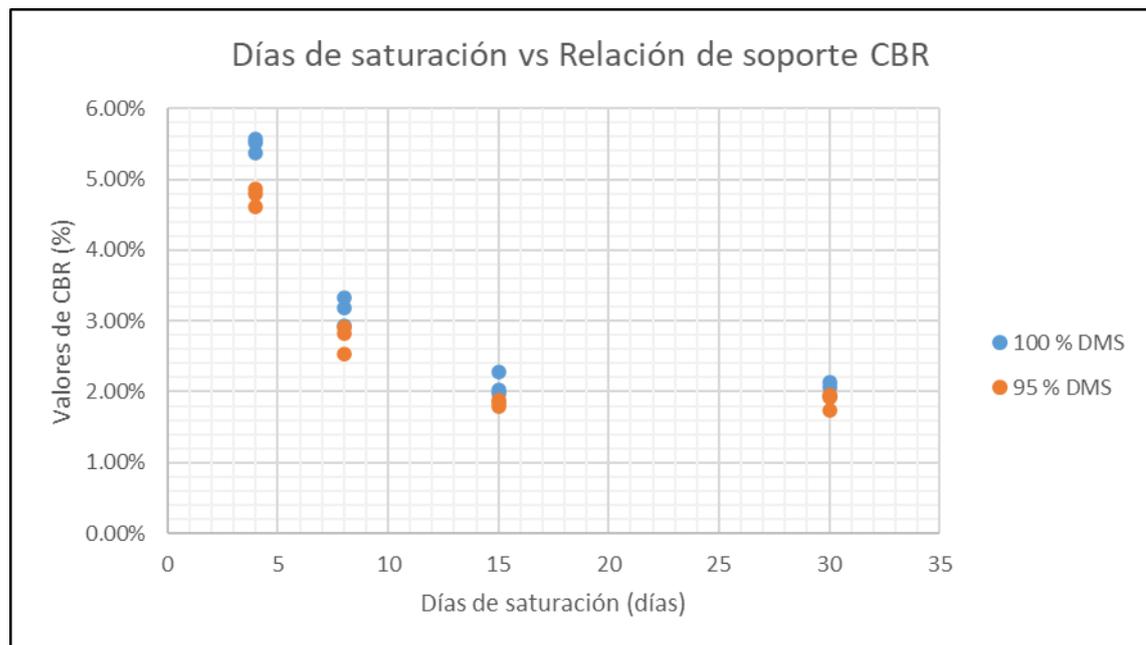
Como se tiene estos resultados:

Se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días el valor de CBR disminuyó en promedio a un 42.62 %; cuando el suelo del terreno en el que se llevó a cabo la investigación estuvo

completamente saturado en agua durante un período continuo de 15 días, se observó una reducción en el valor de CBR de aproximadamente del 61.75 % en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días la reducción total del valor de CBR con respecto al de 4 días es del 62.66 %.

Figura 20

Resultado de CBR



Nota. Elaboración propia

En la figura 20 se muestra de mejor manera la disminución de los valores de relación de soporte de acuerdo al tiempo de saturación, se observa que a mayores días de saturación los valores de CBR disminuyen, también, se mira que los dos últimos días de evaluación (15 y 30 días) tienen valores muy parecidos entre sí, por lo que podemos deducir que se está próxima a la situación más desfavorable del estado del suelo de estudio.

Luego, se realiza un análisis de comprobación de hipótesis teniendo como variables: Días de saturación en suelos finos de alta plasticidad, y relación de soporte

CBR; para lo cual se hace un análisis de Spearman que debido al diseño de esta investigación es el adecuado:

Tabla 49

Análisis de Spearman

Correlaciones				
			DÍAS DE SATURACIÓN	Relación de soporte CBR
Rho de Spearman	DÍAS DE SATURACIÓN	Coeficiente de correlación	1.000	-0.885
		Sig. (bilateral)	.	<0.001
		N	12	12
	Relación de soporte CBR	Coeficiente de correlación	-0.885	1.000
		Sig. (bilateral)	<0.001	.
		N	12	12

Nota. Elaboración propia

El coeficiente de relación entre estas dos variables es de -0.885, nos indica que, primeramente, es una relación negativa, por lo que tiene una relación inversa buena: es decir a mayor día de saturación del suelo fino de alta plasticidad se tendrá una disminución el valor de soporte CBR. Además, como el p valor es menor a 0.001 estos resultados son estadísticamente aceptables.

4.2.2. Valores de expansión

Tabla 50*Porcentaje de expansión en CBR*

TIEMPO DE SATURACIÓN	EXPANSIÓN (100% DMS)	EXPANSIÓN (95% DMS)
4 DÍAS (media)	2.76%	4.38%
Ensayo 1	4.04%	4.98%
Ensayo 2	3.38%	4.38%
Ensayo 3	0.87%	3.77%
8 DÍAS (media)	8.22%	9.05%
Ensayo 1	7.82%	8.38%
Ensayo 2	8.77%	9.91%
Ensayo 3	8.06%	8.85%
15 DÍAS (media)	10.56%	11.77%
Ensayo 1	10.61%	11.63%
Ensayo 2	11.08%	12.19%
Ensayo 3	9.98%	11.48%
30 DÍAS (media)	12.37%	13.60%
Ensayo 1	14.76%	15.85%
Ensayo 2	11.57%	13.14%
Ensayo 3	10.77%	11.80%

Nota. Elaboración propia

Como se tiene estos resultados, se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días la expansión en el ensayo de CBR aumentó en promedio en un 197 %; cuando el suelo del terreno de esta investigación estuvo completamente saturado de agua durante un período continuo de 15 días, se observó un aumento en la expansión en el ensayo de CBR de

aproximadamente al 283 % en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días el aumento total de la expansión del ensayo de CBR con respecto al de 4 días es al 348 %.

Tabla 51

Análisis de Spearman

Correlaciones				
			DÍAS DE SATURACIÓN	Expansión del suelo en CBR
Rho de Spearman	DÍAS DE SATURACIÓN	Coeficiente de correlación	1.000	0.950
		Sig. (bilateral)	.	<0.001
		N	12	12
	Expansión del suelo en CBR	Coeficiente de correlación	0.950	1.000
		Sig. (bilateral)	<0.001	.
		N	12	12

Nota. Elaboración propia

El coeficiente de relación entre estas dos variables es de 0.950, nos indica que, primeramente, es una relación positiva, por lo que tiene una relación directa excelente: es decir a mayor día de saturación del suelo fino de alta plasticidad se tendrá una disminución el valor de soporte CBR. Además, como el p valor es menor a 0.001 se acepta los datos son aceptables.

Como ambos valores: relación de CBR y expansión tienen relación inversa y directa respectivamente se acepta la hipótesis: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad resulta en el cambio de los valores de CBR”.

4.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2

Se planteó lo siguiente: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento del grado de saturación”.

Tabla 52

Grado de saturación

	Expansión	Peso específico después de saturar	%w después de saturar	Relación de vacíos, e	Grado de saturación
4 DÍAS					73.19%
Ensayo 1	4.04%	1.715	24.16%	0.88187618	71.23%
Ensayo 2	3.38%	1.720	26.09%	0.90607139	74.87%
Ensayo 3	0.87%	1.738	24.28%	0.85936746	73.46%
8 DÍAS					76.54%
Ensayo 1	7.82%	1.690	29.38%	0.99013448	77.15%
Ensayo 2	8.77%	1.684	29.95%	1.00600375	77.40%
Ensayo 3	8.06%	1.689	28.05%	0.97149094	75.08%
15 DÍAS					81.12%
Ensayo 1	10.61%	1.673	33.07%	1.06820637	80.50%
Ensayo 2	11.08%	1.670	33.61%	1.08013745	80.91%
Ensayo 3	9.98%	1.677	33.95%	1.07703086	81.95%
30 DÍAS					80.98%
Ensayo 1	14.76%	1.649	34.53%	1.12171686	80.04%
Ensayo 2	11.57%	1.667	34.77%	1.10185483	82.04%
Ensayo 3	10.77%	1.672	33.44%	1.07506914	80.86%

Nota. Elaboración propia

Luego, se realiza un análisis de comprobación de hipótesis teniendo como variables: Días de saturación en suelos finos de alta plasticidad, y grado de saturación;

para lo cual se hace un análisis de Spearman que debido al diseño de esta investigación es el adecuado:

Tabla 53

Análisis de Spearman

Correlaciones				
			DÍAS DE SATURACIÓN	Grado de saturación
Rho de Spearman	DÍAS DE SATURACIÓN	Coefficiente de correlación	1.000	0.864
		Sig. (bilateral)	.	<0.001
		N	12	12
	Grado de saturación	Coefficiente de correlación	0.864	1.000
		Sig. (bilateral)	<0.001	.
		N	12	12

Nota. Elaboración propia

El coeficiente de relación entre estas dos variables es de 0.864, nos indica que, primeramente, es una relación positiva, por lo que tiene una relación directa buena: es decir a mayor día de saturación del suelo fino de alta plasticidad se tendrá un mayor grado de saturación. Además, como el p valor es menor a 0.001 los datos son aceptables estadísticamente y que se comprueba la hipótesis: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento del grado de saturación”.

4.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3

Se planteó lo siguiente: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en el mejoramiento del suelo tiene un impacto en los valores de CBR, y su altura de diseño de pavimento flexible”. Se hace uso del mejoramiento del suelo por cal.

4.4.1. Propiedades del CBR

Los valores para la relación de soporte en la mezcla suelo - cal son los siguientes:

Tabla 54

Relación de CBR para suelo – cal

	100%DSM	95%DSM
4D	7.81%	6.28%
8D	8.52%	7.22%
15D	8.40%	7.77%
30D	7.36%	6.14%

Nota. Elaboración propia

Se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días la relación de CBR aumentó en un 9.09%; cuando el suelo del terreno de esta investigación estuvo completamente saturado de agua durante un período continuo de 15 días, se observó un aumento en la relación de CBR de aproximadamente al 7.55 % en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días se redujo en un 5.76 % con respecto al de 4 días.

Tabla 55

Análisis de Spearman

Correlaciones						
			DÍAS DE SATURACIÓN	Relación de soporte CBR en suelo - cal		
Rho de Spearman	DÍAS SATURACIÓN	DE	Coeficiente de correlación	1.000	-0.400	
			Sig. (bilateral)	.	0.600	
			N	4	4	
	Relación de soporte CBR en suelo - cal			Coeficiente de correlación	-0.400	1.000
				Sig. (bilateral)	0.600	.
				N	4	4

Nota. Elaboración propia

Primero se observa un p valor es mayor a 0.05, por lo que los valores no son aceptables estadísticamente. Por tanto, no se afirma ninguna relación.

La expansión para la mezcla suelo – cal, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 56

Expansión del suelo – cal

Días de saturación	Expansión para 100% DMS
4D	2.46%
8D	2.54%
15D	1.39%
30D	2.16%

Nota. Elaboración propia

Se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días la expansión aumentó en un 3.25 %; cuando el suelo del terreno de esta investigación estuvo completamente saturado de agua durante un período continuo de 15 días, se observó una reducción en la expansión de aproximadamente al 43.50 % en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días se redujo en un 12.20 % con respecto al de 4 días.

Tabla 57

Análisis de Spearman

Correlaciones				
			DÍAS DE SATURACIÓN	Expansión de CBR en suelo - cal
Rho de Spearman	DÍAS SATURACIÓN	DE	1.000	-0.600
		Coeficiente de correlación	.	0.400
		Sig. (bilateral)	4	4
	Expansión de CBR en suelo - cal	DE	-0.600	1.000
		Coeficiente de correlación	0.400	.
		Sig. (bilateral)	4	4

Nota. Elaboración propia

Primero se observa un p valor es mayor a 0.05, por lo que los valores no son aceptables estadísticamente. Por tanto, no se afirma ninguna relación.

4.4.2. Diseño de pavimento

Los resultados para el diseño de pavimento en la mezcla suelo – cal, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 58

Dimensiones pavimento suelo - cal

	Espesores (cm)			
	4 DÍAS	8 DÍAS	15 DÍAS	30 DÍAS
CARPETA ASFÁLTICA	10	10	10	10
BASE	30	30	30	30
SUBBASE	26	24	25	29
ALTURA DEL PAVIMENTO	66	64	65	69

Nota. Elaboración propia

Se hace la comparación con respecto a la saturación de 4 días: cuando el suelo de esta investigación se saturó durante 8 días la altura del diseño de pavimento redujo en un 3.03 %; cuando el suelo del terreno de esta investigación estuvo completamente saturado de agua durante un período continuo de 15 días, se observó una reducción en la altura del diseño de pavimento de aproximadamente al 1.52 % en comparación con la saturación de 4 días; finalmente, cuando se saturó en agua durante 30 días aumentó en un 4.55 % con respecto al de 4 días.

Tabla 59*Análisis de Spearman*

Correlaciones			
		DÍAS DE SATURACIÓN	Altura del pavimento en suelo - cal
Rho de Spearman	DÍAS DE SATURACIÓN	Coefficiente de correlación	1.000
		Sig. (bilateral)	.
		N	4
	Altura del pavimento en suelo - cal	Coefficiente de correlación	0.400
		Sig. (bilateral)	0.600
		N	4

Nota. Elaboración propia

Primero se observa un p valor es mayor a 0.05, por lo que los valores no son aceptables estadísticamente. Por tanto, no se afirma ninguna relación.

Como los resultados de correlación no tienen una significancia menor al 0.05 se rechaza la hipótesis: “El tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en el mejoramiento del suelo tiene un impacto en los valores de CBR, y su altura de diseño de pavimento flexible”.

4.5. DISCUSIÓN

Se comprobó que el tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento de manera directa en la altura del diseño de pavimentos flexibles para el suelo evaluado del tipo arcilla de alta plasticidad. Portilla Yandún & Villacrés Salazar (2021) concuerdan con este resultado, ya que afirman en su artículo que los espesores del diseño de pavimento aumentan en función al tiempo de



saturación, para una arena limosa. Sin embargo, el MTC, a través de la “Guía de ensayo de materiales” (2016) explica que la condición más desfavorable se encuentra saturando al suelo durante cuatro días, en consecuencia, la altura del diseño de pavimento no cambia para mayores días de saturación, según el MTC en “Manual de carreteras” (2014); por lo expuesto, actualmente, el MTC rechaza esta hipótesis. Tomando como guías estas instituciones, Lima Flores (2021) y Ramos Flores & Sanchez Alza (2021) en sus investigaciones sostienen y toman valores como desfavorables para cuatro días de saturación, es decir, no coinciden con lo encontrado en esta investigación.

En esta investigación se probó que el tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad resulta en el cambio de los valores de CBR para el tipo de suelo evaluado: arcilla de alta plasticidad. Por otra parte, la American Society for Testing and Materials a través de la guía D1883 (2016) aclara que los valores de CBR más desfavorables del suelo se tienen al saturar durante cuatro días, lo que se entiende que después de los cuatro días no existirá cambio alguno en los valores de CBR, por tanto, la ASTM rechaza el resultado de esta investigación. En cambio, Sachar & Wani (2022) concuerdan con los resultados de esta investigación pues en su artículo afirman que la reducción del valor de CBR aumenta a medida que se prolonga el tiempo de saturación para su muestra de suelo del tipo limo de baja plasticidad, arcilla de baja plasticidad y arena limosa; sin embargo. De igual forma, Portilla Yandún & Villacrés Salazar (2021) coinciden con lo probado en esta investigación, puesto que, ratifican que a mayor tiempo de saturación hay una reducción en los valores de CBR para suelo del tipo arena limosa. Okafor & Aigbavboa (2020) complementan a la norma ASTM explicando que el valor de soporte de CBR varía de uno saturado al del mismo sin saturar, sin embargo, sostienen que al saturar el suelo durante un día o cinco no presenta cambios significativos en los valores de soporte de CBR, cabe mencionar que suelo de evaluación fue una arena limosa.



También en esta investigación se comprobó que el tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad tiene como efecto el aumento del grado de saturación, para una arcilla de alta plasticidad. En contra parte, el MTC, a través de la “Guía de ensayo de materiales” (2016) explica que la condición más desfavorable se encuentra saturando al suelo durante cuatro días, en consecuencia, un mayor tiempo de saturación no afecta en sus propiedades, es decir, el MTC asegura que no habrá variación en el grado de saturación cuando se supere la saturación de cuatro días. Así mismo, la American Society for Testing and Materials a través de la guía D1883 (2016) aclara que los valores del suelo más desfavorables ocurren a los cuatro días de saturación, coincidiendo con el MTC. Reafirma lo dicho por estas instituciones, Okafor & Aigbavboa (2020) pues explican y determinan su análisis de situación más desfavorables a los cuatro días de saturación, por consiguiente, el grado de saturación no varía, entonces, Okafor & Aigbavboa (2020) rechazan la hipótesis corroborada en esta investigación.

Finalmente, en esta investigación se rechazó la hipótesis del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en el mejoramiento del suelo tiene un impacto en los valores de CBR para una arcilla de alta plasticidad con cal, y su altura de diseño de pavimento flexible. Reafirma esta postura el MTC, a través del “Manual de carreteras” donde se explica que a los 4 días de saturación los valores de CBR y, por tanto, la altura del diseño de pavimento presentan sus resultados más desfavorables. Cedeño Tuárez & Tejeda Piusseaut (2023) concuerdan con estos resultados pues en su suelo arcilloso se aplicó enzimas orgánicas para cuatro días de saturación, dando por entendido que es la peor situación del suelo. Sin embargo, Maldonado Ccansaya & Tello Vargas (2022) aplican cal para mejorar una arcilla limosa y de igual forma, se toma los cuatro días de saturación como la situación más desfavorable, entonces, Maldonado Ccansaya & Tello Vargas (2022) apoyan los resultados de esta investigación.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En esta investigación se determinó el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en la altura del diseño de pavimentos flexibles. Pues al aumentar el tiempo de saturación en el ensayo de CBR: 4, 8, 15 y 30 días; se obtuvo, valores de altura del diseño de pavimentos flexibles en ascenso, sin embargo, los resultados para los 15 y 30 días de saturación tuvieron valores similares de diseño de pavimento flexible; lo que hace inferir que a mayor saturación los resultados para el diseño de pavimentos sean semejantes a los de los 15 y 30 días de saturación para el suelo de esta investigación. Se comprueba la relación directa de este efecto a través del análisis de Spearman con un coeficiente de 0.887 para un valor p menor a 0.001.

SEGUNDA: Además, esta investigación determinó el efecto del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en los valores de CBR, se explica en lo siguiente: se realizó pruebas de saturación durante diferentes períodos: 4, 8, 15 y 30 días, a una arcilla de alta plasticidad. Como resultado, se observó una disminución progresiva en la relación de soporte CBR a medida que se incrementaba el tiempo de saturación; se probó esta relación con el coeficiente de Spearman de -0.885 para un p menor a 0.001. También, se encontró que la expansión aumentó a medida que los días de saturación incrementara, comprobándose mediante la rho de Spearman de 0.950 para un p menor a 0.001.



TERCERA: A su vez, en esta investigación se determinó la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su grado de saturación, ya que al aumentar el tiempo de saturación en el ensayo de CBR, los valores del grado de saturación aumentaron, para una arcilla de alta plasticidad. Se probó esta relación con el coeficiente de rho de Spearman de 0.864 para un p valor menor a 0.001.

CUARTA: Finalmente, se analizó la consecuencia del tiempo de saturación mayor a los 4 días en suelos finos de alta plasticidad en su mejoramiento de suelo, teniendo como resultado que a mayor tiempo de saturación no presenta cambios significativos en la relación de soporte de CBR y su expansión en una arcilla de alta plasticidad mejorada con cal, se descartó la relación, ya que, el p valor es mayor a 0.05. De igual manera, se estableció que no existe relación entre el tiempo de saturación y la altura del pavimento para la arcilla plástica con cal.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Para obtener una comprensión más completa del comportamiento de los suelos finos de alta plasticidad, se sugiere replicar esta investigación a suelos con esta característica (de finos y altamente plásticos) a fin de ampliar la población de evaluación.
- SEGUNDA:** Al realizar este análisis, se podría tener en cuenta el proceso de incluir la densidad máxima y contenido de humedad óptimo factorial, de esta forma realmente encontrar las mejores características físicas de este suelo. Con el fin de comparar luego con la situación de esta investigación.
- TERCERA:** Se recomienda realizar ensayos que determinen directamente el valor de módulo resiliente del suelo a fin de determinar el diseño adecuado de pavimento flexible para su uso.
- CUARTA:** También, se recomienda, en lo posible, mantener las características o variables que no se están evaluando como el nivel de agua de saturación constante, el tipo de agua constante, etc. Ya que la alteración de estas variables, pueden inducir un error de medición o cálculo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling: Construction Demolition Waste* (p. 624).
- AASHTO. (2006). Diseño de Pavimentos - AASHTO 93. In Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (Ed.), *AASHTO Design Procedures For New Pavements* (Tercera ed.). IBCH. https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_
- ASTM-D-2487. (2011). Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (SUCS). *Astm International*, i(C). <https://doi.org/10.1520/D2487->
- ASTM. (2007). Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils. *Astm International*.
- ASTM. (2016). *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. <https://www.astm.org/d1883-21.html>
- ASTM D-3282. (1993). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for. *Current*, 93(November 1993), 1–6.
- ASTM D-4318. (2016). Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos. *Applied Clay Science*, 29(2). <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.07.035><http://dx.doi.org/10.1016/j.bsecv.2015.12.001><http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/096797899680327>
- ASTM D1557-07. (2007). Standar Test Method for Laboratory Compaction Charecteristics of Soil Using Modified Effort. In *Standard test methods for Laboratory Compaction characteristics of Soil Using Modified Effort* (pp. 1–13).
- ASTM D422-63. (2007). ASTM D-422 Método de Ensayo Estándar para el Análisis Granulométrico. *ASTM Internacional*, 63, 1–15.
- ASTM D422. (1998). METODO DE ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELO. *ASTM*, 63.
- Azuero Azuero, Á. E. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Koinonia*. https://www.researchgate.net/publication/334595342_Significatividad_del_marco_metodologico_en_el_desarrollo_de_proyectos_de_investigacion
- Campana, J. M. (2010). Mantenimineto Vial. Informe sectorial. In *Corporación andina de fomento* (Vol. 1). http://publicaciones.caf.com/media/1133/IS_Mantenimiento_vial.pdf
- Cedeño Tuárez, C. A., & Tejeda Piusseaut, E. (2023). Estabilización De Suelos Arcillosos



- Con Enzima Orgánica Para Subrasante De Carreteras. *Revista Ciencia y Construcción*, 4(2), 82–90.
- Condo, L. A., & Pazmiño, J. M. (2015). Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias. In *Tomo 2*. <http://cimogsys.esepoch.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2019-09-17-214206-diseño-experimental-en-el-desarrollo-del-conocimiento-científico-de-las-ciencias-agropecuarias-comprimido.pdf>
- Córdova Saavedra, I. A. (2020). *Diseño De Un Pavimento De Bajo Volumen De Transito Para El Tramo Chulucanas - Frias Mediante Suelo Estabilizado Con Cemento Y Aditivo Con Recubrimiento*. Universidad Nacional de Piura.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Thomson Learning.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de la ingeniería geotécnica*. (4^a. ed). (cuarta edi). https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braj_a_m_das_4ta_edicion
- Etuke, J. O., Atikpo, E., & Edogun, B. O. (2023). The impact of pulverized cow bone on the Atterberg limits of lateritic soil from Uwheru Town , Delta State , Nigeria. *Journal of Science and Technology Research*, 5(2), 141–148.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edic). Mc Graw Hill.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. In *Mc Graw Hill* (Vol. 1, Issue Mexico).
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). *SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. Lima 27, 35.
- Juárez Badillo, E. (2005). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánlca de Suelos*. Limusa.
- Lima Flores, E. F. (2021). *Implicaciones y limitaciones del uso del CBR en el diseño de pavimentos flexibles en México*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Machaca Machaca, L. E. (2021). Efectos del grado de saturación en la capacidad portante de los suelos lacustres en áreas de expansión urbana, Puno – 2021 [Universidad César Vallejo]. In *Universidad César Vallejo*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maldonado Ccansaya, R., & Tello Vargas, A. J. (2022). *Análisis comparativo entre los métodos de estabilización por sustitución y por adición de cal de obra, para el mejoramiento de una subrasante arcillosa en la carretera canta - huayllay km 57-59* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/23352>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., &



- Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS Sección Suelos y pavimentos* (p. 301). MTC.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES* (p. 1268).
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *Manual de Gestión Socio Ambiental para Proyectos Viales Departamentales*. 94.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras. In *Ministerio de Obras Públicas* (Vol. 3, Issue Instrucciones y criterios de diseño). Dirección de Normatividad Vial.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC). (2013). Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas para construcción. *Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos*, 0(0), 1440. https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Manual_Suelos_Pavimentos.pdf
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. In E. de la U (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (5a. Edición, Vol. 53, Issue 9). Ediciones de la U. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Okafor, C., & Aigbavboa, C. (2021). *Water Content Effect on California Bearing Ratio of Cohesive Soil*. 1070(April).
- Porter, O. J. (1938). The Preparation of Subgrades. *Proc. Highm. Res. Bd., Wash., 1938*, 324–331. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrbproceedings/18/18Part2-029.pdf>
- Portilla Yandún, F. P., & Villacrés Salazar, Y. L. (2021). *Análisis comparativo del CBR de laboratorio saturado y sin saturar para suelos granulares del cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ramos Flores, S. J., & Sanchez Alza, C. M. (2021). *Diseño estructural del pavimento para el mejoramiento de la transitabilidad en la carretera que conecta al centro poblado de Chiquitoy con la Panamerica Norte* [Universidad Privada Antenor Orrego]. http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Rodríguez, M., Thenoux, G., & González. (2016). Probabilistic assessment of asphalt pavement design. *Revista Ingenieria de Construccion*, 31(2), 159–166.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcaon, F. A. (2015). *Pavimentos* (1ra ed.). Ecoe Ediciones.



- SENAMHI. (2023). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*.
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Villanueva Flores, J. M. (2022). Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de vía Circunvalación Sur, Puno, 2021. *Universidad César Vallejo*, 1–118.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wani, A. Z., & Sachar, A. (2022). Effects of Saturation on Soil Subgrade Strength. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(8), 1974–1978. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46480>



ANEXOS

ANEXO 25: Ecuación para agregar agua

ANEXO 26: Ecuación para saturación y relación de vacíos

ANEXO 27: Diseño de pavimentos con CBR a 4 días de saturación

ANEXO 28: Diseño de pavimentos con CBR a 8 días de saturación

ANEXO 29: Diseño de pavimentos con CBR a 15 días de saturación

ANEXO 30: Diseño de pavimentos con CBR a 30 días de saturación

ANEXO 31: Diseño de pavimento para suelo – cal

ANEXO 32: Contenido de humedad

ANEXO 33: Granulometría

ANEXO 34: Límite líquido y límite plástico

ANEXO 35: Gravedad específica

ANEXO 36: Hidrometría

ANEXO 37: Clasificación AASHTO

ANEXO 38: Clasificación SUCS

ANEXO 39: Proctor modificado

ANEXO 40: CBR con 4 días de saturación

ANEXO 41: CBR con 8 días de saturación



ANEXO 42: CBR con saturación de 15 días

ANEXO 43: CBR con 30 días de saturación

ANEXO 44: Ensayo CBR para suelo – cal

ANEXO 45: Humedad después de CBR

ANEXO 46: Constancia de Laboratorio de Suelos

ANEXO 47: Panel fotográfico

ANEXO 48: Documentos de tesis



ACTA DE DICTAMEN DE REVISIÓN DE BORRADOR DE TESIS

En el salón de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil siendo las 9:00 a.m. horas del día 23 de octubre del año 2023 se reunieron los miembros del jurado dictaminador:

PRESIDENTE : D.Sc Ing. EDGAR VIDAL HURTADO CHAVEZ
1er MIEMBRO : M.C. Ing. GINO FRANK LAQUE CORDOVA
2do MIEMBRO : Ing. GLENY ZOILA DE LA RIVA TAPIA
DIRECTOR : Dr. Ing. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

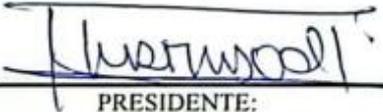
Quienes revisaron el borrador de tesis titulado: "EFECTO DEL TIEMPO DE SATURACIÓN MAYOR A LOS 4 DÍAS EN SUELOS FINOS DE ALTA PLÁSTICIDAD EN LA ALTURA DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

Presentado por el (la) (los) bachiller (es):

- ARNOLD IVAN TRISTAN PERALTA

El cual ha sido debidamente evaluado de acuerdo al Reglamento de Titulaciones y Normas de la UNA-PUNO, habiéndose emitido las observaciones por parte de los miembros del jurado, siendo absueltas en su oportunidad, en mérito de lo cual la comisión ha considerado la APROBACIÓN del mencionado borrador de tesis.

El jurado dictaminador previa coordinación propone ejecutar el acto de sustentación y defensa del (los) bachiller (es) para el día 6 de noviembre del año 2023 a horas 9 a.m. para la exposición y defensa de la tesis en forma presencial. Siendo las 10:00 a.m. horas del mismo día, se dio por concluida la presente reunión, firmado para refrendar la presente.


PRESIDENTE:
D.Sc Ing. EDGAR VIDAL HURTADO
CHAVEZ


PRIMER MIEMBRO:
M.C. Ing. GINO FRANK LAQUE
CORDOVA


SEGUNDO MIEMBRO:
Ing. GLENY ZOILA DE LA RIVA TAPIA


DIRECTOR:
Dr. Ing. SAMUEL HUAQUISTO
CACERES



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ARNOLD IVAN TRISTÁN PERALTA
, identificado con DNI 71590391 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"EFECTO DEL TIEMPO DE SATURACIÓN MAYOR A LOS 4 DÍAS EN SUELOS FIJOS

DE ALTA PLASTICIDAD EN LA ALTURA DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de octubre del 2023

Arnold Iván
FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ARNOLD IVAN TRISTAN PERALTA
, identificado con DNI 71590591 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"EFECTO DEL TIEMPO DE SATURACIÓN MAYOR A LOS 4 DÍAS EN SUELOS
FINOS DE ALTA PLASTICIDAD EN LA ALTURA DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

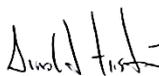
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de Octubre del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella