

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PCA Y AASHTO
EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA MEJORAR LA
TRANSITABILIDAD EN VÍAS LOCALES CON TRÁNSITO
PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA - 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. NICOLL ALEXANDRA CHAMBILLA QUISPE

Bach. JULIO XAVIER INCISO YUPANQUI

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE VIVIENDA
MULTIFAMILIAR CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS PARA
MEJORAR LA RESPUESTA ESTRUCTURAL, EN EL CERCADO
DE TACNA - 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 noviembre de 2023 estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ

SECRETARIO : Mtro. OMAR ARTURO CUTIMBO TICONA

VOCAL : Mtro. ROLANDO SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

ASESOR : Mtro. BORIS JAIME CHIQUE CALDERÓN

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Nicoll Alexandra Chambilla Quispe y Julio Xavier Inciso Yupanqui, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 71707674 y 47806228 respectivamente, así como Boris Jaime Chique Calderón con DNI 43115542; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido para mejorar la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna - 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero de Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que aparezca como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

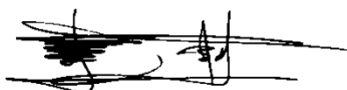
Tacna, 22 de noviembre de 2023



Nicolí Alexandra Chambilla Quispe
DNI: 71707674



Julio Xavier Inciso Yupanqui
DNI: 47806228



Boris Jaime Chique Calderón
DNI: 43115542

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi pequeña compañera de vida Catalina Marcelyn quien con solo tres años es mi cable a tierra y por quien me esfuerzo día a día en ser mi mejor versión, desde tu nacimiento me diste otra perspectiva de la vida y eres mi motivo para superar todos los obstáculos que la vida nos pone por ti y para ti mi pequeña hija.

A mis padres Ivette y Javier que siempre creyeron en mí y nunca dejaron de apoyarme.

A mi amada mamá Catita quien me cuida y me brinda todo su amor.

A mi querido papá Juan que desde el cielo me ve orgulloso ya que siempre deseo verme convertida en profesional

Nicoll Alexandra Chambilla Quispe

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la protagonista principal de mi vida, mi querida hija Catalina Marcelyn, a mis amados padres Jesús y María quienes me brindaron siempre su infinito amor, paciencia y comprensión.

Y en especial para mi querido hermanito Joseph quien siempre estará a mi lado.

Julio Xavier Inciso Yupanqui

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme por el camino del bien y por siempre enseñarme la luz al final de todos los problemas

A la Universidad Privada de Tacna, por ser mi casa superior de estudios.

A mi familia por siempre confiar y creer en mí, a mi querida y amada madre Ivette por siempre brindarme ese apoyo incondicional en todo momento de mi vida gracias por siempre estar para mi cuando más te he necesitado gracias por todo los sacrificios que has hecho para hoy poder verme convertida en una profesional, a mi padre Javier por siempre brindarme esos consejos cuando más los necesitaba, a mi querida y amada mama Catalina gracias por cuidar de mi desde que tengo uso de razón ,gracias por haberme preparada para enfrentar la vida con cada enseñanza que me dabas, a mi pequeño sobrino Adriano quien desde que llego me trajo muchas ocurrencias a mi querido Cone quien desde pequeña cuido de mí y me acompaño en cada paso que iba dando en mi vida y siempre estaba ahí alentándome en cada ocurrencia que tenía.

Nicoll Alexandra Chambilla Quispe

AGRADECIMIENTO

Siempre con la bendición de Dios, a quien le pertenecerá mi infinita gratitud por haberme guiado por el camino del bien y permitirme lograr uno de los mayores sueños de mi vida.

A mi querido papá Jesús por haberme preparado con valores y principios para enfrentar la vida, a mi amada mamá María quien siempre estuvo ahí para cuidarme y aconsejarme además de creer en mí a pesar de todas las penurias que le hice pasar.

A mi alma mater la Universidad Privada de Tacna.

A todos los creadores de contenido que comparten material audiovisual educativo lográndose así alcanzar la comprensión de temas complejos relacionados a la ingeniería.

Julio Xavier Inciso Yupanqui

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación de la Investigación	6
1.3.1. Desde el punto de vista científico:.....	6
1.3.2. Desde el punto de vista social:.....	6
1.3.3. Desde el punto de vista económico:.....	7
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis General.....	7
1.5.2. Hipótesis Específicas	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes del estudio	9
2.1.1. Antecedentes internacionales	9
2.1.2. Antecedentes nacionales	9
2.2. Bases Teóricas.....	10
2.2.1. Aspectos básicos del pavimento	10
2.2.2. Estudio de tráfico.....	10
2.2.2.1. Índice Medio Diario Anual (IMDA).....	11

2.2.2.2.	Pesos y medidas máximas permitidas	11
2.2.2.3.	Factor de carga equivalente por eje (EALF)	18
2.2.2.4.	Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados (r)	19
2.2.2.5.	Factores de crecimiento vehicular (G)	20
2.2.2.6.	Factor direccional (D) y factor carril (L)	20
2.2.2.7.	Tráfico de diseño	21
2.2.3.	Ensayo California Bearing Ratio (CBR).....	22
2.2.4.	Diseño de los pavimentos rígidos.....	23
2.2.4.1.	Método PCA.....	23
2.2.4.2.	Método AASHTO 1993.....	33
2.3.	Definición de términos	41
2.3.1.	Losa.....	41
2.3.2.	Base y Sub-base	41
2.3.3.	Sub-rasante	42
2.3.4.	Transitabilidad vehicular	42
2.3.5.	Juntas	42
2.3.6.	Pavimento articulado de concreto simple (JPCP)	42
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		43
3.1.	Diseño de la investigación	43
3.2.	Acciones y actividades	43
3.2.1.	Concentración de datos relevantes	43
3.2.2.	Verificación de sitio y captura de datos	43
3.2.3.	Estudio y valoración de la recolección de información de campo	45
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	45
3.4.	Población y muestra de estudio.....	45
3.4.1.	Población de estudio	45
3.4.2.	Muestra de estudio	46
3.5.	Operacionalización de variables.....	46
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		49
4.1.	Estudio de Tráfico.....	49
4.1.1.	Estación y duración de conteo vehicular	49
4.1.2.	Tabla resumen de conteo vehicular	49
4.1.3.	Índice Medio diario Semanal	51
4.1.4.	Factor de corrección vehicular	53
4.1.5.	Índice Medio Diario anual	53
4.1.6.	Factor de carga equivalente por eje (EALF).....	54

4.1.7.	Factores de crecimiento vehicular (G).....	55
4.1.8.	Factor direccional (D) y factor carril (L)	57
4.1.9.	ESAL	57
4.2.	CBR de diseño para subrasante.....	58
4.3.	Diseño de pavimento rígido por el método PCA.....	60
4.3.1.	Módulo de rotura del concreto (Sc)	60
4.3.2.	Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)	60
4.3.3.	Factor de seguridad de carga (LSF).....	62
4.3.4.	Repeticiones esperadas por tipo y peso de cada eje.....	62
4.3.5.	Análisis por fatiga	64
4.3.6.	Análisis por erosión	68
4.3.7.	Cálculo de espesores	72
4.3.8.	Dimensionamiento de losas y dowels	76
4.4.	Diseño de pavimento rígido por el método AASHTO 1993	78
4.4.1.	Tránsito de diseño	78
4.4.2.	Confiabilidad.....	78
4.4.3.	Desviación estándar combinada (So)	79
4.4.4.	Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI).....	79
4.4.5.	Propiedades del concreto.....	80
4.4.6.	Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)	80
4.4.7.	Coeficiente de transferencia de carga (J).....	83
4.4.8.	Coeficiente de drenaje (Cd).....	84
4.4.9.	Cálculo de espesores	84
4.4.10.	Dimensionamiento de losas y dowels.....	86
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		88
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		91
ANEXOS		95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados.....	19
Tabla 2. Factores de Distribución Direccional y de Carril	21
Tabla 3. Efecto de la base sobre los valores k de la subrasante	26
Tabla 4. Esfuerzo equivalente en pavimento con berma de concreto (eje simple y tándem).....	27
Tabla 5. Esfuerzo equivalente en pavimento sin o con berma de concreto (eje trídem)	28
Tabla 6. Factor de erosión para ejes simple y tándem en pavimentos de concreto	29
Tabla 7. Factor de erosión para ejes trídem en pavimentos de concreto	29
Tabla 8. Valores sugeridos de confiabilidad	33
Tabla 9. Desviación estándar normal (ZR) para diferentes valores de confiabilidad....	34
Tabla 10. Índice de Serviciabilidad Final (<i>pt</i>).....	35
Tabla 11. Coeficientes de transferencia de carga para tipos de berma y juntas	40
Tabla 12. Valores recomendados de coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos.	40
Tabla 13. Operacionalización de variables de investigación	47
Tabla 14. Tabla resumen del conteo vehicular	50
Tabla 15. Índice Medio Diario Semanal	52
Tabla 16. Índice Medio Diario	53
Tabla 17. EALF en pavimentos rígidos con <i>pt</i> de 2 y espesor de losa de 9”.....	54
Tabla 18. Pesos reglamentarios y factores de carga equivalente por tipo de vehículo	55
Tabla 19. Número de repeticiones de un vehículo por su respectivo EALF	55
Tabla 20. Selección de tasa de crecimiento de vehículos ligeros y pesados	56
Tabla 21. Selección de los Factores de Distribución Direccional y de Carril	57
Tabla 22. ESALs	58
Tabla 23. Resultados del ensayo CBR	58
Tabla 24. Valores percentiles de CBR	59
Tabla 25. Percentiles de diseño.....	59
Tabla 26. Valores de Resistencia del Concreto recomendados según rango de tráfico	60
Tabla 27. Selección del módulo de reacción efectiva de la subrasante (K).....	62
Tabla 28. IMD (ambos sentidos) y pesos reglamentarios por eje (ton)	63
Tabla 29. Repeticiones por tipo y peso de cada eje	63
Tabla 30. Repeticiones esperadas por tipo y peso de cada eje	64

Tabla 31. Selección del esfuerzo equivalente en pavimento con berma de concreto ..	64
Tabla 32. Esfuerzo equivalente en pavimento sin o con berma de concreto.....	65
Tabla 33. Esfuerzo equivalente y factor de relación de esfuerzo por tipo de eje.....	66
Tabla 34. Repeticiones admisibles en el análisis por fatiga.....	67
Tabla 35. Factores de erosión en pavimentos rígidos con dowels y con bermas de concreto	69
Tabla 36. Factor de erosión en pav. rígidos con dowels, sin o con bermas de concreto	70
Tabla 37. Resumen de los factores de erosión por eje.....	70
Tabla 38. Repeticiones admisibles por eje en el análisis por erosión.....	71
Tabla 39. Cálculo de espesor de losa de concreto e=9 in	73
Tabla 40. Cálculo de espesor de losa de concreto e=7 in	74
Tabla 41. Cálculo de espesor de losa de concreto e=7.5 in	75
Tabla 42. Longitud de losa en base al ancho de carril.....	76
Tabla 43. Parámetros de detalles recomendados en dowels	77
Tabla 44. Parámetros de detalles recomendados en dowels	77
Tabla 45. Selección del valor de Confiabilidad	78
Tabla 46. Selección de la Desviación Normal Estándar	79
Tabla 47. Selección del Índice de Serviciabilidad Final (pt).....	80
Tabla 48. Selección del coeficiente de transferencia de carga (J).....	84
Tabla 49. Selección del coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos	84
Tabla 50. Resumen de datos	85
Tabla 51. Parámetros de detalles recomendados en dowels	86
Tabla 52. Parámetros de detalles recomendados en dowels	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado de la RVN según tipo de superficie de rodadura a dic. 2019	2
Figura 2. Macro Región Sur: Red vial existente pavimentada por regiones - 2019.....	3
Figura 3. Vehículos pesados en zona de estudio	4
Figura 4. Inexistencia de señalización horizontal y vertical en vía local en estudio.....	5
Figura 5. Pesos y medidas máximas permitidas.....	12
Figura 6. Máquina para determinar el CBR	23
Figura 7. Módulo de reacción de la subrasante en función del CBR	25
Figura 8. Repeticiones permisibles para pavimentos con y sin berma de concreto	31
Figura 9. Repeticiones admisibles en pavimentos con berma de concreto	32
Figura 10. Nomograma para estimar el módulo de reacción compuesto de la subrasante	37
Figura 11. Módulo de reacción de la subrasante por la presencia de estrato rocoso...38	
Figura 12. Carta para modificar el módulo de reacción de la subrasante por factor Ls39	
Figura 13. Capas estructurales del pavimento rígido.....	42
Figura 14. Realización del conteo vehicular en ambos sentidos de la vía local	43
Figura 15. Realización del primer punto de exploración P-01	44
Figura 16. Realización del ensayo CBR para la muestra P-01	45
Figura 17. Vía local en estudio.....	46
Figura 18. Estación de conteo	49
Figura 19. Percentil y CBR de diseño obtenido	59
Figura 20. Selección del módulo de reacción de la subrasante en función del CBR....	61
Figura 21. Repeticiones permisibles en pavimentos con y sin berma de concreto	68
Figura 22. Repeticiones admisibles en pavimentos con berma de concreto	72
Figura 23. Sección de pavimento rígido por método PCA.....	76
Figura 24. Estimación de módulo de reacción compuesto (kc)	82
Figura 25. Corrección de módulo de reacción compuesto (kc) por factor Ls.....	83
Figura 26. Sección de pavimento rígido por método AASHTO.....	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	96
Anexo 2. Conteo Vehicular día Lunes.....	97
Anexo 3. Conteo Vehicular día Martes	98
Anexo 4. Conteo Vehicular día Miércoles	99
Anexo 5. Conteo Vehicular día Jueves	100
Anexo 6. Conteo Vehicular día Viernes	101
Anexo 7. Conteo Vehicular día Sábado	102
Anexo 8. Conteo Vehicular día Domingo	103
Anexo 9. Ensayo CBR calicata 1	104
Anexo 10. Ensayo CBR calicata 2	107
Anexo 11. Ensayo CBR calicata 3	110
Anexo 12. Repeticiones admisibles análisis por fatiga espesor 7"	113
Anexo 13. Repeticiones admisibles análisis por erosión espesor 7"	114
Anexo 14. Repeticiones admisibles análisis por fatiga espesor 7.5"	115
Anexo 15. Repeticiones admisibles análisis por erosión espesor 7.5"	116

RESUMEN

En la presente tesis “Análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido para mejorar la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna - 2023” se realizara la comparación de los métodos PCA y AASHTO con la finalidad de encontrar el diseño de pavimento rígido para vías locales por donde circulen vehículos pesados, el desarrollo de la presente investigación tiene como punto de origen el cálculo del IMDA atreves del conteo vehicular realizado en la calle Tupac Amaru Pueblo Joven La Esperanza – Distrito Alto de la Alianza – Provincia de Tacna, luego se continuo con el estudio de mecánica de suelos en los puntos de exploración ubicados en la zona de estudio con la finalidad de obtener el CBR de diseño para la subrasante luego con los datos previamente obtenidos se procede con la aplicación de los métodos propuestos en el título de la presente tesis, por tanto se concluyó que por el método PCA el espesor de la capa de rodadura de concreto calculado es de 19 cm y por el método AASHTO el espesor de la losa de concreto es de 17,5 cm encontrándose así una ligera diferencias entre los espesores entregados por ambos métodos de diseño de pavimento rígido.

Palabras clave: aforo; subrasante; método; comparativa; concreto.

ABSTRACT

In this thesis "Comparative analysis of the PCA and AASHTO methods in the design of rigid pavement to improve passability on local roads with heavy traffic in the province of Tacna - 2023" a comparison of the PCA and AASHTO methods will be carried out with the purpose To find the design of rigid pavement for local roads where heavy vehicles circulate, the development of this research has as its point of origin the calculation of the IMDA through the vehicle count carried out on Tupac Amaru street Pueblo Joven La Esperanza - Distrito Alto de la Alliance – Province of Tacna, then the study of soil mechanics was continued at the exploration points located in the study area in order to obtain the design CBR for the subgrade, then with the previously obtained data we proceed with the application of the methods proposed in the title of this thesis, therefore it was concluded that by the PCA method the thickness of the calculated concrete wearing layer is 19 cm and by the AASHTO method the thickness of the concrete slab is 17,5 cm, thus finding a slight difference between the thicknesses delivered by both rigid pavement design methods.

Keywords: gauge; subgrade; method; comparison; concrete.

INTRODUCCIÓN

Según INEI (2022) la población tacneña para el año 2025 se incrementará en 37000 habitantes, este crecimiento poblacional que experimenta Tacna origina mayor demanda en tránsito así mismo impulsa el nacimiento de zonas comerciales adyacentes a vías locales, como es el caso de la calle Tupac Amaru Pueblo Joven la Esperanza, cuyo diseño de pavimento flexible no corresponde a las actuales demandas de tránsito vehicular pesado presentes en la zona además el comercio local que existe en la vía en estudio exige menores tiempo de ejecución de obras debido a que no se puede paralizar la compra o venta de productos de primera necesidad ofertados en el comercio existente en la vía local Tupac Amaru.

Es por ello que surge esta investigación en donde se presenta la propuesta de diseño de pavimento rígido con las metodologías PCA y AASHTO (1993) en donde se presentara el desarrollo de ambos métodos de diseño a fin de encontrar la estructura del pavimento rígido que mejore la transitabilidad vehicular en la vía local Tupac Amaru así mismo previamente a la ejecución de los métodos de diseño se realizó el estudio de tráfico y ensayo CBR correspondiente a la zona de estudio.

La investigación se encuentra segmentada en cinco capítulos: Capítulo I. Se define el problema general, específicos, los objetivos e hipótesis. Capítulo II. Adentramos en el marco teórico en donde recopilamos información necesaria para los antecedentes además de plantear las bases teóricas y definición de términos. Capítulo III. Profundizamos en el marco metodológico en donde definimos el diseño de la investigación, la población y/o muestra de estudio además del procesamiento y análisis de datos. Capítulo IV. se detallan los cálculos que se realizaron para obtener el estudio de tráfico, ensayo de CBR además del diseño de pavimento rígido por el método PCA y AASHTO (1993). Capítulo V. abordamos la discusión de los resultados obtenidos para los dos métodos de diseño de pavimento rígido. Finalizamos con la entrega de conclusiones y recomendaciones considerando los resultados obtenidos con los objetivos planteados.

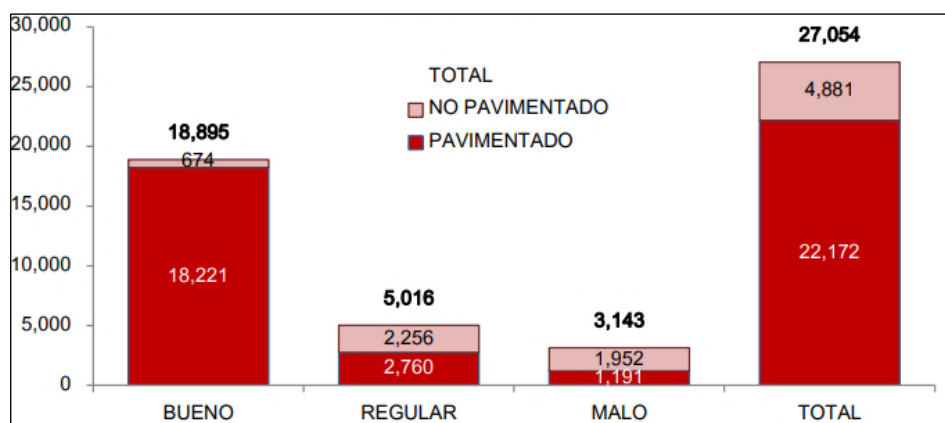
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En el Perú el organismo institucional encargado de regular y mantener el estado de la infraestructura vial de la nación es el Sistema Nacional de Carreteras (Sinac) el cual está constituido por la red vial nacional (RVN), la red vial departamental o regional (RVD) y la red vial vecinal o rural (RVV). De acuerdo al informe anual de PROVIAS en 2019 indico, como se muestra en la figura 1, que la red vial nacional tuvo una extensión de 28 859 km, de los cuales el 18% no se encuentran pavimentados y el 17% del tramo pavimentado no se encuentra en buen estado (Provias Nacional, 2019, págs. 14-16).

Figura 1

Estado de la RVN según tipo de superficie de rodadura a dic. 2019

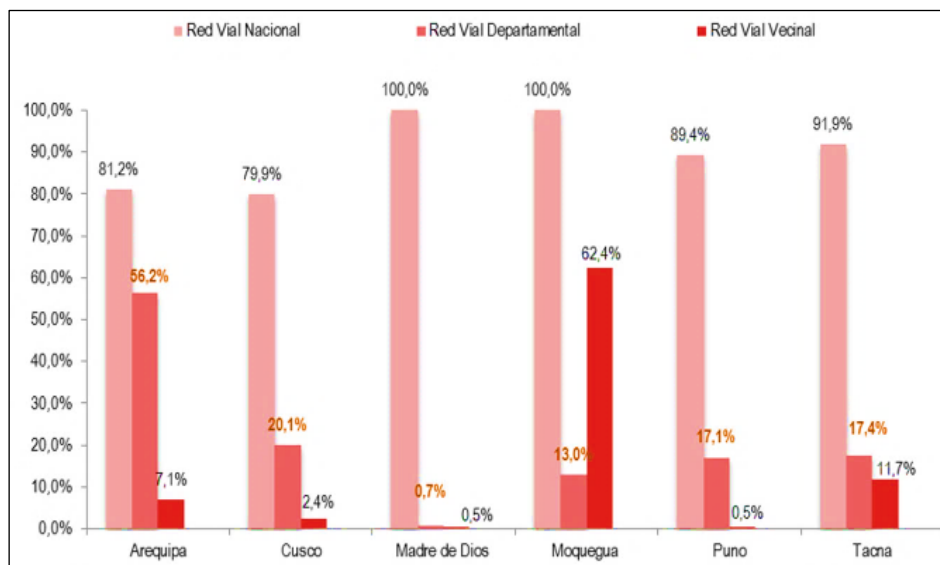


Nota. Adaptado de PROVIAS NACIONAL (2019) del sitio web <https://www.pvn.gob.pe>.

De acuerdo a un artículo publicado en PERUCÁMARAS, como se aprecia en la figura 2, en donde advierte que en Tacna el 17,4% de la Red Vial Regional está pavimentado de un total de 489.7 kilómetros así mismo en lo que respecta a la Red Vial Vecinal o Rural, el 11,7% se encuentra pavimentado de 1 394,9 kilómetros. Esta situación es alarmante debido a que la población tacneña sigue creciendo y se necesita infraestructura vial acorde a los requerimientos de la población (PERUCÁMARAS, 2019).

Figura 2

Macro Región Sur: Red vial existente pavimentada por regiones - 2019



Nota. Adaptado del CIE-PERUCÁMARAS (2019) del sitio web <https://perucamaras.org.pe>.

El clima debería ser una variable a considerar durante el planeamiento y ejecución de cualquier obra de construcción, para el caso de la presente investigación analizaremos el clima de la provincia de Tacna la cual está dividida en tres regiones naturales que agrupan a sus respectivos distritos:

- Región Quechua: Palca y Pachia.
- Región Yunga: Inclán, Crnel G.A.L., Tacna, Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pocollay, Calana.
- Región chala: La Yarada Los Palos y Sama.

Para el caso de la región Yunga en donde se encuentran los distritos más poblados de la Provincia de Tacna se aprecia una humedad relativa del 50% además de la media histórica en relación a las precipitaciones no superan los 5 mm. Anuales. Así mismo la Provincia de Tacna es vulnerable al fenómeno El Niño el cual provoca un incremento de lluvias torrenciales capaces de alterar o dañar la infraestructura existente (Acero, 2021).

Debido a que en la Provincia de Tacna existe la presencia de lluvias y humedad las cuales en pavimentos que poseen mezcla asfáltica poroso tiende a experimentar deformaciones dentro de la mezcla por contracción del ligante asfáltico, lo que podría ser una de las causas que generen el fenómeno de daño por humedad (Rondón et al., 2016).

La presencia de lluvias en Tacna no es abundante como en otras regiones del Perú pero ante el variable cambio climático el cual ocasiona que el clima fluctúe entonces no sería extraño la recurrencia de lluvias en la región provocando así un incremento de la humedad relativa es por ello que el pavimento rígido surge como una clara solución a este problema de humedad debido que el pavimento hidráulico permeable es aplicable como sistema de drenaje urbano tal como se demostró en el artículo diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible en donde los investigadores diseñaron pavimento rígido para cuatro tramos de vías que forman parte de una infraestructura urbana de bajo tránsito con alta presencia de lluvias ubicado en la ciudad de Juliaca, concluyendo que el pavimento rígido permeable es una opción eficaz para drenar el agua de lluvia y satisfacer las necesidades estructurales, para un tráfico vehicular bajo (Guerra y Guerra, 2020).

Es poco inusual la existencia de vías locales con presencia de bajo o medio tránsito vehicular pesado como le sucede a la calle Tupac Amaru del Pueblo Joven La Esperanza, actualmente esta vía local cuenta con pavimento flexible el cual debido a sus propiedades mecánicas distribuye los esfuerzos concentrándolos en una pequeña área provocando así deterioros en el pavimento flexible en cambio el pavimento rígido distribuye los esfuerzos a las capas inferiores en una mayor área convirtiéndolo así en la mejor alternativa para tránsito de vehículos pesados que circulan por la vía en estudio según se muestra en la figura 3.

Figura 3

Vehículos pesados en zona de estudio



La vía local en estudio no presenta señalización horizontal y vertical como se puede apreciar en la figura 4 así mismo la cantidad de accidentes vehiculares no suele ser elevada como en otras vías sin embargo una emisora local (Radio Uno) reporto el caso de un accidente vehicular ocurrido en la intersección de la av. Jorge Basadre Grohmann y la calle Tupac Amaru.

Figura 4

Inexistencia de señalización horizontal y vertical en vía local en estudio



1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Como el análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido mejoran la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza?
- b. ¿Qué diseño de pavimento rígido con el método PCA se obtendrá en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza?

- c. ¿Qué diseño de pavimento rígido con el método AASHTO se obtendrá en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza?
- d. ¿Cuál es el análisis comparativo de los métodos de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO aplicados a la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza?

1.3. Justificación de la Investigación

1.3.1. Desde el punto de vista científico

Los pavimentos de concreto hidráulico ofrecen una mayor capacidad estructural durante su vida útil la cual se proyecta hasta 40 o 50 años en donde solo experimentarían leves deformaciones, sin embargo, puede presentar fallas prematuras como en el sellado de juntas, curado insuficiente, aserrado a destiempo o por exceso de carga vehicular que circulan por el pavimento (Serment, 2012).

Una vez culminado el periodo de vida útil del pavimento rígido este puede ser reciclado de esta manera se reduce el impacto ambiental que tendrían los desechos de esta infraestructura vial dándole así un nuevo uso a los agregados que se obtendrían a partir de la pulverización del concreto con maquinarias.

El mantenimiento de cualquier obra de construcción siempre será importante debido a que nos garantiza que la infraestructura cumpla con el periodo de vida útil para el cual fue proyectada además de cumplir con los estándares finales de satisfacción del usuario, en relación al mencionado mantenimiento del pavimento rígido este resulta ser mínimo en periodos prolongados de tiempo en comparación con el pavimento asfáltico (Universidad Tecnológica de Panamá, 2017).

1.3.2. Desde el punto de vista social

Debido a que en muchas ocasiones no se brinda el mantenimiento adecuado a las vías urbanas en donde predomina el pavimento flexible el cual presenta fallas cuando no es atendido regularmente con mantenimiento esto ocasiona malestar durante la conducción vehicular generando estrés a los conductores, así como a transeúntes.

Existen vías locales por las cuales circulan tránsito pesado, el esfuerzo que ejercen estos vehículos no fue considerado al momento de realizar su respectivo diseño de pavimento ocasionando así fallas considerables en la vía pavimentada, en la que casi siempre suele ser un pavimento flexible, esto no sucedería si se contara con

pavimento rígido el cual absorbe en su totalidad los esfuerzos inducidos por el tránsito vehicular.

1.3.3. Desde el punto de vista económico

La aplicación de pavimentos rígidos tiene un alto costo en comparación con los pavimentos flexibles pero el ahorro económico se ve reflejado durante la culminación del periodo de vida útil debido a que el pavimento rígido requiere menor costo en mantenimiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el método de diseño de pavimento rígido factible a la mejora de la transitabilidad de vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar el Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza.
- b. Calcular el diseño de pavimento rígido con el método PCA para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza.
- c. Calcular el diseño de pavimento rígido con el método AASHTO para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza.
- d. Determinar el análisis comparativo de los métodos de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO aplicados a la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Aplicando el método PCA para el diseño de pavimento rígido mejora la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. El Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es de 1000 veh/día.
- b. El diseño de pavimento rígido con el método PCA para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es:
 - Espesor losa de concreto: 24 cm.
 - Espesor subbase granular: 15 cm.
 - Espesor subrasante: 30 cm.
- c. El diseño de pavimento rígido con el método AASHTO para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es:
 - Espesor losa de concreto: 28 cm.
 - Espesor subbase granular: 15 cm.
 - Espesor subrasante: 30 cm.
- d. Es factible usar el método PCA para el diseño del pavimento rígido en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de grado “Diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO 93 y Portland Cement Association (PCA), aplicado en la calle 6 entre Carrera 8 y 7 del municipio de San Luis Tolima” el investigador concluye en una comparativa entre los espesores de losa de concreto proporcionados por los métodos de diseño empleados en su investigación en donde se aprecia que el método PCA entregó un espesor de losa de 18 cm en cambio el método AASHTO aportó un espesor de losa de 16 cm (Castro, 2022).

En la tesis de grado “El pavimento de concreto hidráulico premezclado en la modernización y rehabilitación de la avenida Arboledas, México, D.F.” los investigadores concluyen en la factibilidad de la empleabilidad del concreto hidráulico en su zona de estudio obteniendo así un espesor de losa de concreto por el método PCA de 25 cm (Zagaceta y Romero, 2008).

2.1.2. Antecedentes nacionales

A partir de la tesis de grado “Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca – 2019” el investigador tiene como finalidad comparar las metodologías AASHTO y PCA de un pavimento rígido, aplicado al pasaje San Mateo, barrio Mollepampa de la ciudad de Cajamarca finalmente concluye en un análisis comparativo de los espesores de la capa de concreto obteniendo así un espesor de 19 cm y 23 cm para el método AASHTO y PCA respectivamente además indica que el método PCA asegura una evaluación más precisa y adecuada para el grosor de la placa a lo largo de toda la duración del pavimento (Minchán, 2019).

En la tesis “Evaluación, comparación y diseño de pavimento rígido convencional y con la adición de fibra de acero mediante la guía de la AASHTO 93 y la guía de la Portland Cement Association (PCA) aplicado a la av. La Florida y pasajes aledaños, en el distrito de San Jerónimo – Cusco” los autores concluyen en una comparativa de la diferenciación respecto al empleo del ESAL para los métodos AASHTO y PCA es así que para el primer método mencionado el ESAL es empleado como variable directa incluida en la ecuación final para el cálculo del espesor de losa en cambio para la

metodología PCA el ESAL es usado para obtener las repeticiones esperadas por tipo y peso de cada eje durante el periodo de vida útil determinado además de la comparativa de los espesores de la capa rígida de concreto calculados por ambos método de diseño descritos anteriormente (Acuña y Acuña, 2019).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aspectos básicos del pavimento

La ingeniería de pavimentos es una rama que integra los aprendizajes adquiridos a lo largo de los años en el estudio de la resistencia de los componentes, los métodos constructivos, y la administración de la preservación. Esta relación presenta un desafío para todo profesional dedicado a la rama de transportes debido a que debe encontrar una solución rápida, efectiva y que sea relativamente económica (Montalvo, 2015, pág. 30).

La manera como se transmiten las cargas vehiculares a las capas subyacentes de un pavimento se encuentra relacionado a la rigidez relativa de la carpeta de rodadura ya sea esta flexible o rígida. Los esfuerzos se distribuyen en una superficie mayor mediante un pavimento rígido frente a un pavimento flexible, que transfiere cargas distribuidas en una superficie menor (Montalvo, 2015, pág. 30).

La losa de hormigón hidráulico es el tipo de material más popular utilizado para construir pavimentos rígidos tanto por razones prácticas como económicas. La capa de rodadura de concreto hidráulico se diseña para resistir los esfuerzos proporcionados por el tránsito además de proteger contra fallas por fatiga del pavimento debido a cargas repetidas. Aunque los períodos de diseño de los pavimentos rígidos suelen ser de 15 a 20 años, es posible que perduren, si se les brinda el mantenimiento adecuado, entre 30 y 40 años durante su vida útil (Montalvo, 2015, pág. 30).

2.2.2. Estudio de tráfico

Cuantificar, clasificar y reconocer la cantidad de vehículos que transitan por un determinado corredor vial es la metodología en la que se basa el estudio de tráfico, dicho estudio tiene como pilar fundamental la obtención del Índice Medio Diario (IMD). El cálculo del IMD servirá para determinar la viabilidad económica de un proyecto además de aumentar el nivel del servicio (Peña, 2022, pág. 28).

2.2.2.1. Índice Medio Diario Anual (IMDA)

El índice medio diario anual (IMDA) mide la magnitud calculada de flujo automotor en una determinada zona de una zona a lo largo de un año. El IMDA es el indicador que muestra el resultado de los conteos volumétricos y clasificación vehicular en un tramo de un determinado corredor vial durante siete días además de ser afectados por un factor de corrección que evalúa el desplazamiento anual de pasajeros y productos (Vega, 2018, pág. 25). Se calcula usando la siguiente fórmula:

$$IMD_A = IMD_s * FC \quad (1)$$

Donde:

IMD_s : Índice Medio Diario Semanal o promedio de tráfico diario semanal.



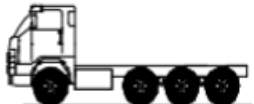
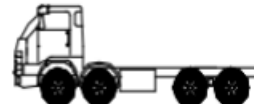
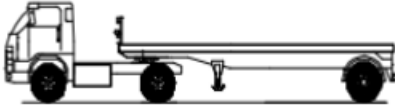
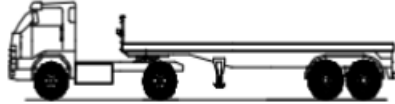
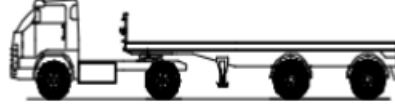
FC : representa el factor de corrección estacional.

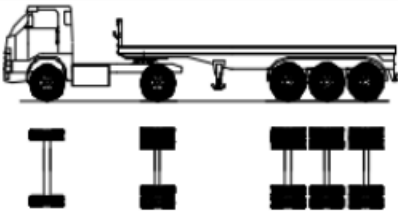
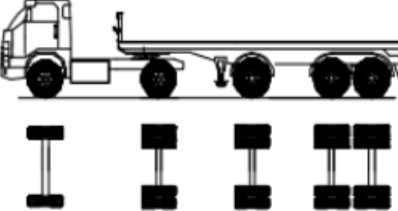
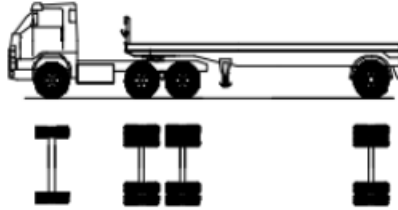
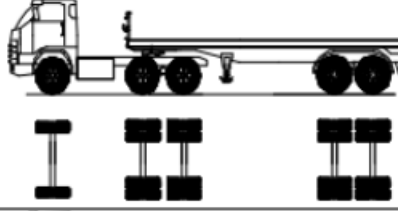
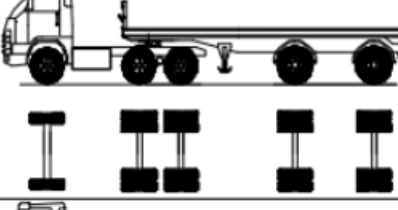
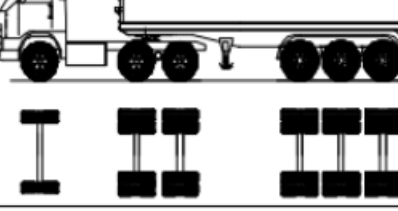
2.2.2.2. Pesos y medidas máximas permitidas

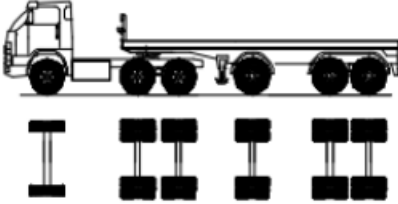
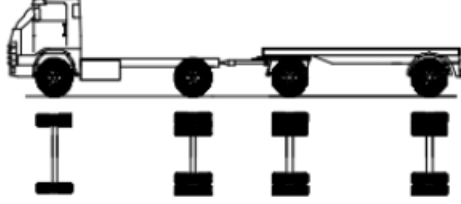
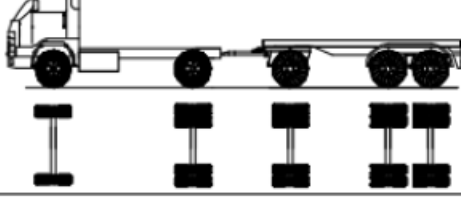
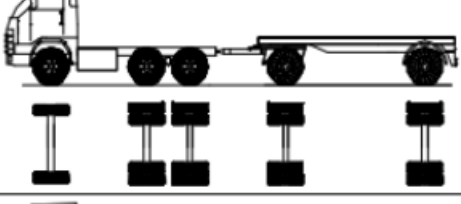
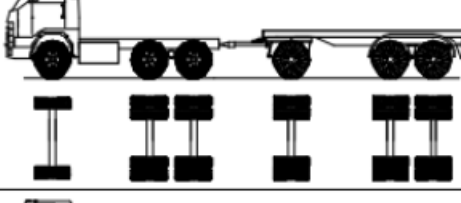
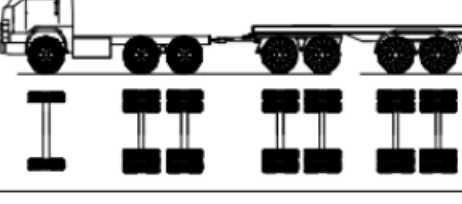
Los vehículos varían según su peso bruto máximo, su extensión longitudinal y la carga máxima del eje posterior y trasero, la configuración o característica vehicular de cada vehículo es única y depende de varios factores. La carga máxima aceptable para un eje individual o conjunto de ejes está regulada por los datos de la Figura 5, por lo que el peso bruto vehicular máximo no debe superar las 48 toneladas.

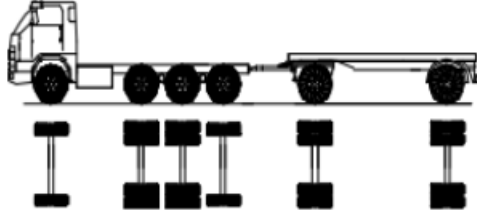
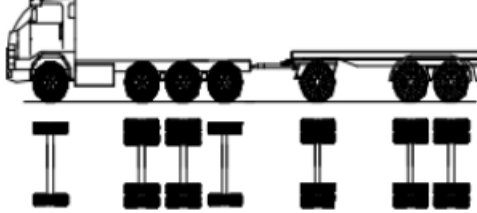
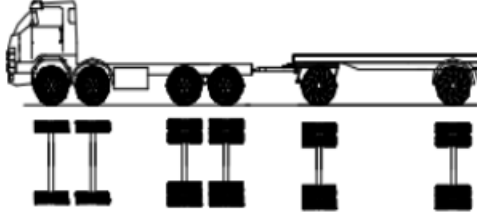
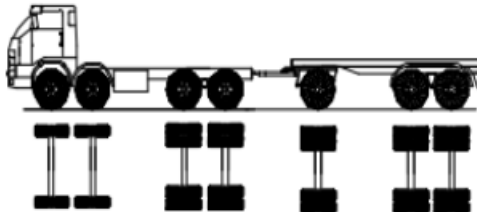
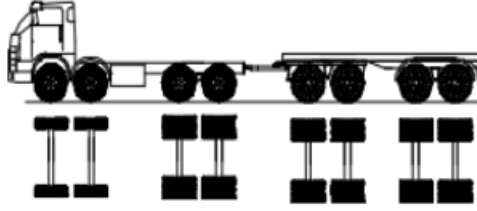
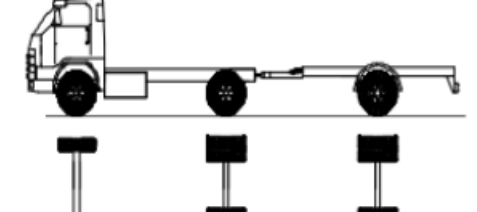
Figura 5

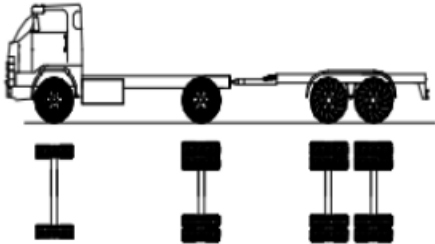
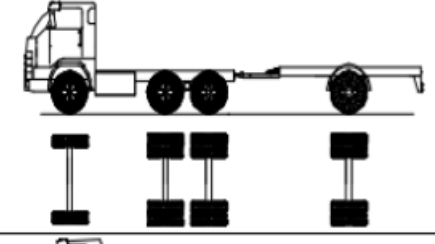
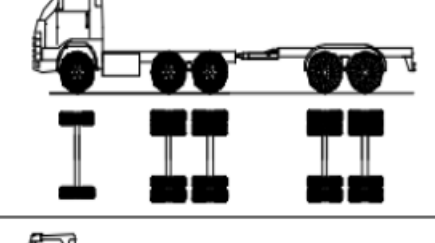
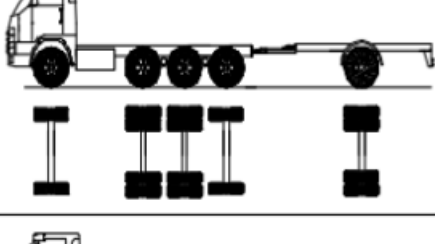
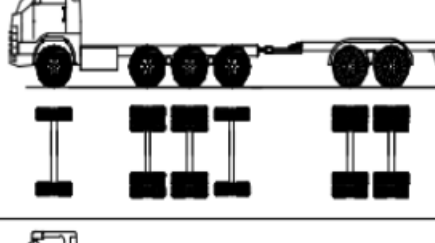
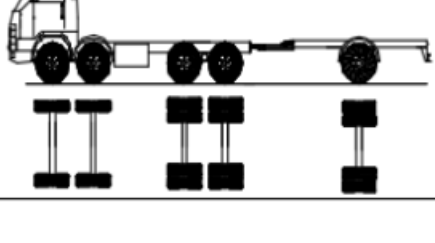
Pesos y medidas máximas permitidas

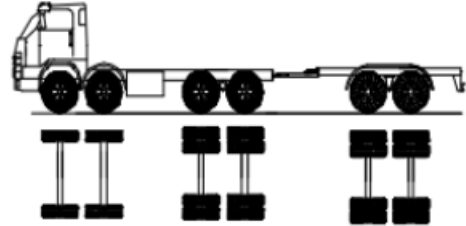
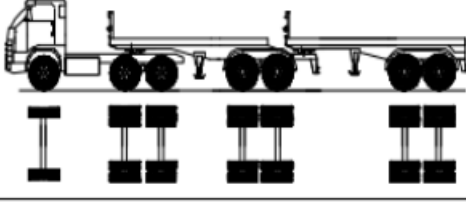
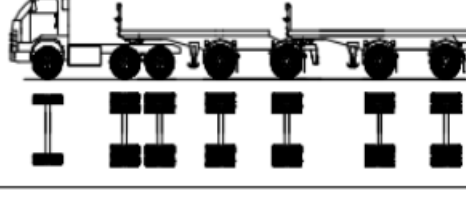
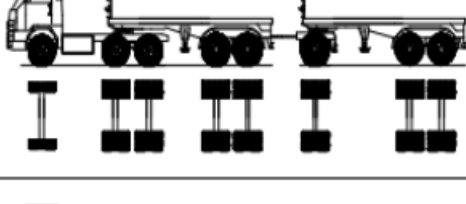
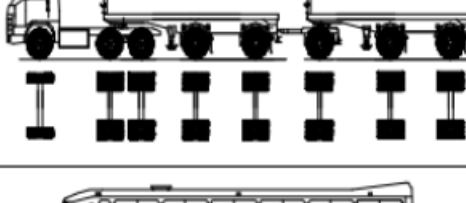
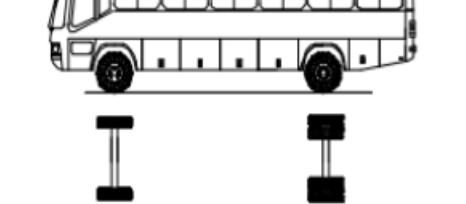
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)		
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º		4º	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

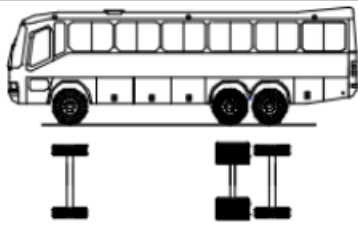
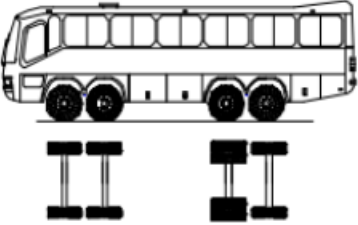
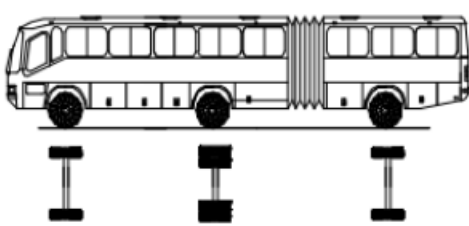
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	---	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	---	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	---	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
C3R4		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	---	48 ⁽²⁾
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R2		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	11	---	48 ⁽²⁾
8x4R3		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R4		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	---	---	48
8x4 RB1		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	---	---	43

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	---	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 ⁽⁵⁾	16	---	---	---	30
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25

Nota. Adaptado del Reglamento Nacional de Vehículos (2003).

2.2.2.3. Factor de carga equivalente por eje (EALF)

Para calcular el impacto que tendrían diversos tipos de automóviles que transitan por una vía se realiza el procedimiento para obtener el factor de carga equivalente por eje (EALF) (Vega, 2018, pág. 28).

Se emplearán las fórmulas de regresión usadas para la obtención del EALF en conformidad con AASHTO para pavimentos rígidos:

$$\log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.62 \log(18 + 1) - 4.62 \log(L_x + L_2) + 3.28 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (2)$$

$$G_t = \log \left(\frac{4.5 - p_t}{4.5 - 1.5} \right) \quad (3)$$

$$\beta_x = 1.00 + \frac{3.63(L_x + L_2)^{5.20}}{(D + 1)^{8.46} L_2^{3.52}} \quad (4)$$

Donde:

- W_{tx}/W_{t18} es el factor de carga equivalente por eje.
- L_x es la carga por eje en kips.

- L_2 es el factor que depende del tipo de eje (1 para ejes simples, 2 para ejes tándem y 3 para ejes trídem).
- G_t es función de p_t .
- p_t es el índice de serviciabilidad final.
- β_{18} es el valor que toma β_x cuando L_x es igual a 18 y L_2 es igual a 1.
- D es la variable por definir y representa al espesor de la losa de concreto.

Para facilitar la obtención del EALF, se aplicarán las tablas 3,10 3,11 y 3,12 de la guía (AASHTO, 1993, págs. 31-33).

2.2.2.4. Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados (r)

Corresponde al porcentaje que se proyecta en función de las estimaciones de la expansión demográfica y financiera en la zona de impacto de la sección de la carretera en estudio, que se mostrará como el aumento del tránsito vehicular, así como el cambio de las clases de vehículos a lo largo de la sección que circulará (Vega, 2018, pág. 27). Estos datos se reflejan en la tabla 1.

Tabla 1

Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros (%)		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados (%)	
Amazonas.	1,12	Amazonas.	2,69
Ancash.	2,33	Ancash.	1,49
Apurímac.	1,13	Apurímac.	4,50
Arequipa.	2,90	Arequipa.	2,97
Ayacucho.	1,83	Ayacucho.	2,90
Cajamarca.	3,05	Cajamarca.	1,45
Cusco.	2,77	Cusco.	3,07
Huancavelica.	1,17	Huancavelica.	2,00
Huánuco.	1,94	Huánuco.	3,03
Ica.	1,10	Ica.	2,62
Junín.	2,04	Junín.	2,84
La Libertad.	2,61	La Libertad.	2,21
Lambayeque.	2,40	Lambayeque.	2,54
Lima Provincias.	2,61	Lima Provincias.	2,34
Loreto.	0,12	Loreto.	1,48
Madre de Dios.	2,22	Madre de Dios.	1,38
Moquegua.	1,97	Moquegua.	0,58
Pasco.	1,72	Pasco.	0,39
Piura.	2,38	Piura.	2,37
Puno.	2,47	Puno.	2,58

(continúa)

Tabla 1 (continuación)

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros (%)		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados (%)	
San Martín.	2,11	San Martín.	2,88
Tacna.	2,13	Tacna.	2,36
Tumbes.	0,81	Tumbes.	2,40
Ucayali.	1,73	Ucayali.	2,25

Nota. Adaptado de la ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas del MTC, del sitio web [Ficha Técnica MTC](#).

2.2.2.5. Factores de crecimiento vehicular (G)

Este factor representa el crecimiento vehicular el cual se encuentra relacionado con la tasa de crecimiento y el periodo de diseño, la ecuación 5 representa a la expresión matemática del factor de crecimiento para vehículos ligeros y pesados.

$$G = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r} \quad (2)$$

Donde:

- r es la tasa de crecimiento vehicular.
- Y es el periodo de diseño.

2.2.2.6. Factor direccional (D) y factor carril (L)

El factor de distribución direccional depende de la cantidad de vehículos que circulan en una dirección además el factor carril se aplica para disminuir el ESAL total de una dirección para las secciones que disponen de tres o más carriles en una vía. Para la obtención de estos factores usaremos la tabla 2 proporcionada por la guía AASHTO (1993).

Tabla 2*Factores de Distribución Direccional y de Carril*

Numero de calzadas	Numero de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (D)	Factor Carril (L)	Factor Ponderado DxL para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0,8	0,8
	1 sentido	3	1	0,6	0,6
	1 sentido	4	1	0,5	0,5
	2 sentidos	1	0,5	1	0,5
	2 sentidos	2	0,5	0,8	0,4
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,5	1	0,5
	2 sentidos	2	0,5	0,8	0,4
	2 sentidos	3	0,5	0,6	0,3
	2 sentidos	4	0,5	0,5	0,25

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

2.2.2.7. Tráfico de diseño

En el diseño del pavimento se debe tener pleno conocimiento de la cantidad de reiteraciones en cada agrupación de ejes para soporte de carga para el tiempo de vida útil proyectado. En ese sentido se procede a multiplicar el tráfico diario inicial con factores de dirección, distribución de carril y un factor de crecimiento para así lograr calcular el tráfico inicial en el carril de diseño solicitado.

$$n_i = (n_0)_i \times G \times D \times L \times 365 \quad (6)$$

Donde:

- n_i es el número total de repeticiones por día para el grupo de carga i .
- $(n_0)_i$ es el número inicial de repeticiones por día para el grupo de carga i .
- G es el factor de crecimiento.
- D es el factor de distribución direccional.
- L es el factor de distribución de carril el cual varía con el volumen de tráfico y el número de carriles.

A partir de los valores anteriormente mostrados se continúa con el cálculo del ESAL, el cual representará la cantidad de ejes equivalentes que soportará el pavimento durante el tiempo de duración

$$ESAL = \sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0 \times G \times D \times L \times 365 \quad (7)$$

D

O Donde:

- p_i es el porcentaje del total de repeticiones para un grupo de carga.
- F_i es el factor de carga equivalente $\sum EALF$.
- ADT_0 es el tráfico diario promedio al inicio del periodo de diseño.

Es necesario indicar que el resultado obtenido de $\sum_{i=1}^m p_i F_i \times ADT_0$ pertenece a la acumulación de la multiplicación del número de reiteraciones de un vehículo por su correspondiente EALF.

2.2.3. Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo CBR es una técnica que se emplea para determinar la capacidad de un suelo para resistir la compresión, Se utiliza el ensayo CBR para evaluar la calidad y la resistencia del suelo frente a las cargas que se aplican a los diferentes tipos de pavimentos.

El ensayo consiste en aplicar una carga estática a un cilindro pequeño de suelo, y calcular la relación entre la carga que produce una determinada deformación en el suelo y la carga que produce la misma deformación en una muestra patrón de suelo de buena calidad, El resultado se mide como un porcentaje, con un suelo más resistente es equivalente a un valor CBR más alto.

Para calcular el CBR se deben seguir los pasos detallados a continuación.

Paso uno, compactar 3 muestras de suelo de unos 7 kg cada una, de manera que sus densidades al compactarlas estén entre el 95 % y el 100 %.

Paso dos, obtener el peso del molde cuando este se encuentre sin muestra alguna.

Paso tres, procedemos agregando agua a la primera muestra luego se realiza la compactación en la probeta con 12, 25 y 56 golpes por cada capa respectivamente.

Paso cuatro, quitar el collar con cuidado después de compactar posteriormente nivelar la superficie con una regla metálica y luego medir el peso del suelo compactado más el molde.

Paso cinco, sacar el suelo compactado de la probeta y obtener una muestra para calcular el porcentaje de humedad.

Paso seis, sumergir la muestra completamente en un recipiente con agua por 4 días.

Paso siete, al finalizar el tiempo registrar el valor del dial para los cálculos correspondientes.

Paso ocho, Sacar el molde del recipiente con agua y dejar que escurra.

Paso nueve, Transportar el molde a la máquina automática para realizar los ensayos de CBR. Así mismo la figura 6 muestra la máquina empleada.

Figura 6

Máquina para determinar el CBR



2.2.4. Diseño de los pavimentos rígidos

2.2.4.1. Método PCA

El método de diseño de pavimento rígido de la Asociación de Cemento Portland (PCA) tiene como propósito encontrar el menor espesor de capa de rodadura de concreto hidráulico que tenga la capacidad estructural de resistir las solicitaciones de cargas proyectadas para el periodo de diseño planificado además de buscar la optimización de costos en construcción inicial y mantenimiento, para llevar a cabo este cálculo de espesor de losa la metodología PCA toma en cuenta dos aspectos de diseño fatiga y

erosión. Fatiga busca evitar el agrietamiento del pavimento por medio del control de esfuerzos generados por las cargas repetidas dentro de niveles seguros y erosión busca minimizar las consecuencias de las deformaciones del pavimento en las losas, uniones y ángulos permitiendo de esta manera reducir el fenómeno de la erosión en la rasante del pavimento y bermas (Becerra, 2012, pág. 125).

Para realizar este procedimiento es necesario obtener las siguientes variables:

a. Módulo de rotura del concreto (S_c)

De acuerdo al ACI 363R-92 (1997) el módulo de rotura a los 28 días del concreto (S_c) es determinado por una proporción directa de la resistencia a la compresión del concreto la cual se ve modificada por un factor (α), dicho factor fluctúa entre 1,99 y 3,18 (pág. 23). La expresión matemática equivalente al módulo de rotura del concreto a los 28 días (S_c) es definida por:

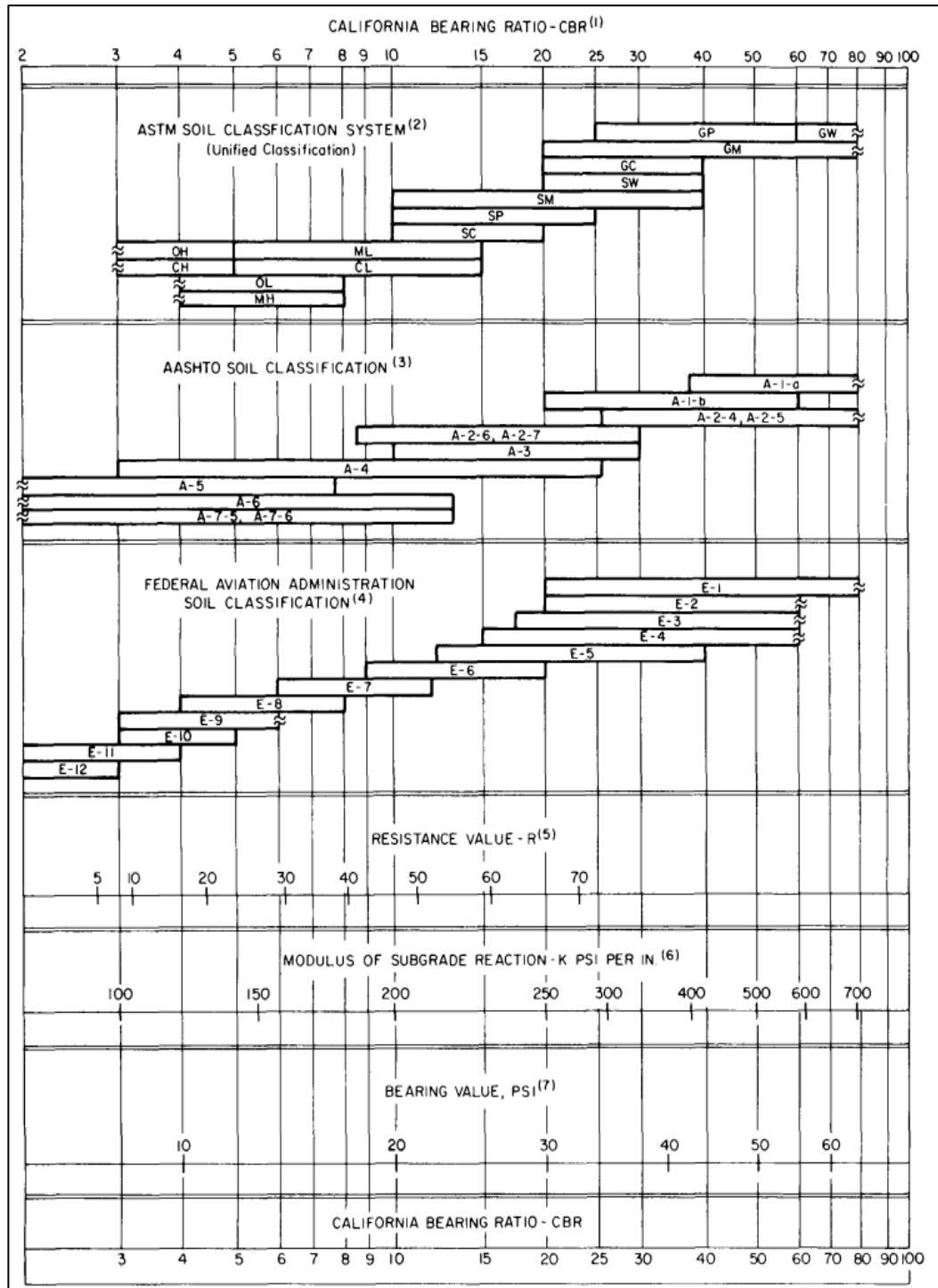
$$S_c = \alpha \sqrt{f'_c} \quad (8)$$

b. Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)

De acuerdo a Vega (2018) este módulo mide la resistencia a los esfuerzos en la subrasante. Para determinar el valor K se empleará la figura 7 en donde necesitamos como dato de entrada el CBR.

Figura 7

Módulo de reacción de la subrasante en función del CBR



Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984).

Si el diseño del pavimento rígido considera la aplicación de una subbase entonces la guía PCA sugiere el uso de un factor de corrección mostrado en la tabla 3.

Tabla 3*Efecto de la base sobre los valores k de la subrasante*

Valor k de la subrasante (pci)	Valor k efectivo (pci)			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 6.

c. Factor de seguridad de carga (LSF)

Es el factor de seguridad de carga que ajusta las cargas mayores no anticipadas de camiones que exceden el peso permitido, el mencionado factor de seguridad multiplica cada carga por eje para encontrar la carga de diseño por eje (Vega, 2018, pág. 75).

De acuerdo a la PCA (1984) se utiliza LSF=1,2 para proyectos interestatales y otros de varios carriles donde habrá un flujo de tráfico ininterrumpido y grandes volúmenes de tráfico de camiones, LSF = 1,1 para carreteras y calles arteriales donde habrá volúmenes moderados de tráfico de camiones, LSF = 1,0 Para carreteras, calles residenciales y otras calles que transportará pequeños volúmenes de tráfico de camiones (pág. 10).

d. Cálculo de espesores

Para comenzar con el diseño se necesitan los datos obtenidos del estudio del tráfico como el IMDA en donde muestra los tipos de ejes que transitaran por la vía y el peso reglamentario de cada unidad vehicular.

Luego es necesario encontrar las repeticiones esperadas acumuladas durante el periodo de diseño para ello se empleará la ecuación 7.

- La tasa de crecimiento anual de tráfico (r) se determina a partir de la tabla 1.

- Para encontrar el factor de crecimiento (G) se empleará la ecuación 5.

Continuando con la metodología se prosigue con el análisis por fatiga en donde es imprescindible obtener los esfuerzos equivalentes y factores de relación de esfuerzos para tres tipos de ejes: simple, tándem y trídem (Vega, 2018, pág. 78). Para encontrar los mencionados esfuerzos equivalentes para los ejes simples y tándem usaremos la tabla 4 en donde necesitamos como datos de entrada el predimensionamiento del espesor de la losa y el valor K efectivo de la subrasante.

Tabla 4

Esfuerzo equivalente en pavimento con berma de concreto (eje simple y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	409/388	383/384
4,5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	355/322	333/316
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	311/274	294/267
5,5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	276/238	261/231
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	247/210	234/203
6,5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	223/188	212/ 180
7	302/270	266/230	248/210	236/ 198	220/ 184	203/ 170	192/162
7,5	275/250	243/ 211	226/ 193	215/182	201/ 168	185/ 155	176/ 148
8	252/232	222/ 196	207/179	197/ 168	185/ 155	170/ 142	162/ 135
8,5	232/216	205/ 182	191/ 166	182/ 156	170/144	157/131	150/ 125
9	215/202	190/ 171	177/ 155	169/ 146	158/134	146/122	139/116
9,5	200/190	176/160	164/146	157/137	147/126	136/114	129/ 108
10	186/179	164/ 151	153/137	146/ 129	137/118	127/107	121/101
10,5	174/ 170	154/ 143	144/ 130	137/ 121	128/ 111	119/ 101	113/95
11	164/ 161	144/ 135	135/ 123	129/ 115	120/105	112/95	106/90
11,5	154/ 153	136/ 128	127/ 117	121/ 109	113/100	105/90	100/85
12	145/ 146	128/ 122	120/111	114/ 104	107/95	99/86	95/81
12,5	137/ 139	121/ 117	113/ 106	108/99	101/91	94/82	90/77
13	130/133	115/ 112	107/ 101	102/95	96/86	89/78	85/73
13,5	124/127	109/ 107	102/97	97/91	91/83	85/74	81/70
14	118/ 122	104/ 103	97/93	93/87	87/79	81/71	77/67

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 14.

- Así mismo para obtener el esfuerzo equivalente para el eje trídem se usa la tabla 5.

Tabla 5*Esfuerzo equivalente en pavimento sin o con berma de concreto (eje trídem)*

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	510/431	456/392	437/377	428/369	419/362	414/360	412/359
4,5	439/365	380/328	359/313	349/305	339/297	331/292	328/291
5	387/317	328/281	305/266	293/258	282/250	272/244	269/242
5,5	347/279	290/246	266/231	253/223	240/214	230/208	226/206
6	315/249	261/218	237/204	223/196	209/187	198/180	193/178
6,5	289/225	238/196	214/183	201/175	186/166	173/159	168/156
7	267/204	219/178	196/165	183/158	167/149	154/142	148/138
7,5	247/187	203/162	181/151	168/143	153/135	139/127	132/124
8	230/172	189/149	168/138	156/131	141/123	126/116	120/112
8,5	215/159	177/138	158/128	145/121	131/113	116/106	109/102
9	200/147	166/128	148/119	136/112	122/105	108/98	101/94
9,5	187/137	157/120	140/111	129/105	115/98	101/91	93/87
10	174/127	148/112	132/104	122/98	108/91	95/84	87/81
10,5	163/119	140/105	125/97	115/92	103/86	89/79	82/76
11	153/111	132/99	119/92	110/87	98/81	85/74	78/71
11,5	142/104	125/93	113/86	104/82	93/76	80/70	74/67
12	133/97	119/88	108/82	100/78	89/72	77/66	70/63
12,5	123/91	113/83	103/78	95/74	85/68	73/63	67/60
13	114/85	107/79	98/74	91/70	81/65	70/60	64/57
13,5	105/80	101/75	93/70	87/67	78/62	67/57	61/54
14	97/75	96/71	89/67	83/63	75/59	65/54	59/51

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 40.

Luego para culminar con el análisis por fatiga se obtienen los factores de relación de esfuerzo los cuales se calculan al dividir los esfuerzos equivalentes para cada eje con el módulo de rotura del concreto (S_c).

Se prosigue con el análisis por erosión en donde se necesita encontrar los factores de erosión para los ejes simple, tándem y trídem; para determinar los factores de erosión para los ejes simple y tándem en pavimentos de concreto con dowels y con bermas de concreto haremos uso de la tabla 6 en donde necesitamos como datos de entrada el predimensionamiento del espesor de la losa y el valor K de la subrasante.

Tabla 6*Factor de erosión para ejes simple y tándem en pavimentos de concreto*

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,28/3,30	3,24/3,20	3,21/3,13	3,19/3,10	3,15/3,09	3,12/3,08
4,5	3,13/3,19	3,09/3,08	3,06/3,00	3,04/2,96	3,01/2,93	2,98/2,91
5	3,01/3,09	2,97/2,98	2,93/2,89	2,90/2,84	2,87/2,79	2,85/2,77
5,5	2,90/3,01	2,85/2,89	2,81/2,79	2,79/2,74	2,76/2,68	2,73/2,65
6	2,79/2,93	2,75/2,82	2,70/2,71	2,68/2,65	2,65/2,58	2,62/2,54
6,5	2,70/2,86	2,65/2,75	2,61/2,63	2,58/2,57	2,55/2,50	2,52/2,45
7	2,61/2,79	2,56/2,68	2,52/2,56	2,49/2,50	2,46/2,42	2,43/2,38
7,5	2,53/2,73	2,48/2,62	2,44/2,50	2,41/2,44	2,38/2,36	2,35/2,31
8	2,46/2,68	2,41/2,56	2,36/2,44	2,33/2,38	2,30/2,30	2,27/2,24
8,5	2,39/2,62	2,34/2,51	2,29/2,39	2,26/2,32	2,22/2,24	2,20/2,18
9	2,32/2,57	2,27/2,46	2,22/2,34	2,19/2,27	2,16/2,19	2,13/2,13
9,5	2,26/2,52	2,21/2,41	2,16/2,29	2,13/2,22	2,09/2,14	2,07/2,08
10	2,20/2,47	2,15/2,36	2,10/2,25	2,07/2,18	2,03/2,09	2,01/2,03
10,5	2,15/2,43	2,09/2,32	2,04/2,20	2,01/2,14	1,97/2,05	1,95/1,99
11	2,10/2,39	2,04/2,28	1,99/2,16	1,95/2,09	1,92/2,01	1,89/1,95
11,5	2,05/2,35	1,99/2,24	1,93/2,12	1,90/2,05	1,87/1,97	1,84/1,91
12	2,00/2,31	1,94/2,20	1,88/2,09	1,85/2,02	1,82/1,93	1,79/1,87
12,5	1,95/2,27	1,89/2,16	1,84/2,05	1,81/1,98	1,77/1,89	1,74/1,84
13	1,91/2,23	1,85/2,13	1,79/2,01	1,76/1,95	1,72/1,86	1,70/1,80
13,5	1,86/2,20	1,81/2,09	1,75/1,98	1,72/1,91	1,68/1,83	1,65/1,77
14	1,82/2,17	1,76/2,06	1,71/1,95	1,67/1,88	1,64/1,80	1,61/1,74

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 16.

El factor de erosión para el eje trídem en pavimentos de concreto con dowels, sin bermas y con bermas de concreto se determina por la tabla 7.

Tabla 7*Factor de erosión para ejes trídem en pavimentos de concreto*

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,89/3,33	3,82/3,20	3,75/3,13	3,70/3,10	3,61/3,05	3,53/3,00
4,5	3,78/3,24	3,69/3,10	3,62/2,99	3,57/2,95	3,50/2,91	3,44/2,87
5	3,68/3,16	3,58/3,01	3,50/2,89	3,46/2,83	3,40/2,79	3,34/2,75
5,5	3,59/3,09	3,49/2,94	3,40/2,80	3,36/2,74	3,30/2,67	3,25/2,64
6	3,51/3,03	3,40/2,87	3,31/2,73	3,26/2,66	3,21/2,58	3,16/2,54
6,5	3,44/2,97	3,33/2,82	3,23/2,67	3,18/2,59	3,12/2,50	3,08/2,45

(continúa)

Tabla 7 (continuación)

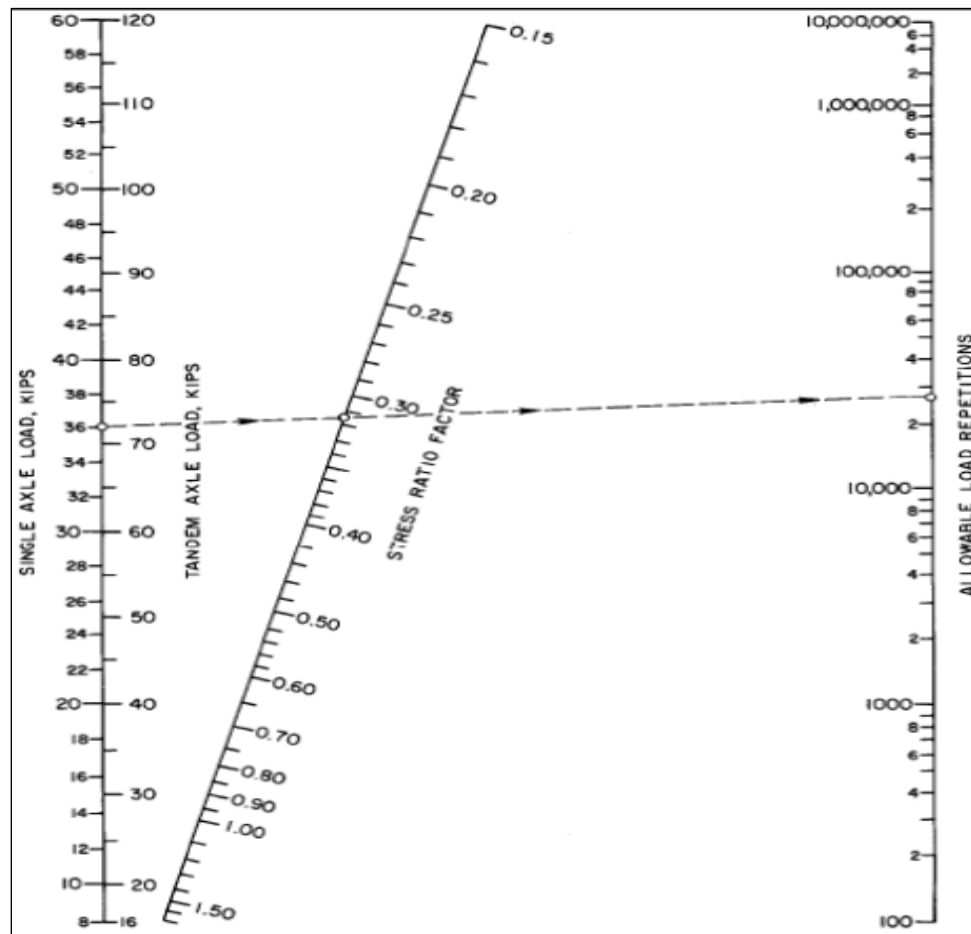
Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
7	3,37/2,92	3,26/2,76	3,16/2,61	3,10/2,53	3,04/2,43	3,00/2,37
7,5	3,31/2,87	3,20/2,72	3,09/2,56	3,03/2,47	2,97/2,37	2,93/ 2,31
8	3,26/2,83	3,14/2,67	3,03/2,51	2,97/2,42	2,90/2,32	2,86/2,25
8,5	3,20/2,79	3,09/2,63	2,97/2,47	2,91/2,38	2,84/ 2,27	2,79/ 2,20
9	3,15/2,75	3,04/2,59	2,92/2,43	2,86/2,34	2,78/2,23	2,73/2,15
9,5	3,11/ 2,71	2 99/2,55	2,87/2,39	2,81/2,30	2,73/2,18	2,68/2,11
10	3,06/2,67	2 94/2,51	2,83/2,35	2,76/2,26	2,68/2,15	2,63/ 2,07
10,5	3,02/2,64	2 90/2,48	2,78/2,32	2,72/2,23	2,64/2,11	2,58/2,04
11	2,98/ 2,60	2 86/2,45	2,74/2,29	2,68/2,20	2,59/ 2,08	2,54/ 2,00
11,5	2,94/2,57	2 82/2,42	2,70/2,26	2,64/2,16	2,55/2,05	2,50/1,97
12	2,91/2,54	2 79/2,39	2,67/2,23	2 ,60/2,13	2,51/2,02	2,46/ 1,94
12,5	2,87/2,51	2 75/2,36	2,63/2,20	2,56/2,11	2,48/ 1,99	2,42/1,91
13	2,84/2,48	2 72/2,33	2,60/2,17	2,53/2,08	2,44/ 1,96	2,39/ 1,88
13,5	2,81/2,46	2 68/2,30	2,56/2,14	2,49/2,05	2,41/1,93	2,35/1,86
14	2,78/2,43	2 65/2,28	2,53/2,12	2,46/2,03	2,38/ 1,91	2,32/1,83

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 41.

También la guía PCA (1984) plantea que se tiene que determinar un número permisible de repeticiones de carga, para el caso del análisis por fatiga se usara la figura 8 en donde se necesitan valores de entrada como carga de diseño para eje simple y tándem además del factor de relación esfuerzo correspondiente al tipo de eje.

Figura 8

Repeticiones permisibles para pavimentos con y sin berma de concreto

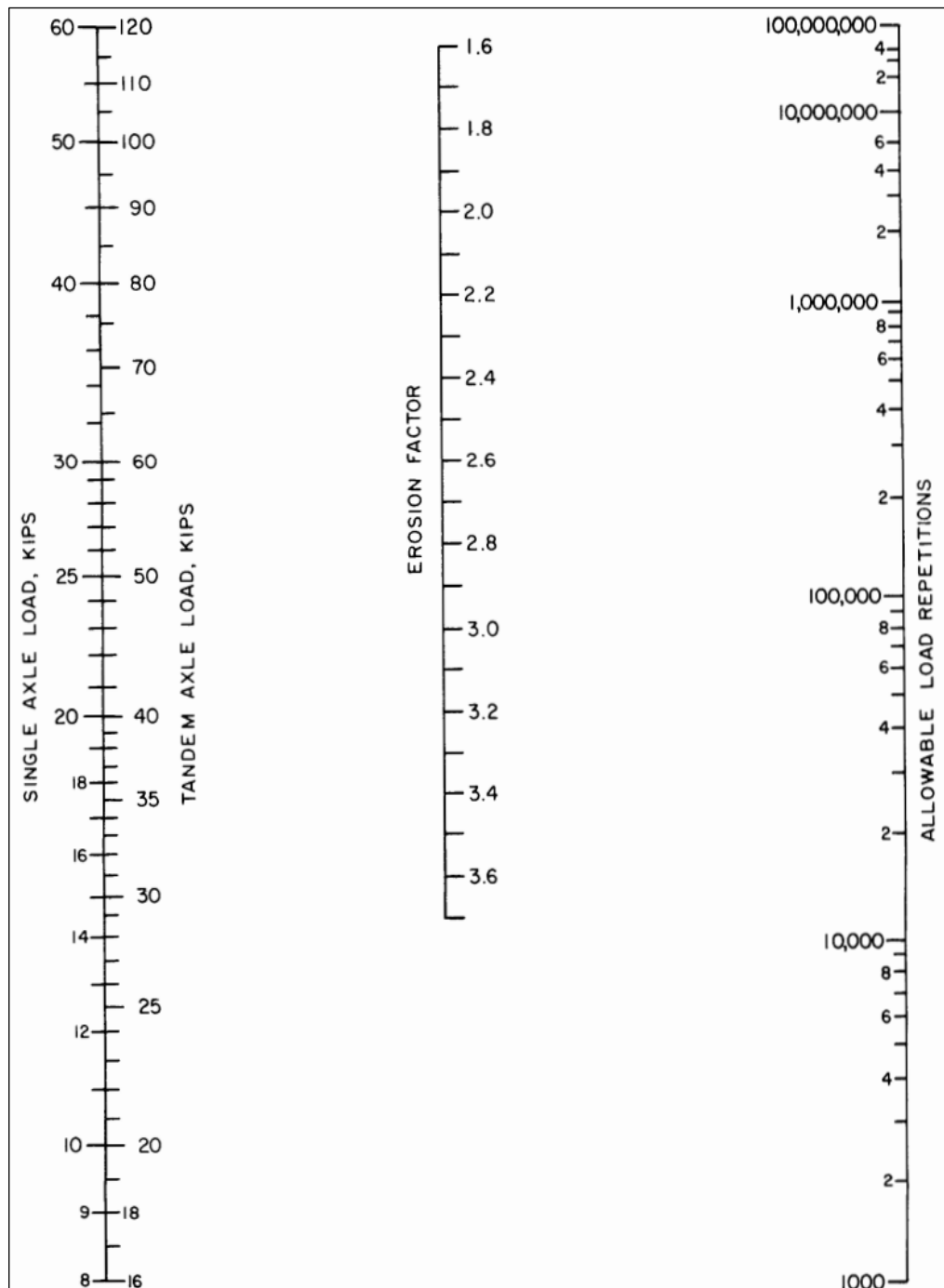


Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 15.

Para determinar el número de repeticiones permisible en el análisis por erosión se empleará la figura 9 en donde se necesitan valores de entrada como carga de diseño para eje simple y tándem además del factor de erosión correspondiente al tipo de eje.

Figura 9

Repeticiones admisibles en pavimentos con berma de concreto



Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 19.

Respecto a los ejes trídeme se emplean las dos figuras presentadas recientemente con la excepción que la carga de diseño por tipo de eje es fraccionada entre tres para determinar el permisible de repeticiones de carga además es necesario mencionar que si el cruce de las líneas sucede fuera de la parte superior de la imagen

entonces las repeticiones permisibles de carga se pueden considerar ilimitadas (Vega, 2018, pág. 83).

Finalmente se elabora una tabla en donde se aprecien todos los factores hallados previamente además de los resultados del análisis por fatiga y erosión.

2.2.4.2. Método AASHTO 1993

La metodología empleada para el diseño del pavimento rígido fue propuesta e impulsada por la organización que hoy se conoce como AASTHO, en ella se busca comprender la respuesta de las estructuras que componen a un pavimento el cual posee espesores conocidos los cuales son sometidos a efectos de cargas móviles y frecuencias definidas aplicadas en el espacio cotidiano de un tramo de vía pavimentada con losas de concreto (Saucedo, 2010, pág. 20).

Para realizar este procedimiento es necesario obtener las siguientes variables:

a. Tránsito de diseño

Representa el número de ejes equivalentes (ESAL).

b. Confiabilidad

Según AASHTO (1993) la confiabilidad representa a la probabilidad que el pavimento cumpla su periodo de vida útil, para el cual fue diseñado, en óptimas condiciones sin presentar daños en su estructura. Se muestra la tabla 8 en donde se aprecian los valores recomendados de confiabilidad.

Tabla 8

Valores sugeridos de confiabilidad

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Autopistas Interestatales y otras autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Debido a que los niveles de confiabilidad no son factores que incluye la fórmula final para encontrar el espesor de losa, por lo tanto, sirven para encontrar el coeficiente estadístico definido como Desviación Normal Estándar (Zr). Se presenta la tabla 9 necesaria para encontrar el mencionado valor.

Tabla 9

Desviación estándar normal (ZR) para diferentes valores de confiabilidad

Confiabilidad, R (%)	Desviación normal estándar, ZR
50	0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
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	-3,09
99,99	-3,75

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

c. Desviación estándar combinada

La desviación estándar combinada (S_o) se define como el factor que considera la fluctuación prevista de la estimación del tráfico además de otros elementos que influyen en el desempeño del pavimento (AASHTO, 1993).

De acuerdo a la guía de la AASHTO (1993) aconseja emplear un valor de 0,34 para pavimentos rígidos que presenten aforo vehicular y de 0,39 para los que no presentan aforo vehicular (págs. I-62).

d. Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

La serviciabilidad expresa el nivel de bienestar o facilidad de tránsito que el usuario recibe de la vía; su medida está entre 0 y 5 siendo 5 la situación más óptima posible. La resta entre la serviciabilidad inicial (p_o) y la serviciabilidad final (p_t) corresponde al valor que representa a la pérdida de serviciabilidad.

De acuerdo a AASHTO (1993) recomienda emplear una serviciabilidad inicial (p_o) de 4.5 para pavimentos rígidos (págs. I-8)

Según Ministerio de Vivienda (2010) indica valores de uso indicados en la tabla 10 para la serviciabilidad final (p_t) en base a la categorización funcional del conjunto de vías urbanas (pág. 31).

Tabla 10

Índice de Serviciabilidad Final (p_t)

p_t	Tipo de Vía
3	Expresas
2,5	Arteriales
2,25	Colectoras
2	Locales y estacionamientos

Nota. Adaptado de la tabla A3 de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

e. Propiedades del concreto

El módulo elástico (E_c) y el módulo de rotura del concreto a los 28 días (S_c) son las dos variables de ingreso que se emplean para representar una porción de las características del concreto, las cuales son importantes para calcular el espesor de la capa de rodadura de concreto.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (2019) en la norma técnica E.060 Concreto Armado para obtener el módulo de elástico (E_c) se encuentra presente

una vinculación entre tal variable y la resistencia a la compresión del concreto (pág. 193). Dicha conexión se encuentra representada a partir de la siguiente expresión:

$$E_c = 15000\sqrt{f_c} \quad (9)$$

Cuando una viga de concreto se halla soportada en sus extremos y si sobre ella se ejerce una carga en el tercio central de su longitud entonces el valor numérico que se obtiene de este ensayo se conoce como módulo de rotura del concreto a los 28 días, dicho modulo se encuentra representado a partir de la ecuación 8.

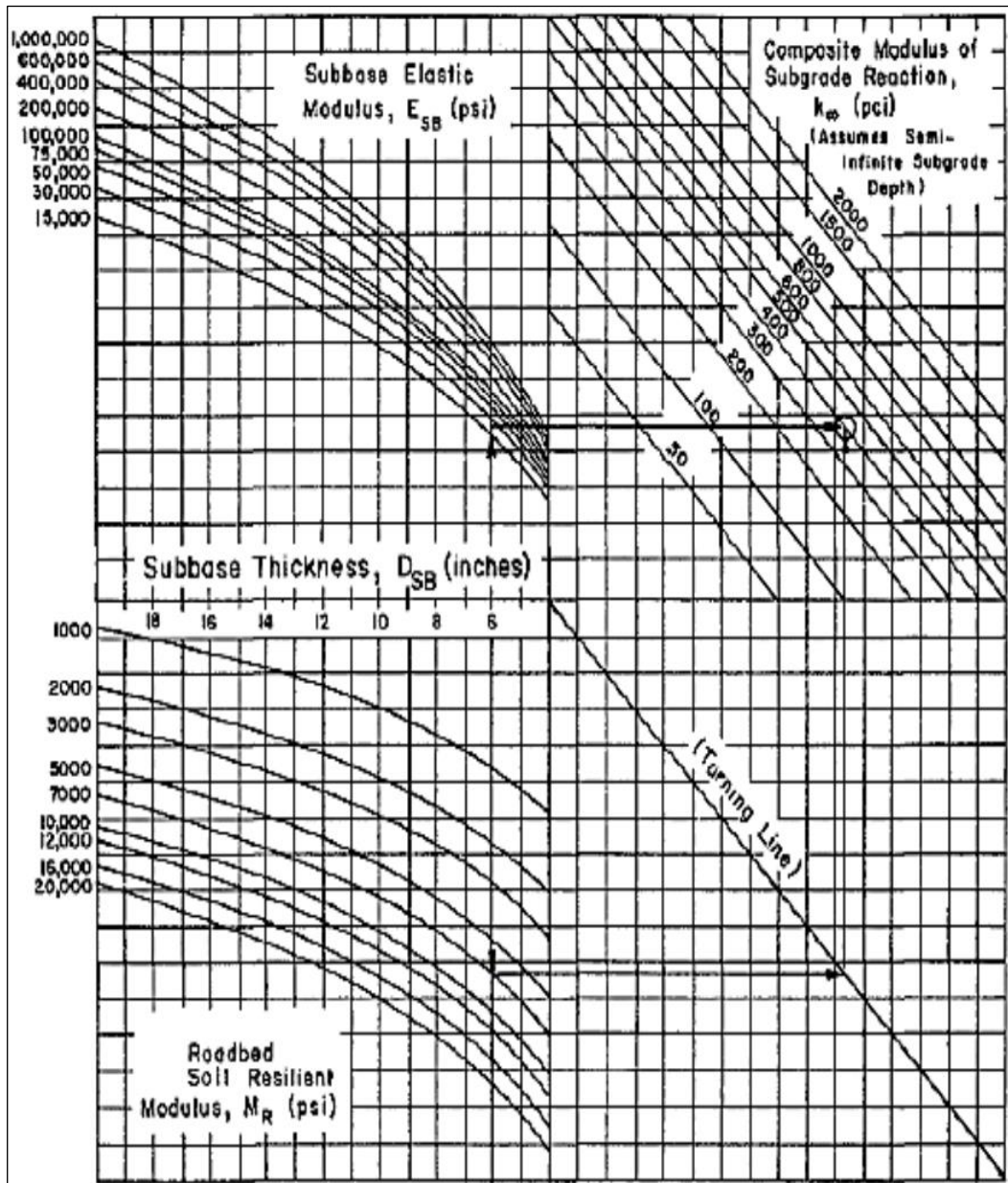
f. Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)

El módulo de reacción efectivo de la subrasante (K) es la cualidad de apoyo que posee el suelo en la cual conecta las propiedades resistencia y deformación del terreno, es necesario indicar que esta prueba consiste en imponer una serie de fuerzas para evaluar las deformaciones que podrían presentarse en el terreno (Minaya y Ordóñez, 2006).

Para el caso donde se decida incorporar una subbase que fortalezca la resistencia del suelo entonces esta se llamara módulo de reacción compuesto de la subrasante (k_c) y se encontrara a partir de la figura 10.

Figura 10

Nomograma para estimar el módulo de reacción compuesto de la subrasante

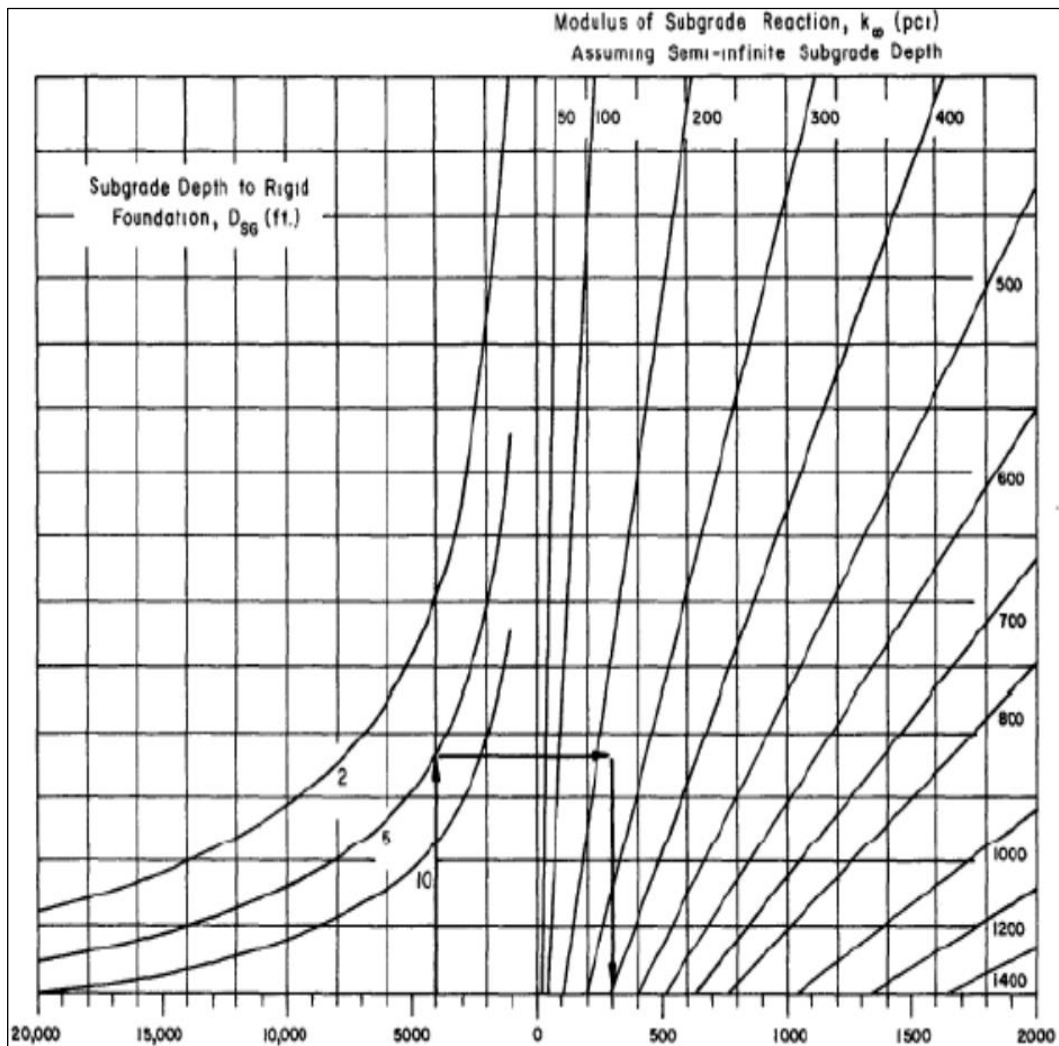


Nota. Guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Si se presenta el caso en que la subrasante descansa sobre un estrato rocoso a menos de tres metros de profundidad entonces se realizara una corrección al módulo de reacción compuesto de la subrasante, esta corrección se realizara con la figura 11.

Figura 11

Módulo de reacción de la subrasante por la presencia de estrato rocoso

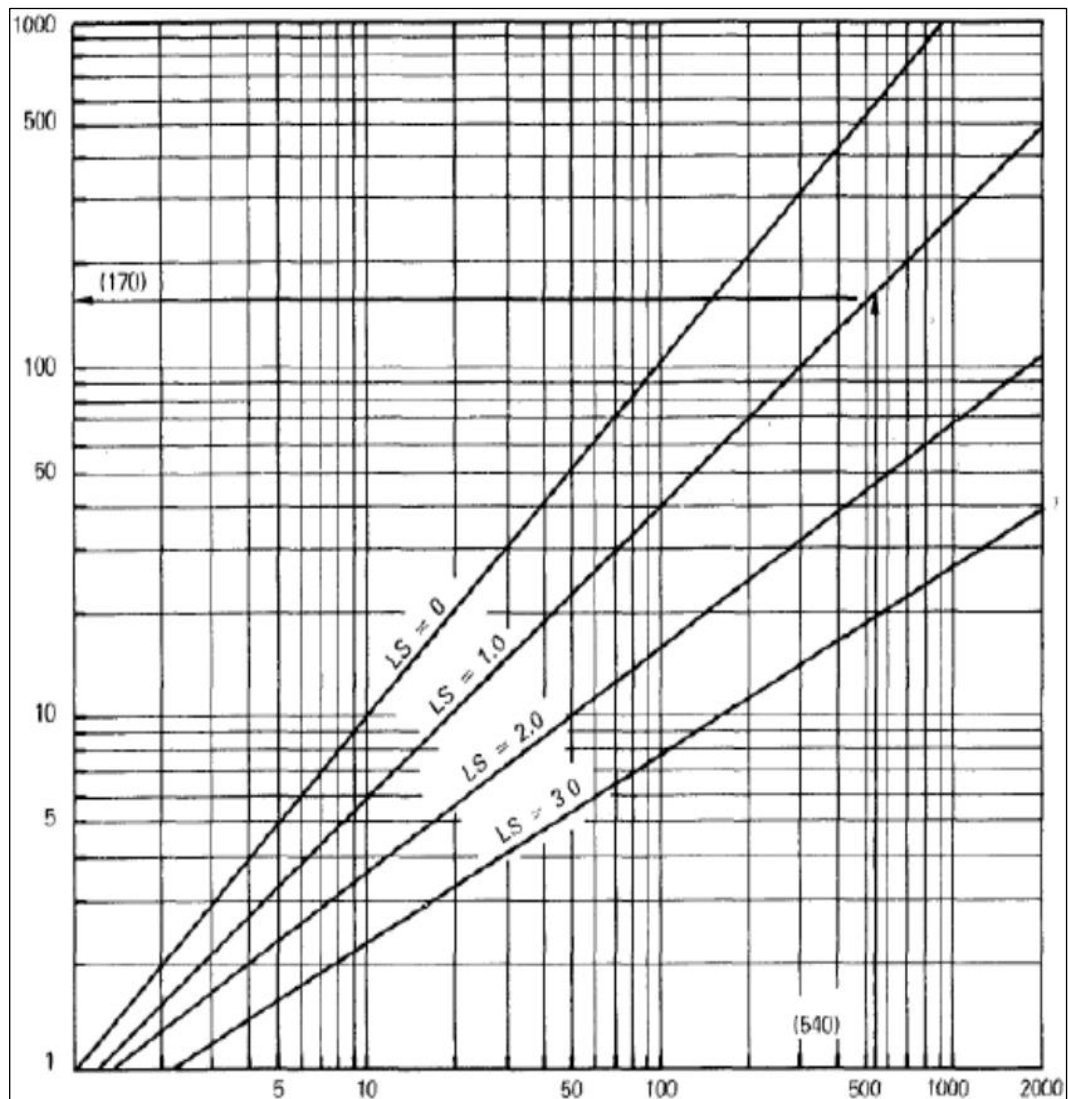


Nota. Guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

A la susceptibilidad a la erosión que puede presentarse en la capa granular además de los posibles asentamientos diferenciales en la subrasante a todo esto la guía AASHTO lo denomina factor de pérdida por soporte (L_s) y propone una reducción del valor k_c por inclusión del factor L_s el cual se muestra en la figura 12.

Figura 12

Carta para modificar el módulo de reacción de la subrasante por factor L_s



Nota. Guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

g. Coeficiente de transferencia de carga

El coeficiente de transferencia de carga (J) es el factor que evalúa la capacidad de la estructura para trasladar los esfuerzos por las juntas así mismo varía según el tipo de pavimento rígido y bermas que se proyecten (Ramirez, 2021, pág. 41).

Para determinar este coeficiente usaremos la tabla 11 en donde es necesario conocer el tipo de pavimento (JPCP es pavimento articulado de concreto simple, JRCP es pavimento articulado de concreto reforzado y CRCP es pavimento continuo de concreto reforzado) y bermas que poseerá el proyecto vial.

Tabla 11

Coefficientes de transferencia de carga para tipos de berma y juntas

Tipo de berma	Asfalto		Concreto Hidráulico	
	Si	No	Si	No
Dispositivos de transferencia de carga				
JPCP y JRCP	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
CRCP	2,9 – 3,2	N/A	2,3 – 2,9	N/A

Nota: Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

h. Coeficiente de drenaje

De acuerdo a la guía AASHTO (1993) para encontrar el coeficiente de drenaje (Cd) indicado en la tabla 12 se requiere tener información sobre dos variables la calidad del drenaje de la subrasante y el valor porcentual de tiempo que las capas estructurales de la vía pavimentada estarán sometidas a grados de humedad cercanos a la saturación.

Tabla 12

Valores recomendados de coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos

Calidad de Drenaje	P% del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,1
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,9
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,8
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,7

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

i. Cálculo de espesores

La finalidad de emplear la guía AASHTO (1993) en el diseño de pavimento rígido es encontrar el espesor de la losa de concreto, para determinar dicho espesor la guía

mencionada recientemente desarrollo la siguiente expresión matemática representada por la ecuación 10.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}\right)}{1,0 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} \quad (10)$$

$$+ (4,22 - 0,32p_t) \log \frac{S_c C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/K)^{0,25}} \right)}$$

Donde.

- W_{18} es el número de ejes simples equivalentes de 8,2 toneladas (ESAL).
- S_0 es el error estándar combinado.
- Z_R es la desviación estándar normal.
- ΔPSI es la variación de serviciabilidad.
- C_d es el coeficiente de drenaje.
- S_c es el módulo de rotura del concreto a los 28 días.
- E_c es el módulo de elasticidad del concreto.
- J es el coeficiente de transmisión de carga.
- K es el módulo efectivo de reacción de la subrasante.
- D es el espesor de la losa de concreto.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Losa

Constituye la capa cumbre del pavimento rígido construido a partir de concreto simple o reforzado en donde se reparten los esfuerzos conforme a la rigidez de la losa, originando que las capas subyacentes de la estructura vial como lo son la base y subbase, aguanten menos esfuerzos (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

2.3.2. Base y Sub-base

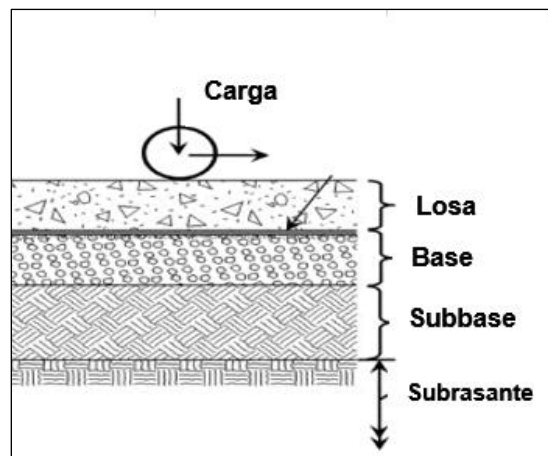
Su finalidad principal es soportar los esfuerzos proporcionados por el tránsito vehicular sin embargo cuando estas capas forman parte de la estructura de un pavimento rígido llegan a soportar una menor cantidad de esfuerzos debido a que la mayor parte de los esfuerzos son absorbidos por la losa de concreto, también esta capa sirve como drenaje para salvaguardar la estructura superior limitando así el incremento del nivel del agua (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

2.3.3. Sub-rasante

Se refiere a la capa de sustrato natural que soporta al pavimento el cual tiene como finalidad proporcionar resistencia demandada al pavimento además la subrasante es el punto de partida del diseño del pavimento porque es el suelo que sostiene toda la estructura del pavimento (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

Figura 13

Capas estructurales del pavimento rígido



Nota. Adaptado del ACI 360-06.

2.3.4. Transitabilidad vehicular

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018) lo define como el nivel de servicio de la estructura vial que garantiza una situación óptima que facilite el tráfico vehicular apropiado durante un tiempo específico (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018).

2.3.5. Juntas

Las juntas hacen posible que el concreto se mueva levemente, esto alivia las restricciones y atenúa los esfuerzos que generan las fisuras así mismo el ACI 302 recomienda que un nivel aceptable de fisuración visible puede alcanzar como máximo el 3% en la superficie del área de la losa (Vega, 2018, pág. 17).

2.3.6. Pavimento articulado de concreto simple (JPCP)

El pavimento JPCP previene las grietas seccionando el pavimento en losas únicas separadas por juntas de contracción alejadas entre 4,5 y 9,0 m. Este tipo de pavimento no emplea refuerzo de acero en cambio usa pasadores o dovelas (dowels) en las juntas transversales y barras de unión (tie bars) en las juntas longitudinales (Vega, 2018, pág. 13).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

De acuerdo a Kerlinger (1979) " La investigación no experimental o de hechos pasados es toda investigación en la que se hace inviable intervenir variables o asignar por azar a los individuos o a las circunstancias" (pág. 161), en ese sentido debido a que en la presente investigación no se manipulara la variable independiente (métodos de diseño de pavimento) y solo nos limitaremos a emplear y comparar los resultados obtenidos a partir de las metodologías de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO por lo tanto el diseño de la investigación será no experimental.

3.2. Acciones y actividades

3.2.1. Concentración de datos relevantes

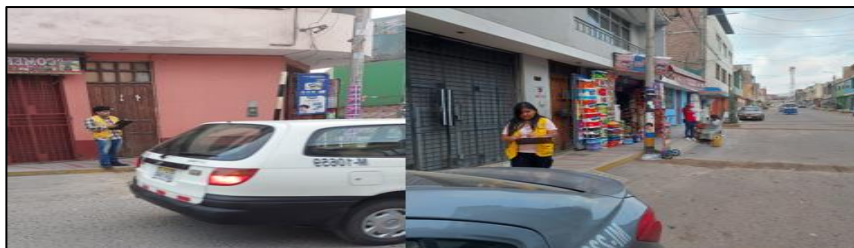
La vía local para la cual se obtuvo el diseño de pavimento rígido se encuentra bajo la jurisdicción de la Municipalidad Distrital Alto de la Alianza por lo tanto el primer lugar al que se acudió para la búsqueda de información fue esta municipalidad la cual ayudo mediante datos relevantes como planos topográficos en corte y elevación, estudios de suelos aledaños a nuestra zona de estudio además de proporcionarnos el plan de desarrollo urbano del cual se obtuvo la clasificación de la vía en estudio.

3.2.2. Verificación de sitio y captura de datos

Una vez culminado el proceso de recolección de datos se prosiguió con la visita a la zona de estudio como se muestra en la figura 14 para realizar una evaluación breve del tránsito vehicular y definir el punto idóneo para la realización del conteo vehicular el cual se inició el 18 de setiembre y culmino el 24 del mismo mes.

Figura 14

Realización del conteo vehicular en ambos sentidos de la vía local



Luego de finalizado el proceso del aforo vehicular se prosiguió con la realización de los tres puntos de exploración que contaron con una profundidad de 1,50 m, es necesario indicar que de las calicatas se obtuvo material de la subrasante el cual se analizó en laboratorio y se obtuvieron los CBR para cada punto de exploración. La figura 15 representa la realización de la primera calicata.

Figura 15

Realización del primer punto de exploración P-01



El material de la subrasante se envió al laboratorio HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. en donde se realizó el ensayo California Bearing Ratio mostrado en la figura 16 así mismo se siguieron los lineamientos propuestos por las normas ASTM D-1883 Y LA MTC E-132 con lo cual se obtuvieron los CBR para los tres puntos de exploración.

Figura 16

Realización del ensayo CBR para la muestra P-01



3.2.3. Estudio y valoración de la recolección de información de campo

La culminación del aforo vehicular originó el comienzo del estudio de tráfico el cual tuvo como finalidad obtener el ESALs que fue empleado en la metodología AASHTO en cambio el método PCA necesitó las repeticiones esperadas por tipo de eje y peso los cuales se obtuvieron del aforo vehicular realizado.

Con la obtención de los valores de CBR para los tres puntos de exploración se prosiguió con el análisis por percentiles para el cálculo del CBR de diseño que ambos métodos de diseño de pavimento rígido emplean luego para las demás variables o análisis que ambos métodos requirieron para culminar su respectivo diseño fue suficiente las tablas o figuras que los métodos de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO establecen.

3.3. Materiales y/o instrumentos

Las herramientas que se emplearon para la obtención de datos fueron los cuadros de registro de información (conteo vehicular), cámara fotográfica, pala y pico de excavación, conos de seguridad y computadora.

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Población de estudio

De acuerdo a Arias (2006) establece la población de estudio como “un grupo limitado o ilimitado de componentes con rasgos compartidos para los que se aplicarán los

resultados del estudio. Esta se define por el problema y por las metas del estudio”. (pág. 81)

Por lo tanto, para la población de estudio de la presente investigación será la calle Tupac Amaru.

3.4.2. Muestra de estudio

De acuerdo a Arias (2006) estable a la muestra como “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. (pág. 83)

En consecuencia, la figura 17 permite observar la muestra que se tomará para la investigación la cual será la calle Tupac Amaru que posee una longitud de 290 metros y se encuentra en la asociación Pueblo Joven La Esperanza del distrito Alto de la Alianza.

Figura 17

Vía local en estudio



3.5. Operacionalización de variables

Según Reguant y Martínez (2014, como se citó en Grajales Guerra, 1996) afirma que al hacer referencia a operacionalización de variables estamos realizando una semejanza de la “definición operacional, para manejar el concepto a nivel empírico, encontrando elementos concretos, indicadores o las operaciones que permitan medir el concepto en cuestión”. (pág. 3)

La tabla 13 permite observar la operacionalización de variable, independiente y dependiente de cada indicador por dimensión.

Tabla 13

Operacionalización de variables de investigación

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Variable independiente: Análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido.	El análisis comparativo de métodos de diseño en pavimento rígidos buscar escoger la propuesta más factible en cálculo de espesores.	Cualquier vía urbana que busque amplios periodos de diseño y mayor capacidad de respuesta estructural	-Espesor de losa -Módulo de Reacción efectiva de la subrasante -Transito de diseño -Confiabilidad -Propiedades del Concreto	Vías urbanas locales	AASHTO 1993 -PCA -Norma CE.010
Variable dependiente: Mejorar la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna.	Representa la satisfacción final del peatón y del conductor traducido a mejoras en los tiempos de circulación además de simbolizar ahorro económico para el conductor debido a que una vía sin grietas no ocasiona daños a la dirección de un vehículo.	Vías locales por las que circulen vehículos pesados	Nivel de satisfacción del peatón o conductor	Vías locales	

3.6. Procesamiento y análisis de datos

El método a emplearse para el tratamiento y examen de datos de la investigación actual, es el uso de la estadística descriptiva.

De acuerdo a Borrego (2008) la estadística descriptiva “consiste en el resumen, organización y categorización de los datos obtenidos por las mediciones. Se elaboran tablas y se muestran gráficos que facilitan reducir la complejidad de los datos” (pág. 2).

El instrumento para manejar los datos logrados en el estudio son las hojas de cálculo, los cuales se emplearán para operar las variables de diseño de las guías metodológicas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Estudio de tráfico

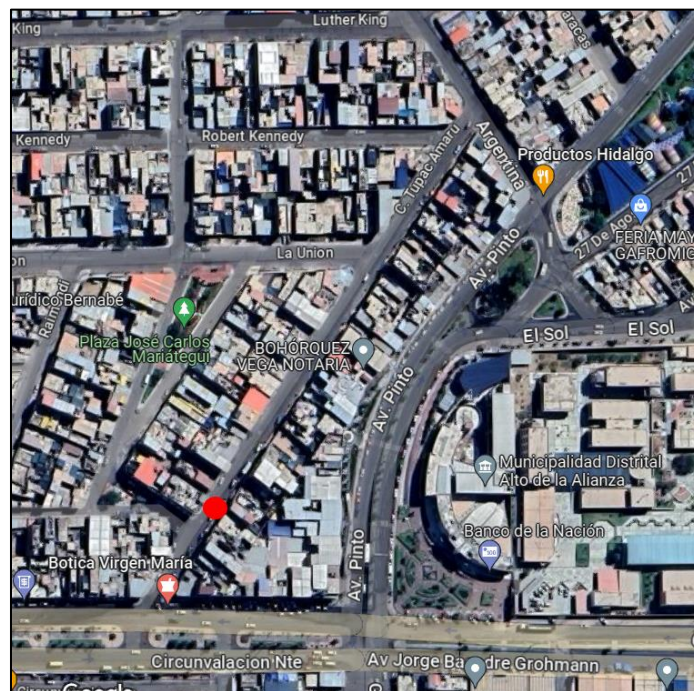
El estudio de tráfico vehicular se realizó con la finalidad de medir la cantidad de vehículos que pasaron por la vía de estudio y clasificarlos según su tipo.

4.1.1. Estación y duración de conteo vehicular

Durante la elaboración de este trabajo de investigación se realizó una primera visita a campo en donde se inspecciono la zona de estudio y se definió un punto estratégico, en donde se realizó el proceso de conteo vehicular, el cual se muestra en la figura 18. Es necesario mencionar que se realizó el aforo vehicular desde el lunes 18 de setiembre hasta el domingo 24 de setiembre, durante los 7 días de la semana 24 horas al día todo esto siguiendo lo indicado por el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 18

Estación de conteo



Nota. Adaptado de Google Earth.

4.1.2. Tabla resumen de conteo vehicular

Tabla 14*Tabla resumen del conteo vehicular*

Hora	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL	2E		>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
Lunes																					
18/09/2023																					
Entrada	747	948	179	149	81	0	8	0	20	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2145	
Salida	786	700	185	105	121	0	0	0	26	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1933	
Ambos	1533	1648	364	254	202	0	8	0	46	18	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4078	
Martes																					
19/09/2023																					
Entrada	953	924	258	187	124	0	4	0	31	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2492	
Salida	603	753	191	142	113	0	2	0	28	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1839	
Ambos	1556	1677	449	329	237	0	6	0	59	16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4331	
Miércoles																					
20/09/2023																					
Entrada	969	839	176	143	72	0	8	0	29	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2246	
Salida	474	770	133	98	101	0	1	0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1589	
Ambos	1443	1609	309	241	173	0	9	0	38	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3835	
Jueves																					
21/09/2023																					
Entrada	879	948	185	145	89	0	5	0	39	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2302	
Salida	661	750	206	129	91	0	3	0	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1856	
Ambos	1540	1698	391	274	180	0	8	0	52	9	0	0	0	0	6	0	0	0	0	4158	
Viernes																					
22/09/2023																					
Entrada	1088	933	98	159	110	0	839	0	61	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3296	
Salida	376	465	85	106	136	0	5	0	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1196	
Ambos	1464	1398	183	265	246	0	844	0	81	8	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4492	
Sábado																					
23/09/2023																					
Entrada	1214	1154	176	149	128	0	12	0	54	7	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2898	
Salida	804	790	147	111	86	0	0	0	32	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1974	
Ambos	2018	1944	323	260	214	0	12	0	86	11	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4872	
Domingo																					
24/09/2023																					
Entrada	161	297	88	69	58	0	3	0	8	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	690	
Salida	314	144	61	33	78	0	1	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	639	
Ambos	475	441	149	102	136	0	4	0	15	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1329	
Total	10029	10415	2168	1725	1388	0	891	0	377	75	0	0	0	0	27	0	0	0	0	27095	

Nota. Adaptado del formato de clasificación vehicular del MTC.

4.1.3. Índice Medio diario Semanal

Para obtener el Índice Medio Diario Semanal (IMD_s) es necesario obtener el promedio del volumen vehicular transitado durante siete días. Los valores obtenidos para el IMD_s se reflejan en la tabla 15.

Tabla 15

Índice Medio Diario Semanal

DIA	VEHÍCULOS LIGEROS						VEHÍCULOS PESADOS													TOTAL	PORC %
	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER			TRAYLER						
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3 E	2E	3E	4E	2S1/2S 2	2S3	3S1/3S 2	>=3S 3	2T2	2T3	3T2	>=3T 3		
LUNES	1533	1648	364	254	202	0	8	0	46	18	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4078	15.05
MARTES	1556	1677	449	329	237	0	6	0	59	16	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4331	15.98
MIÉRCOLES	1443	1609	309	241	173	0	9	0	38	8	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3835	14.15
JUEVES	1540	1698	391	274	180	0	8	0	52	9	0	0	0	6	0	0	0	0	0	4158	15.35
VIERNES	1464	1398	183	265	246	0	844	0	81	8	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4492	16.58
SÁBADO	2018	1944	323	260	214	0	12	0	86	11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4872	17.98
DOMINGO	475	441	149	102	136	0	4	0	15	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1329	4.90
TOTAL	10029	10415	2168	1725	1388	0	891	0	377	75	0	0	0	27	0	0	0	0	0	27095	100.00
IMDs	1433	1488	310	246	198	0	127	0	54	11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	3871	
%	37.02	38.44	8.01	6.35	5.11	0.00	3.28	0.00	1.39	0.28	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

4.1.4. Factor de corrección vehicular

Para la obtención de los factores de corrección de vehículos ligeros y pesados el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) presento la "Ficha Técnica Estándar, Instructivo y Líneas de Corte para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas" la cual muestran las tablas A3,1 y A3,2 en donde se hallarán los factores de corrección por la unidad de peaje más cercana a la zona de estudio.

Luego de observar las tablas recientemente mencionadas procedemos a obtener los Factores de corrección de vehículos ligeros y pesados por unidad de peaje (FC) relativos al mes de setiembre debido a que en dicho mes se produjo la realización del aforo vehicular es así que se selecciona los valores del peaje más próximo a la zona de estudio, peaje Tomasiri de la ciudad de Tacna.

$$\text{FC Vehículos ligeros} = 0,8973$$

$$\text{FC Vehículos Pesados} = 0,9691$$

4.1.5. Índice Medio Diario anual

El volumen vehicular contabilizados durante un año en la vía local calle Tupac Amaru se encuentra representado por el Índice Medio Diario anual mostrado en la tabla 16.

Tabla 16

Índice Medio Diario

Tipo de Vehículo	IMDs	FC	IMD
Auto	1433	0,8973	1 286
Station Wagon	1488	0,8973	1 335
Camioneta Pick Up	310	0,8973	278
Camioneta Panel	246	0,8973	221
Combi Rural	198	0,8973	178
Micro	0	0,9691	0
Bus 2E	127	0,9691	123
Bus >=3E	0	0,9691	0
Camión 2E	54	0,9691	52
Camión 3E	11	0,9691	11
Camión 4E	0	0,9691	0
Semi Trayler 2S1/2S2	0	0,9691	0
Semi Trayler 2S3	0	0,9691	0
Semi Trayler 3S1/3S2	0	0,9691	0
Semi Trayler >=3S3	4	0,9691	4
Trayler 2T2	0	0,9691	0

(continúa)

Tabla 16 (continuación)

Tipo de Vehículo	IMDs	FC	IMD
Trayler 2T3	0	0,9691	0
Trayler 3T2	0	0,9691	0
Trayler >=3T3	0	0,9691	0
TOTAL	3 871		3 488
IMDa	1 273 120	vehículos por año	

4.1.6. Factor de carga equivalente por eje (EALF)

Para calcular el EALF por tipo de eje se puede usar las ecuaciones 2, 3 y 4 pero debido a lo tedioso que puede resultar la aplicación de estas ecuaciones se procederán a utilizar las tablas 3,10 3,11 y 3,12 de la guía (AASHTO, 1993, págs. 31-33). Se debe señalar que para emplear estas tablas se necesita como datos de entrada el índice de serviciabilidad final (p_t) y el espesor de la losa.

De acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Tacna 2014 – 2023 la calle Tupac Amaru del pueblo joven La Esperanza corresponde a una vía local entonces según la tabla 10 el índice de serviciabilidad final (p_t) es 2. Además, se asumirá un predimensionamiento de espesor de losa de concreto de 9 pulgadas, en consecuencia, los cálculos para los EALF por tipo y peso de eje se muestran en la tabla 17.

Tabla 17

EALF en pavimentos rígidos con p_t de 2 y espesor de losa de 9"

Eje	Peso máximo (ton)	Peso máximo (kips)	EALF*
Simple	7	15,4	0,522
Simple	11	24,3	3,682
Tándem	18	39,7	3,776
Trídem	25	55,1	4,58

Se debe mencionar que los valores de EALF* han sido calculados por el proceso de interpolación a partir de las tablas 3,10 3,11 y 3,12 de la guía AASHTO 93 siguiendo las consideraciones de serviciabilidad final y espesor de losa.

Obtenidos los valores de EALF por tipo y peso de eje se continua con el cálculo del EALF por tipo de unidad vehicular mediante la suma de los EALF de los ejes que componen a un determinado vehículo. A continuación, se presenta la tabla 18 que resume este proceso.

Tabla 18

Pesos reglamentarios y factores de carga equivalente por tipo de vehículo

Vehículo	Peso máximo (ton)				EALF			Σ EALF	
	Eje delantero	Ejes posteriores			0°	1°	2°		3°
	(0°)	1°	2°	3°	0°	1°	2°	3°	
Autos, Camionetas y Combis	0,9	0,9			0,0002	0,0002			0,0004
B2	7	11			0,522	3,682			4,204
C2	7	11			0,522	3,682			4,204
C3	7	18			0,522	3,776			4,298
T3S3	7	18	25		0,522	3,776	4,58		8,878

Luego procedemos a obtener el valor de $p_i F_i \times ADT_0$ el cual es equivalente al producto del número de repeticiones de un vehículo por su respectivo EALF. La tabla 19 muestra los resultados.

Tabla 19

Número de repeticiones de un vehículo por su respectivo EALF

Tipo de vehículo	IMD (vehículos/día)	EALF	$p_i F_i \times ADT_0$
Autos, Camionetas y Combis	3 298	0,0004	1,32
B2	123	4,204	517,09
C2	52	4,204	218,61
C3	11	4,298	47,28
T3S3	4	8,878	35,51

4.1.7. Factores de crecimiento vehicular (G)

A partir de la tabla 20 obtenemos:

Tasa de crecimiento anual de vehículos ligeros = 2,13%

Tasa de crecimiento anual de vehículos pesados = 2,36%

Tabla 20

Selección de tasa de crecimiento de vehículos ligeros y pesados

Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Ligeros (%)		Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos Pesados (%)	
Amazonas.	1,12	Amazonas.	2,69
Ancash.	2,33	Ancash.	1,49
Apurímac.	1,13	Apurímac.	4,5
Arequipa.	2,9	Arequipa.	2,97
Ayacucho.	1,83	Ayacucho.	2,9
Cajamarca.	3,05	Cajamarca.	1,45
Cusco.	2,77	Cusco.	3,07
Huancavelica.	1,17	Huancavelica.	2
Huánuco.	1,94	Huánuco.	3,03
Ica.	1,1	Ica.	2,62
Junín.	2,04	Junín.	2,84
La Libertad.	2,61	La Libertad.	2,21
Lambayeque.	2,4	Lambayeque.	2,54
Lima Provincias.	2,61	Lima Provincias.	2,34
Loreto.	0,12	Loreto.	1,48
Madre de Dios.	2,22	Madre de Dios.	1,38
Moquegua.	1,97	Moquegua.	0,58
Pasco.	1,72	Pasco.	0,39
Piura.	2,38	Piura.	2,37
Puno.	2,47	Puno.	2,58
San Martín.	2,11	San Martín.	2,88
Tacna.	2,13	Tacna.	2,36
Tumbes.	0,81	Tumbes.	2,4
Ucayali.	1,73	Ucayali.	2,25

Nota. Adaptado de la ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas del MTC, del sitio web [Ficha Técnica MTC](#).

Una vez obtenidos las tasas de crecimiento es necesario definir el periodo de diseño, considerando la tesis de pregrado de Vega (2018) en donde diseño el pavimento rígido para la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas la cual pertenece a la red vial internacional en donde contabilizo un volumen vehicular de 3 313 vehículos/día el investigador definió el periodo de diseño para 15 años además teniendo presente que la Sub Gerencia de Estudios del Gobierno Regional de Tacna para la obra “Creación del intercambio vial en la Av. Jorge Basadre Grohmann intersecciones con Av. Tarata e Internacional, Distrito de Alto de la Alianza – Provincia de Tacna – Departamento de Tacna” considero un periodo de diseño de 20 para pavimento rígido contando con flujos vehiculares entre 7 660 vehículos/día y 13 434 vehículos/día para sus ocho estaciones de conteo por tanto se concluye que para la presente investigación

se considerara un periodo de 20 años debido a que el flujo vehicular de la zona en estudio asciende a 3 488 vehículos/día.

Luego reemplazando las tasas de crecimiento respectivas y el periodo de diseño en la ecuación 5 obtenemos:

$$\text{Factor de crecimiento de vehículos ligeros} = 24,61$$

$$\text{Factor de crecimiento de vehículos pesados} = 25,19$$

4.1.8. Factor direccional (D) y factor carril (L)

Debido a que la calle Tupac Amaru consta de una calzada con dos sentidos y un solo carril por sentido entonces en conformidad con la tabla 21 se obtiene:

$$\text{Factor direccional (D)} = 0,5$$

$$\text{Factor carril (L)} = 1$$

Tabla 21

Selección de los Factores de Distribución Direccional y de Carril

Numero de calzadas	Numero de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (D)	Factor Carril (L)	Factor Ponderado DxL para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0,8	0,8
	1 sentido	3	1	0,6	0,6
	1 sentido	4	1	0,5	0,5
	2 sentidos	1	0,5	1	0,5
	2 sentidos	2	0,5	0,8	0,4
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,5	1	0,5
	2 sentidos	2	0,5	0,8	0,4
	2 sentidos	3	0,5	0,6	0,3
	2 sentidos	4	0,5	0,5	0,25

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

4.1.9. ESAL

El ESAL es el indicador que mide la cantidad de ejes equivalentes que soportará el pavimento en el tiempo de diseño. Para hallar este valor, se requiere conocer los datos previamente obtenidos y posteriormente ser reemplazados en la ecuación 7.

A continuación, se muestra la tabla 22 en la cual se observa que el resultado obtenido corresponde 3 768 670,31 EE.

Tabla 22

ESALs

Tipo de vehículo	$p_i F_i \times ADT_0$ (P)	Factor de crecimiento (G)	Factor direccional (D)	Factor carril (L)	ESAL ($365 \cdot P \cdot G \cdot D \cdot L$)
Autos, Camionetas y Combis	1,32	24,61	0,5	1	5 928,55
B2	517,09	25,19	0,5	1	2 377 153,22
C2	218,61	25,19	0,5	1	1 004 988,43
C3	47,28	25,19	0,5	1	217 354,43
T3S3	35,51	25,19	0,5	1	163 245,68
				Σ	3 768 670,31

4.2. CBR de diseño para subrasante

El ensayo del CBR se realizó de acuerdo a los lineamientos propuestos por las normas ASTM D-1883 Y LA MTC E-132 que tiene como finalidad determinar la capacidad de soportar la presión del suelo para analizar la resistencia de la subrasante, estos resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23*Resultados del ensayo CBR*

Coordenadas UTM WGS-84		CBR al 95%
Este	Norte	
368222	8010245	7,7
368187	8010184	8,2
368154	8010136	7,9

Nota. HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. (2023).

A continuación, se presenta la tabla 24 en donde se calcula el CBR de diseño en función de los valores percentiles de las cantidades individuales así mismo se indica que este método es sugerido por la guía AASHTO 93.

Tabla 24*Valores percentiles de CBR*

CBR %	N° Valores \geq a CBR	Percentil %
7,7	3	100
7,9	2	66,67
8,2	1	33,33

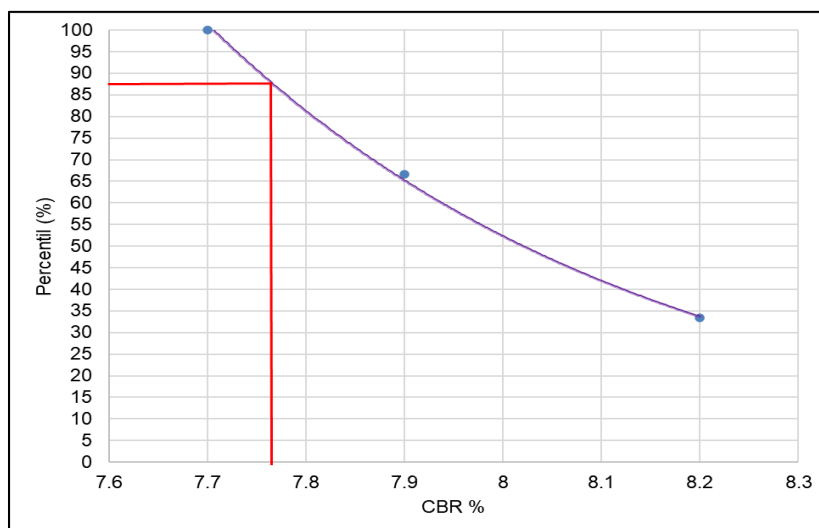
La tabla 25 muestra la selección del percentil de diseño lo cual para la presente investigación vendría a ser 87,5% debido a que el nivel de transito es superior a tres millones.

Tabla 25*Percentiles de diseño*

Valor percentil a nivel de trafico	
Nivel del Tránsito (ESAL)	Percentil de Diseño (%)
10 ⁴ o Menos	60
Entre 10 ⁴ y 10 ⁶	75
10 ⁶ o Más	87,5

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Se aprecia en la figura 19 el CBR de diseño para la subrasante el cual corresponde a 7.7%.

Figura 19*Percentil y CBR de diseño obtenido*

4.3. Diseño de pavimento rígido por el método PCA

4.3.1. Módulo de rotura del concreto (S_c)

Para calcular el módulo de rotura a los 28 días del concreto (S_c) usaremos la ecuación 8 así mismo siguiendo los lineamientos del ACI 363R-92 respecto al factor (α) indica que fluctúa entre 1,99 y 3,18 por tanto tomaremos el promedio es decir $\alpha = 2,585$. La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días es 280 kg/cm² de acuerdo a las recomendaciones del MTC para valores de ESAL menores a 5×10^6 el cual se aprecia en la tabla 26.

$$S_c = \alpha \sqrt{f'_c}$$

$$S_c = 2.585 \sqrt{280}$$

$$S_c = 43.26 \text{ kg/cm}^2 = 4.2 \text{ Mpa}$$

Tabla 26

Valores de Resistencia del Concreto recomendados según rango de tráfico

Rangos de tráfico expresado en EE	Resistencia mínima a la flexotracción del concreto (MR)	Resistencia mínima equivalente a la compresión del concreto (f'_c)
$\leq 5'000,000$ EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
$> 5'000,000$ EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
$\leq 15'000,000$ EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²
$> 15'000,000$ EE		

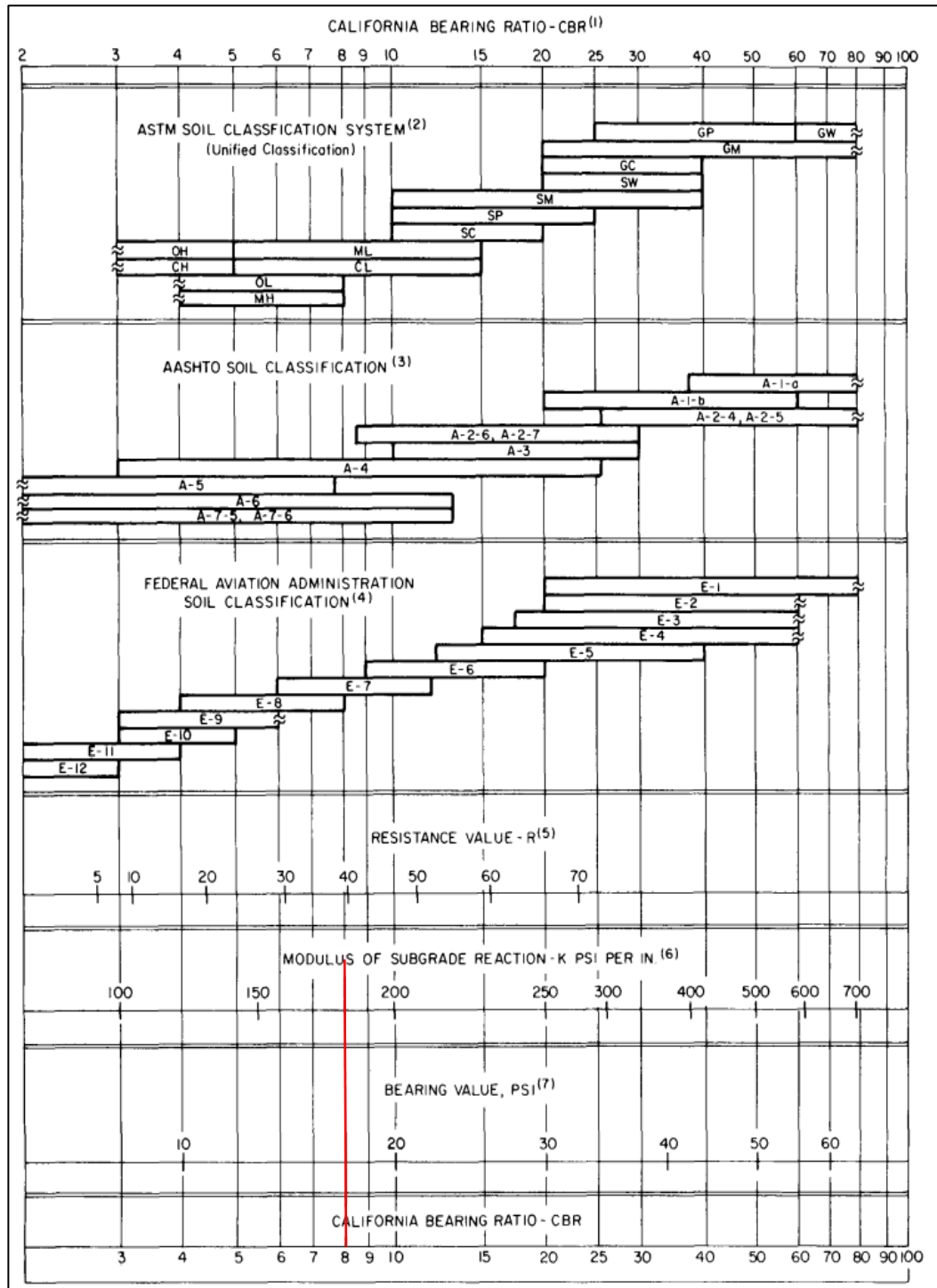
Nota. Adaptado del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2014).

4.3.2. Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)

La resistencia estructural que posee la subrasante de soportar esfuerzos se expresa por medio del módulo de reacción efectiva de la subrasante (K). Como se observa en la figura 20, teniendo un CBR de 7,7% entonces el módulo de reacción de la subrasante adquiere el valor de 180 pci.

Figura 20

Selección del módulo de reacción de la subrasante en función del CBR



Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984).

En la presente investigación se considera un diseño de pavimento rígido con subbase entonces de acuerdo a la tabla 27 para el valor k de 180 pci y un

predimensionamiento de subbase de 12" obtenemos por interpolación al módulo de reacción efectiva de la subrasante (K) el valor de 294 pci o 79,67 Mpa/m.

Tabla 27

Selección del módulo de reacción efectiva de la subrasante (K)

Valor k de la subrasante (pci)	Valor K efectivo (pci)			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 6

4.3.3. Factor de seguridad de carga (LSF)

Para el exceso de peso en camiones, los cuales no están proyectados en la tabla de pesos y medidas del Reglamento Nacional de Vehículos, la guía PCA (1984) presenta la aplicación del factor de seguridad de carga (LSF).

De acuerdo a la PCA (1984) se utilizará como LSF = 1,0 (pág. 10).

4.3.4. Repeticiones esperadas por tipo y peso de cada eje

El primer paso es definir la disposición de los ejes de carga; esto significa identificar los tipos de ejes que transitarán por la vía y la carga máxima permitida para cada uno según el vehículo al que corresponden. A continuación, se presenta la tabla 28 que muestra estos resultados.

Tabla 28*IMD (ambos sentidos) y pesos reglamentarios por eje (ton)*

Tipo de vehículo	IMD	Peso máximo (ton)			
		Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores		
			1°	2°	3°
Autos, Camionetas y Combis	3 298	0,9	0,9		
B2	123	7	11		
C2	52	7	11		
C3	11	7	18		
T3S3	4	7	18	25	

A continuación, se hace el recuento de las repeticiones por tipo y peso de cada eje según se indica en la tabla 29.

Tabla 29*Repeticiones por tipo y peso de cada eje*

Tipo y peso de eje	Eje simple (ton)			Eje tándem (ton)	Eje trídem (ton)
	0.9	7	11	18	25
Repeticiones actuales	6 596	190	175	15	4

Aplicando la ecuación 5 procedemos a obtener el factor de crecimiento (G) para vehículos ligeros y pesados, contando con las tasas de crecimiento anual de tráfico de vehículos ligeros y pesados de 2,13% y 2,36% respectivamente las cuales fueron obtenidas en la tabla 1 además de considerar el periodo de diseño de 20 años obtenemos:

Factor de crecimiento de vehículos ligeros = 24,61

Factor de crecimiento de vehículos pesados = 25,19

Debido a que en el ítem 4.1.8 se calcularon los factores de dirección y de carril, luego se exhiben los resultados conseguidos:

Factor direccional (D) = 0,5

Factor carril (L) = 1

Finalmente empleando la ecuación 6 se hallan las repeticiones esperadas acumuladas al periodo de diseño establecido para 20 años, los resultados se muestran en la tabla 30.

Tabla 30

Repeticiones esperadas por tipo y peso de cada eje

Tipo y peso de eje		Repeticiones actuales (R)	Factor de crecimiento (G)	Factor direccional (D)	Factor carril (L)	Repeticiones esperadas ($365 \cdot R \cdot G \cdot D \cdot L$)
Eje simple (ton)	0,9 7 11	6 596 190 175	24,61 25,19 25,19	0,5 0,5 0,5	1 1 1	29 624 779,70 873 463,25 804 505,63
Eje tándem (ton)	18	15	25,19	0,5	1	68 957,63
Eje trídem (ton)	25	4	25,19	0,5	1	18 388,70

4.3.5. Análisis por fatiga

Para el análisis por fatiga se considerará un pavimento con bermas de concreto y con un espesor de predimensionamiento de losa de 9" luego con el valor K de la subrasante correspondiente a 294 pci, se obtiene por interpolación a través de la tabla 31 los esfuerzos equivalentes para los ejes simple y tándem 1,09 Mpa y 0,93 Mpa respectivamente.

Tabla 31

Selección del esfuerzo equivalente en pavimento con berma de concreto

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	409/388	383/384
4,5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	355/322	333/316
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	311/274	294/267
5,5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	276/238	261/231
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	247/210	234/203
6,5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	223/188	212/ 180
7	302/270	266/230	248/210	236/ 198	220/ 184	203/ 170	192/162
7,5	275/250	243/211	226/ 193	215/182	201/ 168	185/ 155	176/ 148
8	252/232	222/196	207/179	197/ 168	185/ 155	170/ 142	162/ 135
8,5	232/216	205/182	191/ 166	182/ 156	170/144	157/131	150/ 125
9	215/202	190/171	177/ 155	169/ 146	158/134	146/122	139/116
9,5	200/190	176/160	164/146	157/137	147/126	136/114	129/ 108

(continúa)

Tabla 31 (continuación)

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
10	186/179	164/ 151	153/137	146/ 129	137/118	127/107	121/101
10,5	174/ 170	154/ 143	144/ 130	137/ 121	128/ 111	119/ 101	113/95
11	164/ 161	144/ 135	135/ 123	129/ 115	120/105	112/95	106/90
11,5	154/ 153	136/ 128	127/ 117	121/ 109	113/100	105/90	100/85
12	145/ 146	128/ 122	120/111	114/ 104	107/95	99/86	95/81
12,5	137/ 139	121/ 117	113/ 106	108/99	101/91	94/82	90/77
13	130/133	115/ 112	107/ 101	102/95	96/86	89/78	85/73
13,5	124/127	109/ 107	102/97	97/91	91/83	85/74	81/70
14	118/ 122	104/ 103	97/93	93/87	87/79	81/71	77/67

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 14.

Así mismo para obtener el esfuerzo equivalente para el eje trídrem se utilizará la tabla 32 obteniéndose así el valor de 0,73 Mpa.

Tabla 32

Esfuerzo equivalente en pavimento sin o con berma de concreto

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	510/431	456/392	437/377	428/369	419/362	414/360	412/359
4.5	439/365	380/328	359/313	349/305	339/297	331/292	328/291
5	387/317	328/281	305/266	293/258	282/250	272/244	269/242
5.5	347/279	290/246	266/231	253/223	240/214	230/208	226/206
6	315/249	261/218	237/204	223/196	209/187	198/180	193/178
6.5	289/225	238/196	214/183	201/175	186/166	173/159	168/156
7	267/204	219/178	196/165	183/158	167/149	154/142	148/138
7.5	247/187	203/162	181/151	168/143	153/135	139/127	132/124
8	230/172	189/149	168/138	156/131	141/123	126/116	120/112
8.5	215/159	177/138	158/128	145/121	131/113	116/106	109/102
9	200/147	166/128	148/119	136/112	122/105	108/98	101/94
9.5	187/137	157/120	140/111	129/105	115/98	101/91	93/87
10	174/127	148/112	132/104	122/98	108/91	95/84	87/81
10.5	163/119	140/105	125/97	115/92	103/86	89/79	82/76
11	153/111	132/99	119/92	110/87	98/81	85/74	78/71
11.5	142/104	125/93	113/86	104/82	93/76	80/70	74/67
12	133/97	119/88	108/82	100/78	89/72	77/66	70/63
12.5	123/91	113/83	103/78	95/74	85/68	73/63	67/60
13	114/85	107/79	98/74	91/70	81/65	70/60	64/57

(continúa)

Tabla 32 (continuación)

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
13.5	105/80	101/75	93/70	87/67	78/62	67/57	61/54
14	97/75	96/71	89/67	83/63	75/59	65/54	59/51

Nota. Nota. Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 40.

Luego se calculan los factores de relación de esfuerzo, que son el resultado de dividir los esfuerzos equivalentes de cada eje por el módulo de rotura del concreto $S_c = 4,2$ Mpa. Los valores calculados del análisis por fatiga se resumen en la tabla 33.

Tabla 33

Esfuerzo equivalente y factor de relación de esfuerzo por tipo de eje

Tipo de eje	Esfuerzo equivalente (Mpa)	Factor de relación de esfuerzo
Simple	1,09	0,2595
Tándem	0,93	0,2214
Trídem	0,73	0,1738

También la guía PCA (1984) plantea que se tiene que determinar un número permisible de repeticiones de carga, para el caso del análisis por fatiga se usara la figura 21 en donde se necesitan valores de ingreso como carga de diseño para eje simple y tándem además del factor de relación esfuerzo correspondiente al tipo de eje. Es necesario mencionar que si el punto de encuentro de las líneas se produce fuera de la parte superior de la carta se le considerara ilimitada.

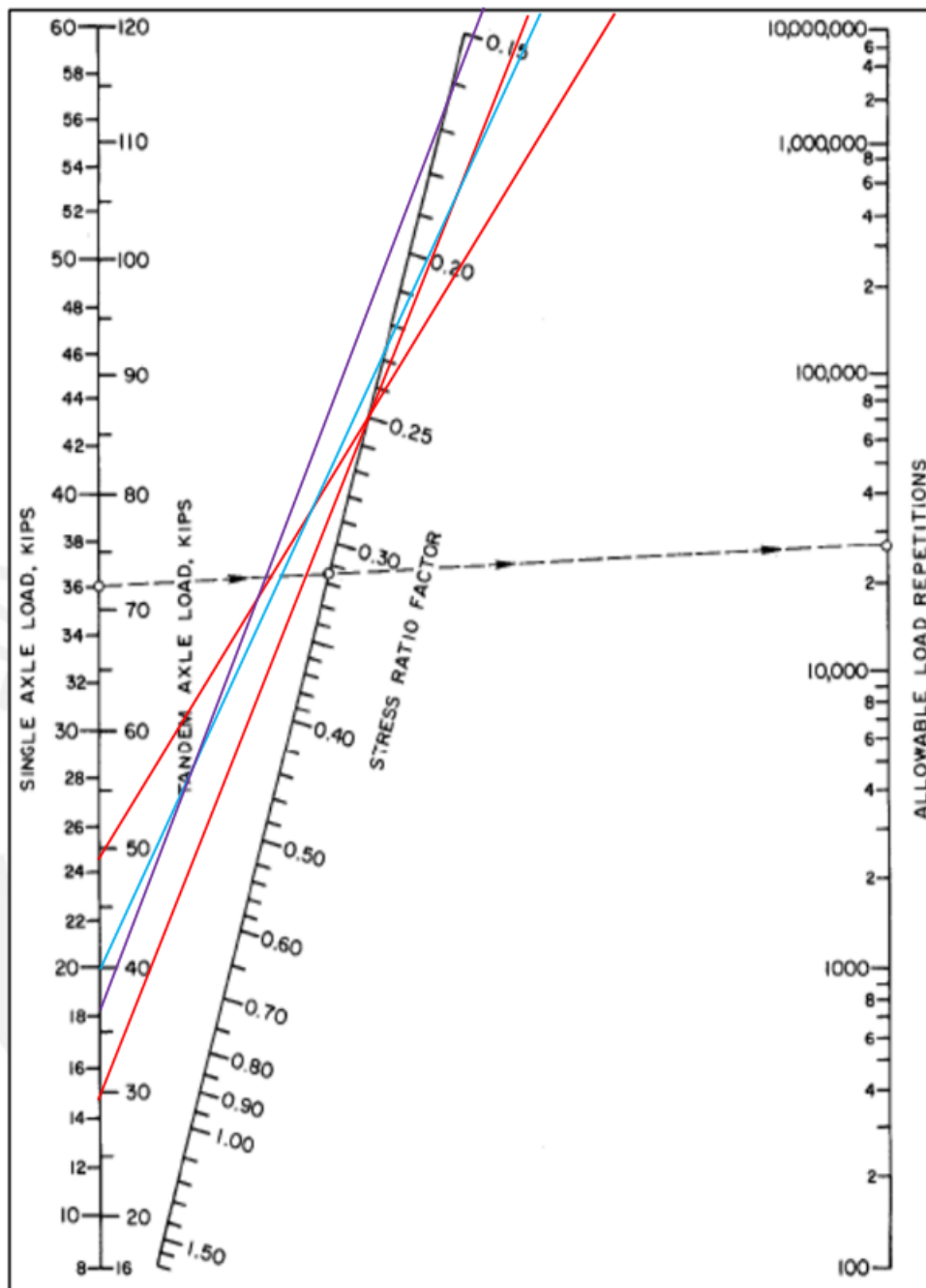
Se observa en la tabla 34 el número permisible de repeticiones para las cargas de eje simple, tándem y trídem obtenidas durante el conteo vehicular además el factor de seguridad es $LSF=1$.

Tabla 34*Repeticiones admisibles en el análisis por fatiga*

	Carga por eje (Tn)	Carga x LSF (kips)	Factor de esfuerzo	Repeticiones admisibles
	0,9	1,98	0,2595	ilimitado
Eje simple	7	15,43	0,2595	ilimitado
	11	24,25	0,2595	ilimitado
Eje Tándem	18	39,68	0,2214	ilimitado
Eje Trídem	25	55,12	0,1738	ilimitado

Figura 21

Repeticiones permisibles en pavimentos con y sin berma de concreto



Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 15.

4.3.6. Análisis por erosión

Ahora seguimos con el análisis por erosión en donde se necesita encontrar los factores de erosión para los ejes simple, tándem y trídem; para ello haremos uso de la

tabla 35 en donde necesitamos como datos de entrada el predimensionamiento del espesor de la losa y el valor K de la subrasante.

Previamente se consideró un predimensionamiento de espesor de losa de 9" adema el valor K efectivo de la subrasante se encontró anteriormente correspondiente a 294 pci, interpolamos en la tabla 35 para obtener los factores de erosión de los ejes simple y tándem, que son 2,192 y 2,274 respectivamente.

Tabla 35

Factores de erosión en pavimentos rígidos con dowels y con bermas de concreto

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,28/3,30	3,24/3,20	3,21/3,13	3,19/3,10	3,15/3,09	3,12/3,08
4,5	3,13/3,19	3,09/3,08	3,06/3,00	3,04/2,96	3,01/2,93	2,98/2,91
5	3,01/3,09	2,97/2,98	2,93/2,89	2,90/2,84	2,87/2,79	2,85/2,77
5,5	2,90/3,01	2,85/2,89	2,81/2,79	2,79/2,74	2,76/2,68	2,73/2,65
6	2,79/2,93	2,75/2,82	2,70/2,71	2,68/2,65	2,65/2,58	2,62/2,54
6,5	2,70/2,86	2,65/2,75	2,61/2,63	2,58/2,57	2,55/2,50	2,52/2,45
7	2,61/2,79	2,56/2,68	2,52/2,56	2,49/2,50	2,46/2,42	2,43/2,38
7,5	2,53/2,73	2,48/2,62	2,44/2,50	2,41/2,44	2,38/2,36	2,35/2,31
8	2,46/2,68	2,41/2,56	2,36/2,44	2,33/2,38	2,30/2,30	2,27/2,24
8,5	2,39/2,62	2,34/2,51	2,29/2,39	2,26/2,32	2,22/2,24	2,20/2,18
9	2,32/2,57	2,27/2,46	2,22/2,34	2,19/2,27	2,16/2,19	2,13/2,13
9,5	2,26/2,52	2,21/2,41	2,16/2,29	2,13/2,22	2,09/2,14	2,07/2,08
10	2,20/2,47	2,15/2,36	2,10/2,25	2,07/2,18	2,03/2,09	2,01/2,03
10,5	2,15/2,43	2,09/2,32	2,04/2,20	2,01/2,14	1,97/2,05	1,95/1,99
11	2,10/2,39	2,04/2,28	1,99/2,16	1,95/2,09	1,92/2,01	1,89/1,95
11,5	2,05/2,35	1,99/2,24	1,93/2,12	1,90/2,05	1,87/1,97	1,84/1,91
12	2,00/2,31	1,94/2,20	1,88/2,09	1,85/2,02	1,82/1,93	1,79/1,87
12,5	1,95/2,27	1,89/2,16	1,84/2,05	1,81/1,98	1,77/1,89	1,74/1,84
13	1,91/2,23	1,85/2,13	1,79/2,01	1,76/1,95	1,72/1,86	1,70/1,80
13,5	1,86/2,20	1,81/2,09	1,75/1,98	1,72/1,91	1,68/1,83	1,65/1,77
14	1,82/2,17	1,76/2,06	1,71/1,95	1,67/1,88	1,64/1,80	1,61/1,74

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 18.

Para encontrar el factor de erosión para el eje trídem usaremos la tabla 36 de la guía PCA (1984) obteniendo así por interpolación el valor de 2,345.

Tabla 36

Factor de erosión en pav. rígidos con dowels, sin o con bermas de concreto

Espesor de losa (pulg.)	K de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,89/3,33	3,82/3,20	3,75/3,13	3,70/3,10	3,61/3,05	3,53/3,00
4,5	3,78/3,24	3,69/3,10	3,62/2,99	3,57/2,95	3,50/2,91	3,44/2,87
5	3,68/3,16	3,58/3,01	3,50/2,89	3,46/2,83	3,40/2,79	3,34/2,75
5,5	3,59/3,09	3,49/2,94	3,40/2,80	3,36/2,74	3,30/2,67	3,25/2,64
6	3,51/3,03	3,40/2,87	3,31/2,73	3,26/2,66	3,21/2,58	3,16/2,54
6,5	3,44/2,97	3,33/2,82	3,23/2,67	3,18/2,59	3,12/2,50	3,08/2,45
7	3,37/2,92	3,26/2,76	3,16/2,61	3,10/2,53	3,04/2,43	3,00/2,37
7,5	3,31/2,87	3,20/2,72	3,09/2,56	3,03/2,47	2,97/2,37	2,93/2,31
8	3,26/2,83	3,14/2,67	3,03/2,51	2,97/2,42	2,90/2,32	2,86/2,25
8,5	3,20/2,79	3,09/2,63	2,97/2,47	2,91/2,38	2,84/2,27	2,79/2,20
9	3,15/2,75	3,04/2,59	2,92/2,43	2,86/2,34	2,78/2,23	2,73/2,15
9,5	3,11/2,71	2,99/2,55	2,87/2,39	2,81/2,30	2,73/2,18	2,68/2,11
10	3,06/2,67	2,94/2,51	2,83/2,35	2,76/2,26	2,68/2,15	2,63/2,07
10,5	3,02/2,64	2,90/2,48	2,78/2,32	2,72/2,23	2,64/2,11	2,58/2,04
11	2,98/2,60	2,86/2,45	2,74/2,29	2,68/2,20	2,59/2,08	2,54/2,00
11,5	2,94/2,57	2,82/2,42	2,70/2,26	2,64/2,16	2,55/2,05	2,50/1,97
12	2,91/2,54	2,79/2,39	2,67/2,23	2,60/2,13	2,51/2,02	2,46/1,94
12,5	2,87/2,51	2,75/2,36	2,63/2,20	2,56/2,11	2,48/1,99	2,42/1,91
13	2,84/2,48	2,72/2,33	2,60/2,17	2,53/2,08	2,44/1,96	2,39/1,88
13,5	2,81/2,46	2,68/2,30	2,56/2,14	2,49/2,05	2,41/1,93	2,35/1,86
14	2,78/2,43	2,65/2,28	2,53/2,12	2,46/2,03	2,38/1,91	2,32/1,83

Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 18.

En la tabla 37 se presentan el resumen de los valores obtenidos del análisis por erosión:

Tabla 37

Resumen de los factores de erosión por eje

Tipo de eje	Factor de erosión
Simple	2,192
Tándem	2,274
Trídem	2,345

Para determinar el número de repeticiones permisible se utilizará la figura 22 en donde se necesitan valores de ingreso como carga de diseño para eje simple, tándem y trídem además del factor de erosión correspondiente al tipo de eje.

Se observa en la tabla 38 el número permisible de repeticiones para las cargas de eje simple, tándem y trídem obtenidos en el análisis por erosión.

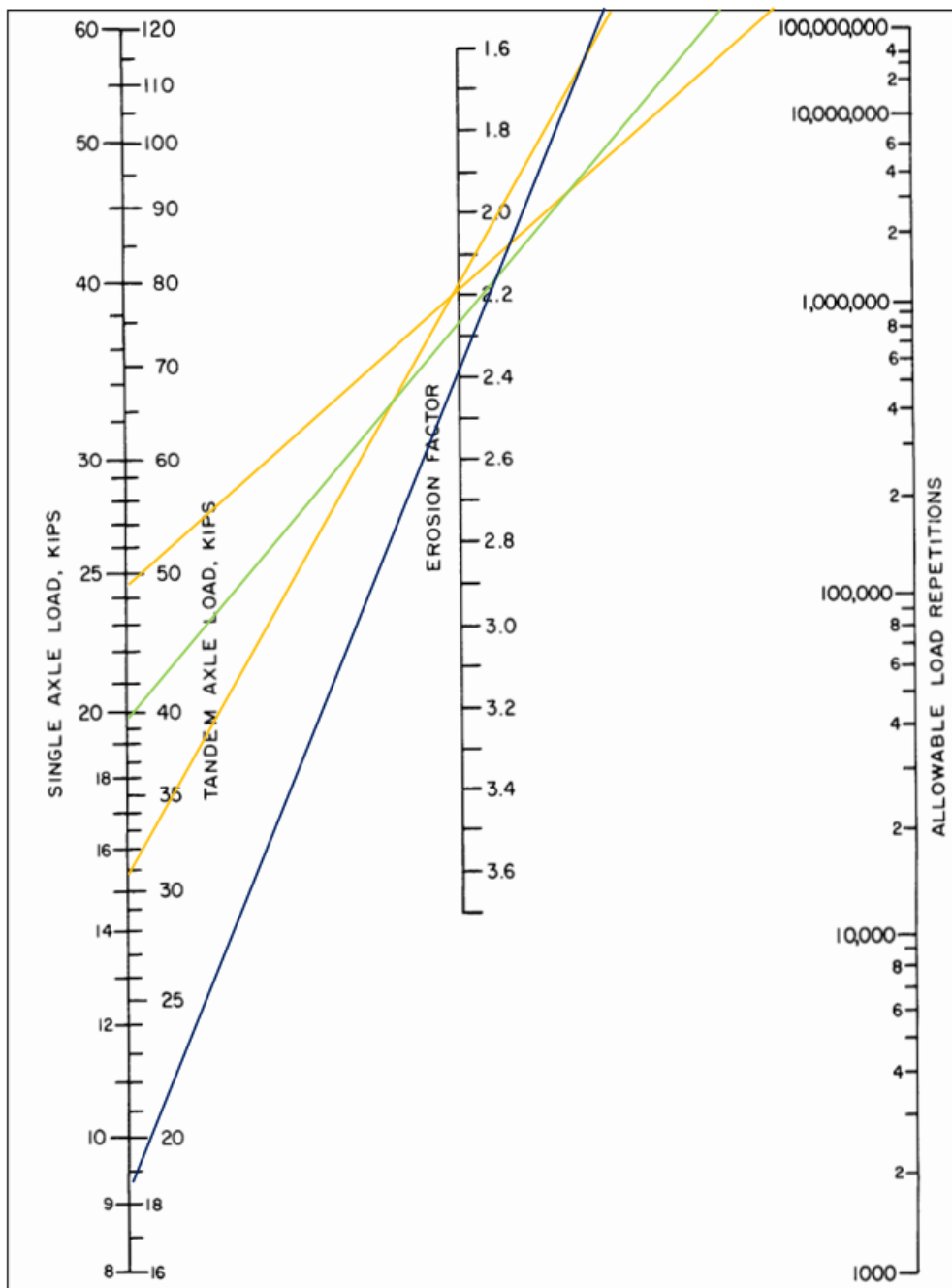
Tabla 38

Repeticiones admisibles por eje en el análisis por erosión

	Carga por eje (Tn)	Carga por eje (kips)	Factor de erosión	Repeticiones admisibles
	0,9	1,98	2,192	ilimitado
Eje simple	7	15,43	2,192	ilimitado
	11	24,25	2,192	ilimitado
Eje Tándem	18	39,68	2,274	ilimitado
Eje Trídem	25	55,12	2,345	ilimitado

Figura 22

Repeticiones admisibles en pavimentos con berma de concreto



Nota. Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. (1984), pp. 19.

4.3.7. Cálculo de espesores

Finalmente, la tabla 39 muestra y sintetiza todos los datos obtenidos previamente además de los valores encontrados durante el análisis por fatiga y erosión.

Tabla 39*Cálculo de espesor de losa de concreto e=9 in*

Espesor de losa (in)	9			Juntas con dowels	Si
K efectivo (pci)	294			Bermas de concreto	Si
Módulo de rotura (Mpa)	4,2			Periodo de diseño	20 años
Factor de seguridad LSF	1,0				

Carga por eje (Tn)	Carga x LSF (kips)	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de erosión
Ejes simples	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,090			
	Factor de esfuerzo		0,2595			
	Factor de erosión		2,192			
0,9	1,98	29 624 779,70	ilimitado	0	ilimitado	0
7	15,43	873 463	ilimitado	0	ilimitado	0
11	24,25	804 506	ilimitado	0	ilimitado	0
Eje tándem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		0,93			
	Factor de esfuerzo		0,2214			
	Factor de erosión		2,274			
18	39,68	68 958	ilimitado	0	ilimitado	0
Eje trídem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		0,73			
	Factor de esfuerzo		0,1738			
	Factor de erosión		2,345			
25	55,12	18 389	ilimitado	0	ilimitado	0
Total				0		0

Como se puede apreciar en la tabla 39 el diseño de losa con espesor de 9 in cumple holgadamente con los análisis por fatiga y erosión, pero dicho espesor al ser alto puede incurrir en un incremento del costo por tanto procederemos a probar con un espesor de losa de 7 in para comprobar si cumple con los análisis de fatiga y erosión requeridos. La obtención de las repeticiones admisibles para el análisis por fatiga y erosión del espesor de 7 in son presentadas en el anexo 12 y 13 respectivamente.

Tabla 40Cálculo de espesor de losa de concreto $e=7$ in

Espesor de losa (in)	7	Juntas con dowels	Si
K efectivo (pci)	294	Bermas de concreto	Si
Módulo de rotura (Mpa)	4,2	Periodo de diseño	20 años
Factor de seguridad LSF	1,0		

Carga por eje (Tn)	Carga x LSF (kips)	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de erosión
Ejes simples	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,52			
	Factor de esfuerzo		0,3619			
	Factor de erosión		2,492			
0,9	1,98	29 624 779,70	ilimitado	0	ilimitado	0
7	15,43	873 463	ilimitado	0	ilimitado	0
11	24,25	804 506	1 500 000	53,63	3,900,000	20,63
Eje tándem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,27			
	Factor de esfuerzo		0,3024			
	Factor de erosión		2,504			
18	39,68	68 958	ilimitado	0	ilimitado	0
Eje trídem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,03			
	Factor de esfuerzo		0,2452			
	Factor de erosión		2,535			
25	55,12	18 389	ilimitado	0	ilimitado	0
Total				54		21

Se aprecia en la tabla 40 que el diseño de losa con espesor 7 in no cumple el análisis por fatiga debido a que presenta un exceso de 54% en fatiga por tanto se procederá a probar con un espesor de losa 7.5 in. La obtención de las repeticiones admisibles para el análisis por fatiga y erosión del espesor de 7.5 in son presentadas en el anexo 14 y 15 respectivamente.

Tabla 41*Cálculo de espesor de losa de concreto e=7.5 in*

Espesor de losa (in)	7,5			Juntas con dowels	Si
K efectivo (pci)	294			Bermas de concreto	Si
Módulo de rotura (Mpa)	4,2			Periodo de diseño	20 años
Factor de seguridad LSF	1.0				

Carga por eje (Tn)	Carga x LSF (kips)	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de erosión
Ejes simples	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,39			
	Factor de esfuerzo		0,3310			
	Factor de erosión		2,412			
0,9	1,98	29 624 779,70	ilimitado	0	ilimitado	0
7	15,43	873 463	ilimitado	0	ilimitado	0
11	24,25	804 506	ilimitado	0	9 000 000	8,94
Eje tándem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		1,16			
	Factor de esfuerzo		0,2762			
	Factor de erosión		2,44			
18	39,68	68 958	ilimitado	0	ilimitado	0
Eje trídem	Esfuerzo equivalente (Mpa)		0,93			
	Factor de esfuerzo		0,2214			
	Factor de erosión		2,475			
25	55,12	18 389	ilimitado	0	ilimitado	0
Total				0		9

Como se aprecia en la tabla 41 para el espesor de losa de concreto de 7.5 in cumple con el análisis por fatiga y el porcentaje de erosión mínimo calculado no influye significativamente en el diseño por tanto cumple con los requerimientos.

Se presenta la figura 23 en donde se aprecia la sección de pavimento rígido por método PCA.

Figura 23

Sección de pavimento rígido por método PCA

LOSA DE CONCRETO	Espesor: 19 cm. Pavimento de concreto. f'c 280 kg/cm²
SUBBASE	Espesor: 30 cm. CBR mínimo 30%
SUBRASANTE	Espesor compactado 25 cm. CBR 7.7%

4.3.8. Dimensionamiento de losas y dowels

El ancho de carril de la vía local en estudio es 2,70 m entonces por la tabla 42 la longitud de la losa será de 3,30 m expresado en otros términos la separación de los carriles por donde circulan los vehículos se hará mediante una junta de contracción longitudinal y las juntas de contracción transversales se colocarán cada 3,30 m de distancia.

Tabla 42

Longitud de losa en base al ancho de carril

Ancho de carril (m) = Ancho de losa (m)	Longitud de losa (m)
2,70	3,30
3,00	3,70
3,30	4,10
3,60	4,50

Nota. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

En relación con la tabla 43 para el espesor calculado de losa de concreto de 19 cm se usarán dowels de una pulgada de grosor y 41 cm de largo, que se colocan a una distancia de 30 cm entre sí.

Tabla 43*Parámetros de detalles recomendados en dowels*

Rango espesor de losa (mm)	Diámetro		Separación entre pasadores (mm)	Longitud del pasador o dowels (mm)
	mm	pulgada		
150-200	25	1"	300	410
200-300	32	1 1/4"	300	460
300-430	38	1 1/2"	380	510

Nota. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

Según la tabla 44 para la junta de contracción longitudinal las barras de amarre que se usarán son de 1/2" (1,27 cm) de grosor y 74 cm de largo además se distribuyen a una separación de 0,76 m.

Tabla 44*Parámetros de detalles recomendados en dowels*

Espesor de losa (cm)	Tamaño de varilla (cm) Diam. x Long.	Diámetro de la junta al extremo libre	
		3.00 m	3.60 m
15	1,27 x 66	@ 76cm	@ 76cm
16	1,27 x 69	@ 76cm	@ 76cm
17	1,27 x 70	@ 76cm	@ 76cm
18	1,27 x 71	@ 76cm	@ 76cm
19	1,27 x 74	@ 76cm	@ 76cm
20	1,27 x 76	@ 76cm	@ 76cm
21	1,27 x 78	@ 76cm	@ 76cm
22	1,27 x 79	@ 76cm	@ 76cm
23	1,59 x 76	@ 91cm	@ 91cm
24	1,59 x 79	@ 91cm	@ 91cm
25	1,59 x 81	@ 91cm	@ 91cm
26	1,59 x 82	@ 91cm	@ 91cm
27	1,59 x 84	@ 91cm	@ 91cm
28	1,59 x 86	@ 91cm	@ 91cm
29	1,59 x 89	@ 91cm	@ 91cm
30	1,59 x 91	@ 91cm	@ 91cm

Nota. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

4.4. Diseño de pavimento rígido por el método AASHTO 1993

4.4.1. Tránsito de diseño

Como se vio en el apartado de estudio de tráfico, el valor de los ejes equivalentes (ESAL) que se usara para el diseño del pavimento es 3 768 670,31 EE. Este número representa el total de ejes individuales de 8,2 toneladas que producen el mismo efecto que el tráfico real sobre la estructura del pavimento.

4.4.2. Confiabilidad

Se determino el valor de la confiabilidad recomendados por el manual de la AASHTO que se muestran en la tabla 45, se tomó en cuenta la función que cumple la vía que se está analizando (vía local).

Tabla 45

Selección del valor de Confiabilidad

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Autopistas Interestatales y otras autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Debido a que el valor de la confiabilidad escogido oscila entre 50 y 80% elegimos un valor promedio de 65%. Así mismo el nivel de confiabilidad no es un factor que se utilice en la ecuación 10, para esto debemos encontrar la Desviación Normal Estándar la cual se obtiene conociendo el nivel de confiabilidad por lo tanto se muestra la tabla 46 para encontrar el mencionado valor por interpolación.

60_____	-0,253
65_____	ZR
70_____	-0,524
→ ZR =	-0,389

Tabla 46*Selección de la Desviación Normal Estándar*

Confiabilidad, R (%)	Desviación normal estándar, ZR
50	0
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,34
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	-3,09
99,99	-3,75

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

4.4.3. Desviación estándar combinada (So)

De acuerdo a la guía de la AASHTO (1993) aconseja emplear un valor de 0,34 para pavimentos rígidos que dispongan de conteo vehicular (págs. I-62).

$$So = 0,34$$

4.4.4. Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI)

En conformidad con la guía AASHTO (1993) recomienda emplear una serviciabilidad inicial (p_o) de 4,5 para pavimentos de concreto (págs. I-8)

Según Ministerio de Vivienda (2010) indica valores de uso para la serviciabilidad final (p_t) en base a la categorización funcional del conjunto de vías urbanas (pág. 31). Por lo cual se muestra la tabla 47 en donde se obtiene $p_t = 2,00$.

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

$$\Delta PSI = 4,5 - 2,0$$

$$\Delta PSI = 2,5$$

Tabla 47*Selección del Índice de Serviciabilidad Final (pt)*

P_t	Tipo de Vía
3	Expresas
2.5	Arteriales
2.25	Colectoras
2	Locales y estacionamientos

Nota. Adaptado de la tabla A3 de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (2010).

4.4.5. Propiedades del concreto

Para obtener el módulo de elasticidad del concreto (E_c) usaremos la ecuación 9 entonces para realizar dicha acción consideraremos una resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de 280 kg/cm² el cual fue obtenido en la tabla 26.

$$E_c = 15000\sqrt{280}$$

$$E_c = 250,998 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 3.57 \times 10^6 \text{ psi}$$

Para determinar el módulo de rotura a los 28 días del concreto (S_c) usaremos la ecuación 8. De acuerdo al ACI 363R-92 el factor (α) fluctúa entre 1,99 y 3,18 por tanto tomaremos el promedio es decir $\alpha = 2,585$.

$$S_c = \alpha \sqrt{f'_c}$$

$$S_c = 2,585\sqrt{280}$$

$$S_c = 43.26 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_c = 615 \text{ psi}$$

4.4.6. Módulo de reacción efectivo de la subrasante (K)

Debido a la condición de la aplicación de la capa subbase se procederá a obtener el módulo de reacción combinado de la subrasante a partir de la figura 21 el cual necesita parámetros de entrada como el módulo resiliente de la subrasante, el espesor de la subbase y el módulo elástico de la subbase.

Para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante y subbase emplearemos la ecuación 11 y 12 respectivamente las cuales son proporcionadas por la guía AASHTO (1993).

$$7,2\% < \text{CBR} < 20\% \rightarrow \text{Mr}(\text{psi}) = 3000 \times \text{CBR}(\%)^{0.65} \quad (11)$$

$$\text{CBR} > 20\% \rightarrow \text{Mr}(\text{psi}) = 4326 \times \ln(\text{CBR}) + 241 \quad (12)$$

De acuerdo a los ensayos de resistencia del suelo realizados en la calle Tupac Amaru se obtuvo el CBR de diseño de la subrasante además según lo estandarizado por la norma CE.010 en su tabla 30 pág. 20 establece el CBR mínimo para subbase.

CBR de la subrasante = 7.7%

CBR de la subbase = 30%

Luego reemplazando el valor del CBR de la subrasante y subbase en la ecuación 11 y 12 respectivamente.

Mr (psi) de la subrasante = 11,306.81 psi

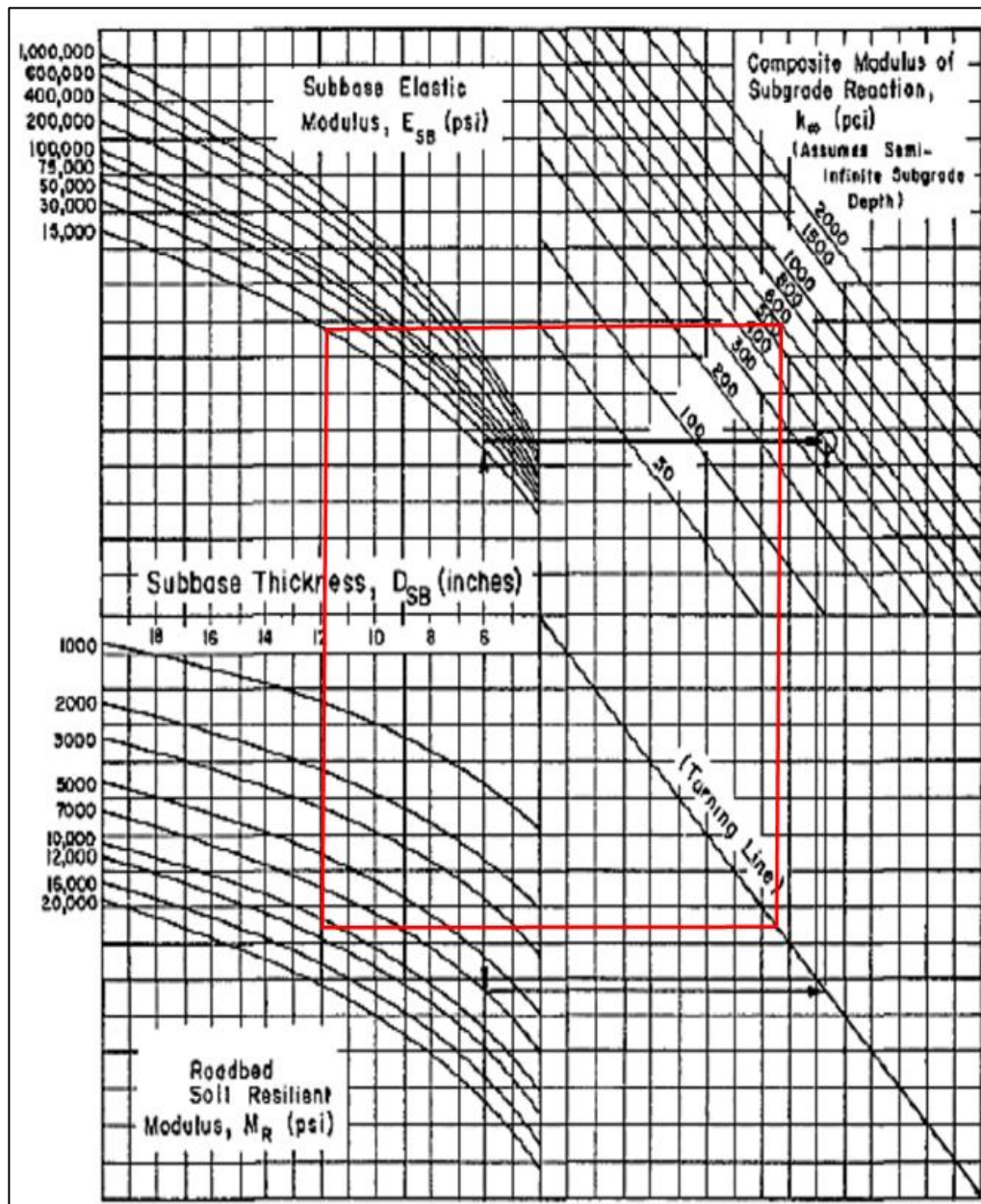
Mr (psi) de la subbase = 14,954.58 psi

Considerando un espesor de la subbase de 12" además de los módulos resiliente de la subrasante y subbase previamente calculados procedemos a ingresar estos tres parámetros en la figura 24 en donde hallaremos el módulo de reacción compuesto (kc).

kc = 600 pci

Figura 24

Estimación de módulo de reacción compuesto (k_c)

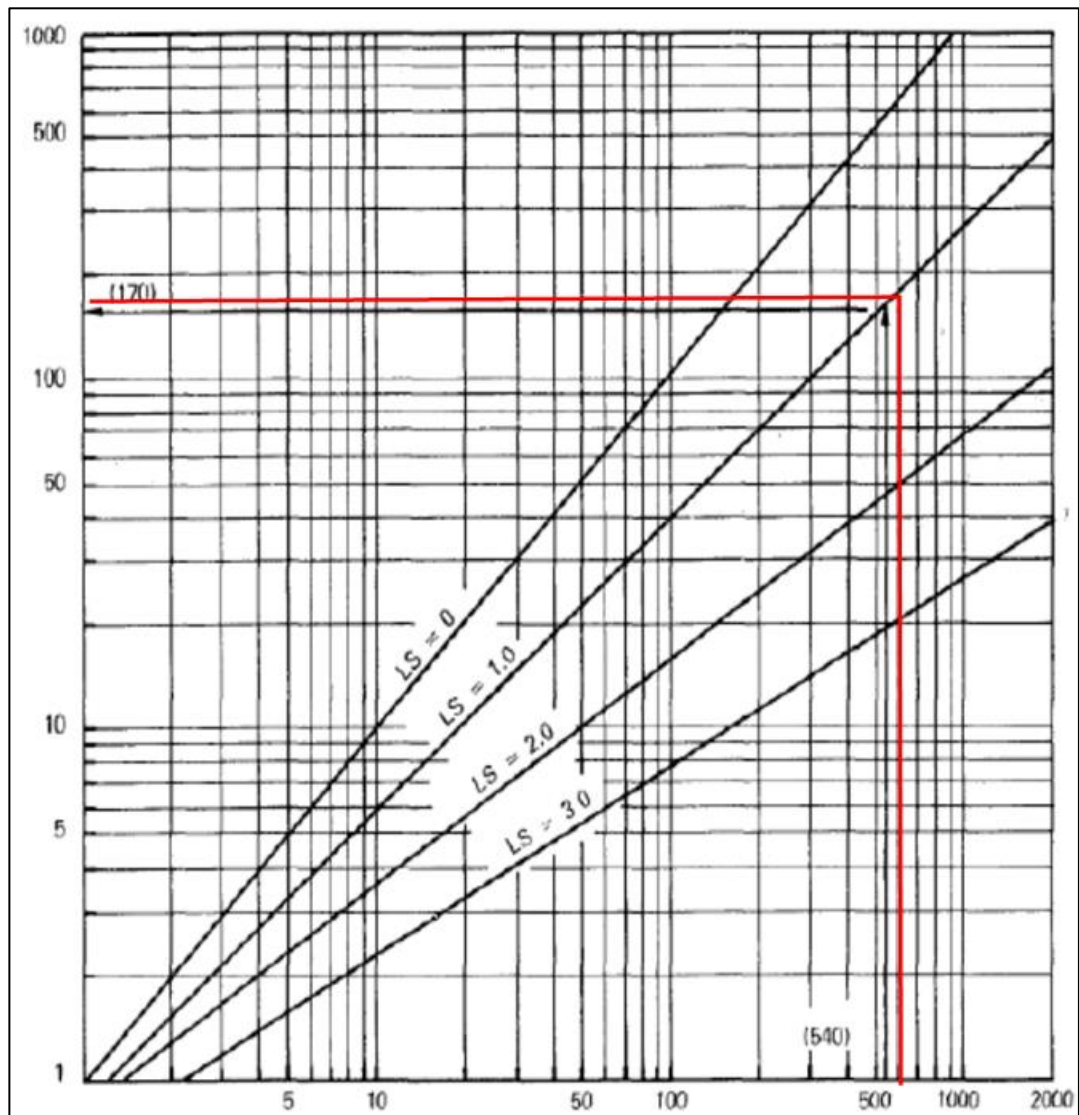


Nota. Guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Se consideró que el pavimento tendría un buen drenaje para la corrección por el factor de pérdida de soporte (L_s), según la figura 25. Por lo tanto, se seleccionó el valor más bajo sugerido para materiales granulares sin tratar que es $L_s=1$.

Figura 25

Corrección de módulo de reacción compuesto (k_c) por factor L_s



Nota. Guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

Finalmente, el valor equivalente del módulo de reacción efectivo de la subrasante es $K = 180$ pci

4.4.7. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Se diseñará un pavimento rígido compuesto de concreto básico (JPCP) con bermas de concreto, por lo que el coeficiente de transferencia de carga se obtuvo del promedio de los valores de la tabla 48, que están entre 2,5 y 3,1. El valor resultante fue de $J = 2,80$.

Tabla 48*Selección del coeficiente de transferencia de carga (J)*

Tipo de berma	Asfalto		Concreto Hidráulico	
	Si	No	Si	No
Dispositivos de transferencia de carga				
JPCP y JRCP	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
CRCP	2,9 – 3,2	N/A	2,3 – 2,9	N/A

Nota: Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

4.4.8. Coeficiente de drenaje (Cd)

Se considero que la subbase debajo de la capa de rodadura de concreto posee buen drenaje, lo que significa que el agua se elimina del pavimento en un día como máximo.

De acuerdo a SENAMHI (2021) describe al clima de Tacna como árido y templado con lluvias poco frecuentes, que normalmente no pasan de 34 mm (pág. 98). Entonces de acuerdo a la tabla 49 se eligió como coeficiente de drenaje $Cd = 1,00$.

Tabla 49*Selección del coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos*

Calidad de Drenaje	P% del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,1
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,9
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,8
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,7

Nota. Adaptado de la guía para el diseño de la estructura del pavimento American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

4.4.9. Cálculo de espesores

Con la finalidad de calcular el espesor de la losa de concreto (D) usaremos la ecuación 10.

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1.0 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/K)^{0.25}} \right)}$$

Así mismo es necesario presentar la síntesis de las variables involucradas en la ecuación 10, las cuales se muestran en la tabla 50.

Tabla 50
Resumen de datos

Variables	Valores
W₁₈	3 768 670,31 EE
K	180 pci
E_c	3,57x10 ⁶ psi
S_c	615 psi
J	2,80
C_d	1,0
S_o	0,34
R	65%
Z_R	-0,389
P_t	2,0
ΔPSI	2,5

Reemplazando los valores de los datos de la tabla 50 en la ecuación 10 obtenemos el valor del espesor de la losa de concreto.

$$D = 6,8 \text{ in} \approx 17,5 \text{ cm}$$

En la figura 26 se aprecia la estructura de pavimento rígido calculado.

Figura 26

Sección de pavimento rígido por método AASHTO

LOSA DE CONCRETO	Esesor: 17.5 cm. Pavimento de concreto. f'c 280 kg/cm ²
SUBBASE	Esesor: 30 cm. CBR minimo 30%
SUBRASANTE	Esesor compactado 25 cm. CBR 7.7%

4.4.10. Dimensionamiento de losas y dowels

El dimensionamiento de las losas corresponde a 2,70 m x 3,30 m según lo calculado en el ítem 4.3.8.

En relación con la tabla 51 para el espesor calculado de losa de concreto de 17,5 cm se usarán dowels de una pulgada de grosor y 41 cm de largo, que se colocan a una distancia de 30 cm entre sí.

Tabla 51

Parámetros de detalles recomendados en dowels

Rango espesor de losa (mm)	Diámetro		Separación entre pasadores (mm)	Longitud del pasador o dowels (mm)
	mm	pulgada		
150-200	25	1"	300	410
200-300	32	1 1/4"	300	460
300-430	38	1 1/2"	380	510

Nota. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

Según la tabla 52 para la junta de contracción longitudinal las barras de amarre que se usarán son de 1/2" (1,27 cm) de grosor y 70 cm de largo además se distribuyen a una separación de 0,76 m.

Tabla 52*Parámetros de detalles recomendados en dowels*

Espesor de losa (cm)	Tamaño de varilla (cm) Diam. x Long.	Diámetro de la junta al extremo libre	
		3.00 m	3.60 m
15	1,27 x 66	@ 76cm	@ 76cm
16	1,27 x 69	@ 76cm	@ 76cm
17	1,27 x 70	@ 76cm	@ 76cm
18	1,27 x 71	@ 76cm	@ 76cm
19	1,27 x 74	@ 76cm	@ 76cm
20	1,27 x 76	@ 76cm	@ 76cm
21	1,27 x 78	@ 76cm	@ 76cm
22	1,27 x 79	@ 76cm	@ 76cm
23	1,59 x 76	@ 91cm	@ 91cm
24	1,59 x 79	@ 91cm	@ 91cm
25	1,59 x 81	@ 91cm	@ 91cm
26	1,59 x 82	@ 91cm	@ 91cm
27	1,59 x 84	@ 91cm	@ 91cm
28	1,59 x 86	@ 91cm	@ 91cm
29	1,59 x 89	@ 91cm	@ 91cm
30	1,59 x 91	@ 91cm	@ 91cm

Nota. Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2014).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Sin lugar a duda la población crece, se desconoce si anteriormente a esta tesis en la vía local en estudio se haya realizado algún conteo vehicular pero en el desarrollo de esta tesis es crucial conocer el volumen vehicular por lo cual se realizó el estudio de tráfico respectivo en donde se encontró que esta vía urbana posee tráfico alto debido a que supera ampliamente el valor de 10^6 ESALs establecido por la norma CE.010 además la peculiaridad que posee la vía local en estudio son los vehículos pesados que circulan por la misma los cuales generan el incremento significativo de la carga equivalente por eje (EALF) impactando directamente en el aumento del ESALs.

El método PCA entrego un espesor de losa de 19 cm contrario al método AASHTO 93 que proporciono un espesor de losa de 17,5 cm, el desarrollo de ambos métodos tienen similitudes como el uso del mismo factor de crecimiento y módulo de rotura del concreto así mismo las diferencias son notorias tanto así en la inclusión de variables como la confiabilidad, pérdida de serviciabilidad, coeficiente de transferencia de carga y coeficiente de drenaje que el método AASHTO incluye en cambio el método PCA realiza una segregación del volumen vehicular agrupándolos por tipo y peso para posteriormente acumularlos en repeticiones esperadas por tipo de eje ya sea simple, tándem o trídem contrario a lo que realiza AASHTO en donde canaliza todo el tráfico vehicular en ejes simples de 8,2 toneladas.

En la presente tesis se decidió por la incorporación de bermas de concreto debido a que proporcionarían confinamiento a las losas mejorando así su estabilidad frente a las cargas de gravedad o sísmicas así mismo el diseño del pavimento contempla la inclusión de dowels en las juntas de contracción transversales debido a que la norma CE.010 pág. 44 indica que si el pavimento rígido estará expuesto a tránsito pesado, lo cual se comprobó en el estudio de tráfico de la presente investigación, puede requerir dowels que en nuestro caso son de una pulgada de diámetro distribuidas según el espesor de losa diseñada por los métodos PCA o AASHTO.

CONCLUSIONES

Al contar con los resultados de dos métodos de diseño permite elegir la estructura de pavimento rígido apropiado que se adapte a las necesidades de tráfico pesado que circula por la calle Tupac Amaru aumentando así la satisfacción de los conductores y peatones, en simples palabras representa la mejora de la transitabilidad vehicular.

En la presente investigación el Índice Medio Diario calculado fue de 3 488 vehículos por día entonces para el periodo de diseño de 20 años se obtuvo 3 768 670,31 EE.

La aplicación del método PCA en el diseño de pavimento rígido para la vía local con tránsito pesado calle Túpac Amaru entrego 19 cm de espesor de losa de concreto y 30 cm de subbase así mismo se indica que el diseño del pavimento para la vía en estudio cumplirá con los estándares de diseño propuesto por tanto mejorará la transitabilidad vehicular en la vía local.

El desarrollo de la guía metodológica AASHTO 1993 para el diseño de pavimento rígido en la vía local calle Túpac Amaru proporciono espesor de losa de concreto de 17,5 cm y para la subbase se obtuvo 30 cm de espesor por tanto se puede afirmar que la estructura del pavimento obtenido por AASHTO cumplirá el periodo de vida útil propuesto garantizando así la mejora de la transitabilidad vehicular en la vía local en estudio.

A partir de los espesores de losa de concreto obtenidos por los métodos PCA y AASHTO que son 19 cm y 17,5 cm respectivamente, se puede afirmar que cualquiera de los diseños cumplirá los estándares de satisfacción de transitabilidad vehicular, pero en la presente tesis se otorgó preferencia a la empleabilidad del espesor calculado por PCA debido a que es el método seleccionado para el diseño de pavimento rígido por la norma CE.010.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los profesionales de las instituciones municipales o públicas encargados de diseñar pavimentos rígidos en áreas urbanas contar con más de un método de diseño para así tener varias propuestas tentativas de estructuras de pavimento.

Se recomienda a las instituciones municipales a cargo de ejecutar proyectos de infraestructura vial contar con técnicos calificados para realizar conteos vehiculares debido a que el aforo vehicular es una variable a considerar en el diseño de cualquier vía.

Se recomienda a los proyectistas de infraestructuras viales de instituciones públicas o empresas del sector de construcción tener presente el dimensionamiento del espesor de la subbase debido a que mayor altura de subbase mayor será el módulo de reacción combinado de la subrasante por tanto se producirá una variación en el espesor de la capa de concreto.

A las empresas o entidades públicas que decidan emplear el método AASHTO para diseñar pavimento rígido en vías urbanas se les recomienda tener precaución al momento de tantear valores para la variable "D" para así no incurrir en errores de cálculo de espesor de losa asimismo el uso de software que calcula la solución de la ecuación AASHTO sería una manera óptima de cálculo.

La realización de comparativa de resultados de espesores de losa de concreto en pavimentos rígidos es una alternativa factible debido a que al contar con diferentes propuestas se puede seleccionar la alternativa más económica o efectiva por tanto se recomienda a las diversas áreas de estudio de instituciones ligadas al sector construcción contar con más de un método de diseño para que se pueda realizar el análisis comparativo de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 363R-92. (1997). *State of the Art Report on Report on High Strength Concrete*.
- AASHTO. (1993). *Design of Pavement Structures*. Washington, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Acero, Y. (2021). *Plan Vial Participativo de la Provincia de Tacna 2022 - 2026*,. Obtenido de <https://www.munitacna.gob.pe/archivo/download/26201/show/2022-02-08-plan-vial-provincial-participativo-de-tacna-2022-2026>
- Acuña y Acuña. (2019). *Evaluación, comparación y diseño de pavimento rígido convencional y con la adición de fibra de acero mediante la guía de la AASHTO 93 y la guía de la Portland Cement Association (PCA) aplicado a la av. La Florida y pasajes aledaños, en el distrito de San*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/233005698>
- Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica* (5 ed.). Caracas: Episteme.
- Becerra, S. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima, Perú.
- Borrego, S. (2008). *Estadística descriptiva e inferencial*. Obtenido de https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_13/SILVIA_BORREGO_2.pdf
- Castro, J. (2022). *Diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO 93 y Portland Cement Association (PCA), aplicado en la calle 6 entre Carrera 8 y 7 del Municipio de San Luis Tolima*. Ibagué: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/0153d578-5814-4a3f-b1f8-fdd9a2d71170/content>
- Falcón y Herrera. (2005). *Análisis del ato Estadístico (Guía didáctica)*.
- Guerra y Guerra. (2020). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible* (Vol. 20). Revista de difusión cultural y científica de la universidad La Salle en Bolivia. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008&lng=es&tlng=es
- Hernández et al. (2006). *Metodología de la investigación* (4 ed.). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores . Obtenido de

<http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf>

- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. . Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- INEI. (2022). *INEI*. Recuperado el 2023, de <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/departamento-de-tacna-cuenta-con-una-poblacion-de-346-mil-habitantes-9270/#:~:text=El%20Instituto%20Nacional%20de%20Estad%C3%ADstica,alcanza%20los%20383%20mil%20habitantes.>
- Kerlinger, F. (1979). *Investigación del comportamiento*. McGraw-Hill.
- Minaya y Ordóñez. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Minchán, C. (2019). *Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca – 2019*. Universidad Privada Del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22273/Minch%C3%A1n%20Lezcano%20Christian%20Kevin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). *Glosario de Términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*.
- Ministerio de Vivienda. (2010). *Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos*. Obtenido de http://www3.vivienda.gob.pe/documentos/documentos_ds_010/1/PAVIMENTO_S_URBANOS.pdf
- Montalvo, E. (2015). *Pavimentos Rígidos Reforzados Con Fibras de Acero Versus Pavimentos Tradicionales*. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>
- PCA. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. United States of America.
- Peña, R. (2022). *Evaluación del Tránsito Vehicular Para Mejorar El Nivel De Servicio Para La Intersección De Las Avenidas Carlos Izaguirre Y Canta Callao* . Lima: Universidad Nacional Federico Villareal. Obtenido de <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/5799/TESIS%20>

PE%C3%91A%20BEJARANO%20ROXANA%20CARLA.pdf?sequence=3&isAllowed=y

PERUCÁMARAS. (2019). *PERUCAMARA*. Obtenido de <https://perucamaras.org.pe/nt525.html>

Provias Nacional. (2019). *Memoria Anual 2019*. Obtenido de <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/pvn-memoria-anual-2019.pdf>

Ramirez, A. (2021). *Análisis de sensibilidad de los parámetros en la metodología de diseño estructural de pavimentos rígidos: método AASHTO 93*. Piura, Perú. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5120/ICI_2106.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019). *Propuesta De Norma E.060 Concreto Armado*. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>

Reguant y Martínez. (2014). *Operacionalización de conceptos/variables*. Barcelona. Obtenido de <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/57883/1/Indicadores-Repositorio.pdf>

Rondón et al. (2016). *Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000400003

Saucedo, A. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México*. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/529>

SENAMHI. (2021). *Climas Del Perú – Mapa de Clasificación Climática Nacional*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>

Serment, V. (2012). *Pavimentos Rígidos y Flexibles, Ventajas y Desventajas*. Asociación Mexicana De Ingeniería De Vías Terrestres.

Universidad Tecnológica de Panamá. (2017). *Métodos y Costos – Pavimento Rígido*.

Vega, D. (2018). *Diseño De Los Pavimentos De La Carretera De Acceso Al Nuevo Puerto De Yurimaguas (km 1+000 a 2+000)*. Pontificia Universidad Católica Del

Perú. Obtenido de
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12088/VEGA_PERRIGO_DISE%c3%91O_PAVIMENTOS_CARRETERA_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zagaceta y Romero. (2008). *El pavimento de concreto hidráulico premezclado en la modernización y rehabilitación de la avenida Arboledas*. Mexico, D.F.: Instituto Politecnico Nacional. Obtenido de
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2598/CONCRETO%20HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Como el análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido mejoran la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el método de diseño de pavimento rígido factible a la mejora de la transitabilidad de vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Aplicando el método PCA para el diseño de pavimento rígido mejora la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna – 2023</p>	<p>Variable Independiente (X)</p> <p>X1. Análisis comparativo de los métodos PCA y AASHTO en el diseño de pavimento rígido</p>	<p>-ESALs -Repeticiones Esperadas -Espesor de losa de concreto -Módulo de reacción efectivo subrasante</p>	<p>Tipo de investigación: Investigación aplicada Nivel de investigación: Aplicativo</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cuál es el Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza? b) ¿Qué diseño de pavimento rígido con el método PCA se obtendrá en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza? c) ¿Qué diseño de pavimento rígido con el método AASHTO se obtendrá en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza? d) ¿Cuál es el análisis comparativo de los métodos de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO aplicados a la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a) Determinar el Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza b) Calcular el diseño de pavimento rígido con el método PCA para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza c) Calcular el diseño de pavimento rígido con el método AASHTO para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza d) Determinar el análisis comparativo de los métodos de diseño de pavimento rígido PCA y AASHTO aplicados a la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a) El Índice Medio Diario de la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es de 1000 veh/día b) El diseño de pavimento rígido con el método PCA para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es: Espesor losa de concreto: 24 cm Espesor subbase granular: 15 cm Espesor subrasante: 30 cm c) El diseño de pavimento rígido con el método AASHTO para la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza es: Espesor losa de concreto: 28 cm Espesor subbase: 15 cm Espesor subrasante: 30 cm d) Es factible usar el método PCA para el diseño del pavimento rígido en la vía local Tupac Amaru, Pueblo Joven La Esperanza</p>	<p>Variable Dependiente (Y)</p> <p>Y1. Mejorar la transitabilidad en vías locales con tránsito pesado en la provincia de Tacna</p>	<p>-Nivel de serviciabilidad. -Grado de confiabilidad. -Nivel de satisfacción del usuario</p>	<p>Diseño de investigación No experimental</p>

Anexo 2. Conteo Vehicular día Lunes

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 18/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
1-2	11	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
2-3	13	10	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
3-4	5	3	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
4-5	19	24	8	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62
5-6	31	42	7	8	4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93
6-7	54	64	27	19	10	-	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	178
7-8	95	109	34	28	12	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	283
8-9	112	137	27	31	11	-	-	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	325
9-10	105	118	21	17	10	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	275
10-11	89	98	13	15	8	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	225
11-12	78	88	10	11	9	-	-	-	3	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	203
12-13	91	101	17	6	12	-	3	-	5	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	237
13-14	84	87	15	14	10	-	-	-	6	4	-	-	-	-	2	-	-	-	-	222
14-15	64	77	16	8	9	-	-	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	183
15-16	59	63	12	9	14	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163
16-17	51	59	19	14	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	158
17-18	94	85	37	26	17	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	262
18-19	129	140	44	18	20	-	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	356
19-20	119	135	34	11	14	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	315
20-21	88	94	12	8	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	213
21-22	57	49	8	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122
22-23	44	28	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
23-24	36	20	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60
TOTAL	1533	1648	364	254	202	0	8	0	46	18	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4078

Anexo 3. Conteo Vehicular día Martes

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 19/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	13	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
1-2	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
2-3	1	3	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
3-4	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
4-5	15	29	10	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66
5-6	43	50	21	18	8	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	141
6-7	64	58	31	15	10	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	181
7-8	81	73	39	19	14	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230
8-9	124	119	43	27	12	-	1	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	331
9-10	110	99	34	11	17	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	277
10-11	91	83	20	23	13	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	232
11-12	82	93	15	17	10	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	222
12-13	97	115	28	19	15	-	-	-	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	281
13-14	73	64	17	11	10	-	-	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182
14-15	60	54	10	4	9	-	1	-	4	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	146
15-16	64	71	23	10	16	-	1	-	7	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	196
16-17	76	87	27	21	20	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	237
17-18	98	104	42	30	17	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	299
18-19	110	134	37	29	24	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	337
19-20	125	141	29	33	17	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	348
20-21	95	128	15	19	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	267
21-22	66	84	5	11	8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	175
22-23	43	49	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	97
23-24	18	27	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46
TOTAL	1556	1677	449	329	237	0	6	0	59	16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4331

Anexo 4. Conteo Vehicular día Miércoles

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 20/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	9	15	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
1-2	1	4	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
2-3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
3-4	10	12	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
4-5	12	14	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31
5-6	47	53	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117
6-7	69	61	18	11	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162
7-8	91	102	21	15	5	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236
8-9	115	137	34	28	11	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	326
9-10	123	158	30	21	15	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	351
10-11	92	123	33	25	8	-	2	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	288
11-12	81	108	14	14	10	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	231
12-13	77	93	12	10	12	-	-	-	4	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	211
13-14	81	76	10	12	12	-	2	-	7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	201
14-15	64	59	7	11	10	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157
15-16	58	64	9	8	11	-	-	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	156
16-17	67	79	10	11	8	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	181
17-18	74	95	14	9	7	-	2	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205
18-19	92	99	11	15	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230
19-20	109	116	29	19	17	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	291
20-21	88	94	21	11	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	233
21-22	49	33	13	8	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110
22-23	24	12	7	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47
23-24	8	2	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
TOTAL	1443	1609	309	241	173	0	9	0	38	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3835

Anexo 5. Conteo Vehicular día Jueves

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 21/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1-2	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
2-3	-	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
3-4	3	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
4-5	25	29	11	12	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78
5-6	34	47	9	11	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105
6-7	59	68	25	23	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180
7-8	99	115	30	25	9	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	281
8-9	119	142	28	29	12	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	334
9-10	109	123	24	21	13	-	1	-	5	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	298
10-11	92	105	15	12	17	-	-	-	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250
11-12	84	95	11	13	14	-	1	-	6	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	226
12-13	96	110	24	10	10	-	-	-	8	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	261
13-14	88	97	17	16	9	-	1	-	4	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	233
14-15	69	81	14	6	13	-	1	-	2	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	188
15-16	64	72	15	12	10	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177
16-17	56	64	23	17	8	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	174
17-18	96	89	41	23	9	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	259
18-19	132	144	40	19	11	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	349
19-20	124	139	32	8	14	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320
20-21	92	99	15	11	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	227
21-22	55	41	11	4	7	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119
22-23	30	20	2	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57
23-24	12	8	1	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
TOTAL	1540	1698	391	274	180	0	8	0	52	9	0	0	0	0	6	0	0	0	0	4158

Anexo 6. Conteo Vehicular día Viernes

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 22/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	10	9	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
1-2	8	4	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
2-3	5	2	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
3-4	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
4-5	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
5-6	40	44	4	5	4	-	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	102
6-7	62	53	14	9	11	-	40	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	191
7-8	146	116	18	11	25	-	68	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	385
8-9	135	140	11	15	27	-	77	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	409
9-10	116	98	12	18	21	-	64	-	6	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	336
10-11	101	78	10	10	20	-	70	-	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	296
11-12	98	70	13	8	17	-	75	-	10	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	294
12-13	80	63	9	15	15	-	69	-	11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	263
13-14	76	59	7	21	10	-	65	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	245
14-15	71	55	8	14	16	-	67	-	4	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	237
15-16	68	51	10	15	17	-	71	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	240
16-17	63	86	15	17	12	-	79	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	280
17-18	85	124	21	22	15	-	76	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	353
18-19	109	140	15	29	23	-	19	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340
19-20	84	101	7	20	7	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220
20-21	54	67	4	14	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143
21-22	27	15	1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53
22-23	15	10	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
23-24	8	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
TOTAL	1464	1398	183	265	246	0	844	0	81	8	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4492

Anexo 7. Conteo Vehicular día Sábado

Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 23/09/23

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
0-1	4	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
1-2	2	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
2-3	-	2	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
3-4	1	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
4-5	9	11	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
5-6	47	51	9	4	8	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122
6-7	75	64	21	13	13	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190
7-8	164	147	31	24	15	-	2	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	390
8-9	178	167	26	19	12	-	1	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	411
9-10	154	133	19	14	10	-	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	337
10-11	143	118	16	13	11	-	1	-	10	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	314
11-12	127	134	9	10	14	-	-	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	304
12-13	117	118	15	9	13	-	-	-	6	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	281
13-14	109	101	24	23	15	-	1	-	5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	279
14-15	94	81	14	18	15	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	228
15-16	87	70	13	9	10	-	1	-	10	3	-	-	-	-	1	-	-	-	-	204
16-17	76	61	8	3	12	-	2	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	171
17-18	96	124	31	17	14	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	287
18-19	159	171	29	31	22	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415
19-20	146	158	24	18	10	-	1	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	357
20-21	101	110	13	15	8	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248
21-22	67	77	7	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163
22-23	43	30	9	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89
23-24	19	12	3	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37
TOTAL	2018	1944	323	260	214	0	12	0	86	11	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4872




Anexo 8. Conteo Vehicular día Domingo




Tramo CALLE TUPAC AMARU
 Cod Estación -
 Estación E-1

Ubicación PUEBLO JOVEN LA ESPERANZA - ALTO DE LA ALIANZA
 Sentido AMBOS
 Día 24/09/23

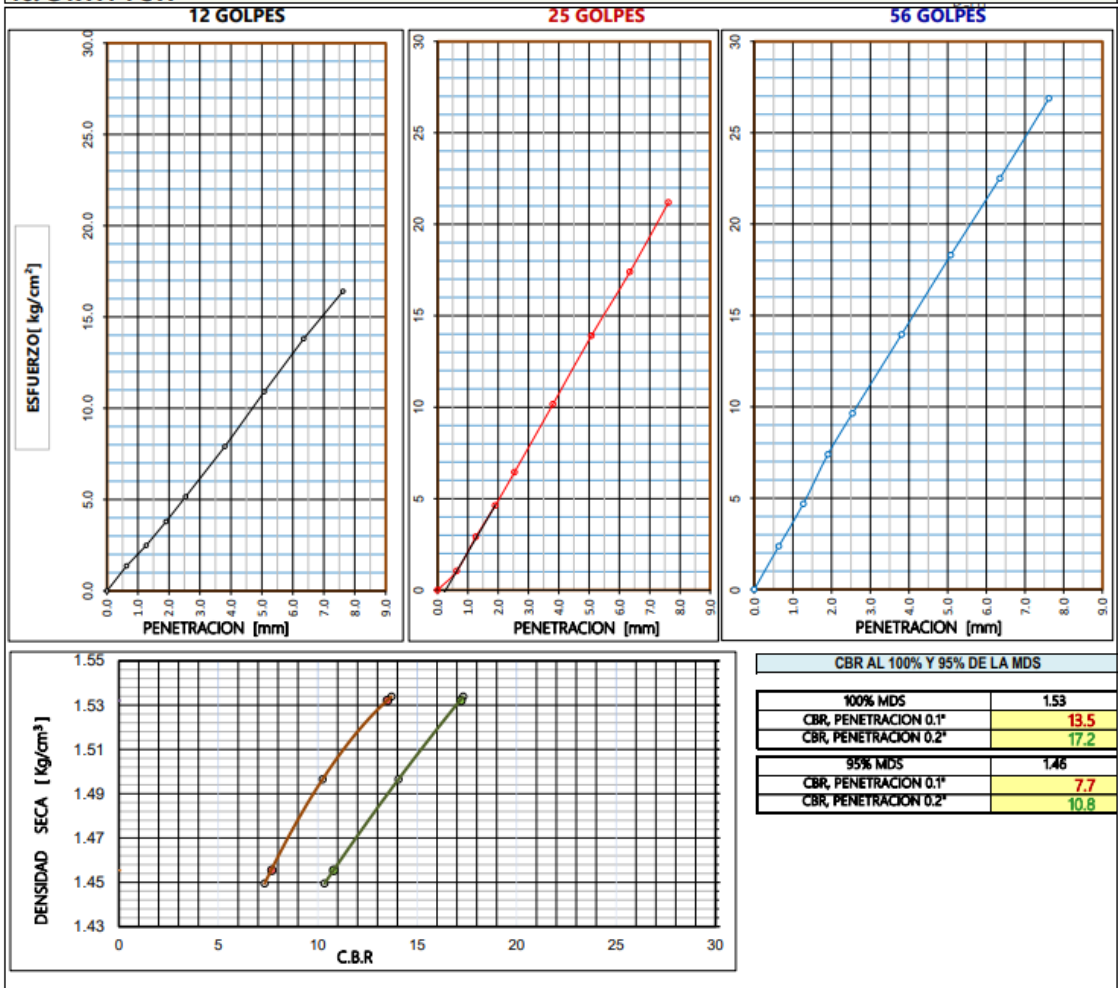
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
0-1	8	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
1-2	2	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
2-3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
3-4	1	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
4-5	13	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
5-6	19	19	6	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
6-7	23	27	9	8	5	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73
7-8	53	64	20	17	7	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165
8-9	61	59	17	13	11	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	165
9-10	51	44	11	7	10	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125
10-11	39	25	5	8	12	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	92
11-12	26	17	8	2	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67
12-13	21	24	5	4	10	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66
13-14	19	15	3	4	8	-	1	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	53
14-15	15	14	6	2	10	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48
15-16	17	10	9	5	15	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58
16-17	16	12	11	4	6	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51
17-18	14	17	8	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52
18-19	27	29	14	11	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92
19-20	13	9	5	3	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35
20-21	10	8	3	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
21-22	11	10	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
22-23	9	5	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
23-24	7	11	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
TOTAL	475	441	149	102	136	0	4	0	15	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1329


Anexo 9. Ensayo CBR calicata 1

 HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Area de Laboratorio y Control de Calidad RUC. N° 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna		 ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRANSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023"					REGISTRO: HI-00346-23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA			CODIGO: P-01	FECHA: 21-Oct-23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI Bach. NICOLL CHAMBILLA QUISPÉ			RESIDENTE: -	ING. JEFE: -																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. MUESTRA UBICACION: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA			CALICATA: P-01	2. PERSONAL OPERADOR: J.R.Q.C. ASISTENTE: L.A.C.J. Y M.J.B.A.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3. DATOS PARA EL ENSAYO CLASIFICACION: SUCS SP-SM AASHTO A-3 PROCTOR OCH=11.02% MDS=1.53g/cm ³ N°CAPAS 5			MATERIAL: -																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
4. DENSIDAD		5. PENETRACION		6. EXPANSION																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N</th> <th rowspan="2">DESCRIPCION</th> <th rowspan="2">UND</th> <th colspan="2">12 GOLPES</th> <th colspan="2">25 GOLPES</th> <th colspan="2">56 GOLPES</th> </tr> <tr> <th>Normal</th> <th>Saturado</th> <th>Normal</th> <th>Saturado</th> <th>Normal</th> <th>Saturado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Peso suelo húmedo + molde</td> <td>g</td> <td>11,132.3</td> <td>11,551.9</td> <td>11,214.2</td> <td>11,567.6</td> <td>11,725.9</td> <td>12,060.2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Peso del molde</td> <td>g</td> <td>7,730.0</td> <td>7,730.0</td> <td>7,690.6</td> <td>7,690.6</td> <td>8,099.1</td> <td>8,099.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Volumen del molde REG:</td> <td>cm³</td> <td>2,133.1</td> <td>2,137.0</td> <td>2,128.5</td> <td>2,128.5</td> <td>2,134.2</td> <td>2,134.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Peso suelo húmedo, [1]-[2]</td> <td>g</td> <td>3,402.3</td> <td>3,821.9</td> <td>3,523.6</td> <td>3,877.0</td> <td>3,626.8</td> <td>3,961.1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Densidad suelo húmedo, [4]/[3]</td> <td>g/cm³</td> <td>1.595</td> <td>1.788</td> <td>1.655</td> <td>1.821</td> <td>1.699</td> <td>1.856</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Id. Capsula</td> <td>-</td> <td>P-11</td> <td>P-15</td> <td>M-24</td> <td>M-34</td> <td>P-03</td> <td>M-18</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Peso del suelo húmedo + capsula</td> <td>g</td> <td>165.7</td> <td>464.7</td> <td>155.9</td> <td>416.4</td> <td>166.3</td> <td>416.2</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Peso del suelo seco + capsula</td> <td>g</td> <td>153.4</td> <td>414.2</td> <td>143.9</td> <td>377.6</td> <td>153.0</td> <td>378.5</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Peso del agua, [7]-[8]</td> <td>g</td> <td>12.3</td> <td>50.5</td> <td>12.0</td> <td>38.8</td> <td>13.3</td> <td>37.7</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Peso de la capsula</td> <td>g</td> <td>32.9</td> <td>196.6</td> <td>34.4</td> <td>195.8</td> <td>32.8</td> <td>196.4</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Peso del suelo seco, [8]-[10]</td> <td>g</td> <td>120.5</td> <td>217.6</td> <td>109.5</td> <td>181.8</td> <td>120.2</td> <td>182.1</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Contenido de humedad, [9]/[11]</td> <td>%</td> <td>10.207</td> <td>23.208</td> <td>10.959</td> <td>21.342</td> <td>11.065</td> <td>20.703</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Densidad seca, [5]/(1+12)/100</td> <td>g/cm³</td> <td>1.447</td> <td>1.452</td> <td>1.492</td> <td>1.501</td> <td>1.530</td> <td>1.538</td> </tr> </tbody> </table>		N	DESCRIPCION	UND	12 GOLPES		25 GOLPES		56 GOLPES		Normal	Saturado	Normal	Saturado	Normal	Saturado	1	Peso suelo húmedo + molde	g	11,132.3	11,551.9	11,214.2	11,567.6	11,725.9	12,060.2	2	Peso del molde	g	7,730.0	7,730.0	7,690.6	7,690.6	8,099.1	8,099.1	3	Volumen del molde REG:	cm ³	2,133.1	2,137.0	2,128.5	2,128.5	2,134.2	2,134.2	4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	3,402.3	3,821.9	3,523.6	3,877.0	3,626.8	3,961.1	5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cm ³	1.595	1.788	1.655	1.821	1.699	1.856	6	Id. Capsula	-	P-11	P-15	M-24	M-34	P-03	M-18	7	Peso del suelo húmedo + capsula	g	165.7	464.7	155.9	416.4	166.3	416.2	8	Peso del suelo seco + capsula	g	153.4	414.2	143.9	377.6	153.0	378.5	9	Peso del agua, [7]-[8]	g	12.3	50.5	12.0	38.8	13.3	37.7	10	Peso de la capsula	g	32.9	196.6	34.4	195.8	32.8	196.4	11	Peso del suelo seco, [8]-[10]	g	120.5	217.6	109.5	181.8	120.2	182.1	12	Contenido de humedad, [9]/[11]	%	10.207	23.208	10.959	21.342	11.065	20.703	13	Densidad seca, [5]/(1+12)/100	g/cm ³	1.447	1.452	1.492	1.501	1.530	1.538	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CARGA</th> <th colspan="3">LECTURA DE DIAL (división)</th> <th colspan="6">ESFUERZO (kg/cm²)</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>12 GOLPES</th> <th>25 GOLPES</th> <th>56 GOLPES</th> <th>DIRECTA</th> <th>CORREGIDA</th> <th>DIRECTA</th> <th>CORREGIDA</th> <th>DIRECTA</th> <th>CORREGIDA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Area del pistón:</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td></td> <td>0.00</td> <td></td> <td>0.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20.27 cm²</td> <td>0.64</td> <td>0.27</td> <td>0.21</td> <td>0.47</td> <td>1.36</td> <td></td> <td>1.05</td> <td></td> <td>2.37</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.27</td> <td>0.50</td> <td>0.58</td> <td>0.93</td> <td>2.50</td> <td></td> <td>2.92</td> <td></td> <td>4.69</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.91</td> <td>0.75</td> <td>0.92</td> <td>1.47</td> <td>3.79</td> <td></td> <td>4.63</td> <td></td> <td>7.40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>70.3 Kg/cm²</td> <td>2.54</td> <td>1.02</td> <td>1.28</td> <td>1.92</td> <td>5.15</td> <td>5.15</td> <td>6.44</td> <td>7.20</td> <td>9.64</td> <td>9.64</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3.81</td> <td>1.57</td> <td>2.02</td> <td>2.77</td> <td>7.90</td> <td></td> <td>10.16</td> <td></td> <td>13.96</td> <td></td> </tr> <tr> <td>105.5 Kg/cm²</td> <td>5.08</td> <td>2.17</td> <td>2.77</td> <td>3.64</td> <td>10.90</td> <td>10.90</td> <td>13.91</td> <td>14.83</td> <td>18.30</td> <td>18.26</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6.35</td> <td>2.74</td> <td>3.46</td> <td>4.47</td> <td>13.81</td> <td></td> <td>17.39</td> <td></td> <td>22.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>7.62</td> <td>3.26</td> <td>4.21</td> <td>5.34</td> <td>16.41</td> <td></td> <td>21.19</td> <td></td> <td>26.88</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		CARGA	LECTURA DE DIAL (división)			ESFUERZO (kg/cm ²)						mm	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	Area del pistón:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00		20.27 cm ²	0.64	0.27	0.21	0.47	1.36		1.05		2.37			1.27	0.50	0.58	0.93	2.50		2.92		4.69			1.91	0.75	0.92	1.47	3.79		4.63		7.40		70.3 Kg/cm ²	2.54	1.02	1.28	1.92	5.15	5.15	6.44	7.20	9.64	9.64		3.81	1.57	2.02	2.77	7.90		10.16		13.96		105.5 Kg/cm ²	5.08	2.17	2.77	3.64	10.90	10.90	13.91	14.83	18.30	18.26		6.35	2.74	3.46	4.47	13.81		17.39		22.50			7.62	3.26	4.21	5.34	16.41		21.19		26.88		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">TIEMPO</th> <th rowspan="2">LECTURA DIAL(Div): 0.010mm</th> <th colspan="8">ALTURAS</th> </tr> <tr> <th>12 GOLPES</th> <th>25 GOLPES</th> <th>56 GOLPES</th> <th>mm</th> <th>%</th> <th>mm</th> <th>%</th> <th>mm</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fecha-hora</td> <td>(Hrs)</td> <td>0</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>17/10/23 - 00:00</td> <td>0</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> <td>0.00</td> <td>0.0%</td> </tr> <tr> <td>21/10/23 - 00:00</td> <td>96</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0.00</td> <td>0.00%</td> <td>0.00</td> <td>0.00%</td> <td>0.00</td> <td>0.00%</td> </tr> </tbody> </table>		TIEMPO	LECTURA DIAL(Div): 0.010mm	ALTURAS								12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	mm	%	mm	%	mm	%	Fecha-hora	(Hrs)	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	17/10/23 - 00:00	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	21/10/23 - 00:00	96	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
N	DESCRIPCION				UND	12 GOLPES		25 GOLPES		56 GOLPES																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Normal	Saturado	Normal		Saturado	Normal	Saturado																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	Peso suelo húmedo + molde	g	11,132.3	11,551.9	11,214.2	11,567.6	11,725.9	12,060.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2	Peso del molde	g	7,730.0	7,730.0	7,690.6	7,690.6	8,099.1	8,099.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3	Volumen del molde REG:	cm ³	2,133.1	2,137.0	2,128.5	2,128.5	2,134.2	2,134.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	3,402.3	3,821.9	3,523.6	3,877.0	3,626.8	3,961.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cm ³	1.595	1.788	1.655	1.821	1.699	1.856																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
6	Id. Capsula	-	P-11	P-15	M-24	M-34	P-03	M-18																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
7	Peso del suelo húmedo + capsula	g	165.7	464.7	155.9	416.4	166.3	416.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
8	Peso del suelo seco + capsula	g	153.4	414.2	143.9	377.6	153.0	378.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
9	Peso del agua, [7]-[8]	g	12.3	50.5	12.0	38.8	13.3	37.7																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10	Peso de la capsula	g	32.9	196.6	34.4	195.8	32.8	196.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
11	Peso del suelo seco, [8]-[10]	g	120.5	217.6	109.5	181.8	120.2	182.1																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
12	Contenido de humedad, [9]/[11]	%	10.207	23.208	10.959	21.342	11.065	20.703																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
13	Densidad seca, [5]/(1+12)/100	g/cm ³	1.447	1.452	1.492	1.501	1.530	1.538																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
CARGA	LECTURA DE DIAL (división)			ESFUERZO (kg/cm ²)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	mm	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Area del pistón:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20.27 cm ²	0.64	0.27	0.21	0.47	1.36		1.05		2.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1.27	0.50	0.58	0.93	2.50		2.92		4.69																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	1.91	0.75	0.92	1.47	3.79		4.63		7.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
70.3 Kg/cm ²	2.54	1.02	1.28	1.92	5.15	5.15	6.44	7.20	9.64	9.64																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	3.81	1.57	2.02	2.77	7.90		10.16		13.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
105.5 Kg/cm ²	5.08	2.17	2.77	3.64	10.90	10.90	13.91	14.83	18.30	18.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	6.35	2.74	3.46	4.47	13.81		17.39		22.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	7.62	3.26	4.21	5.34	16.41		21.19		26.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
TIEMPO	LECTURA DIAL(Div): 0.010mm	ALTURAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	mm	%	mm	%	mm	%																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Fecha-hora	(Hrs)	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
17/10/23 - 00:00	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
21/10/23 - 00:00	96	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
7. RESULTADOS		8. OBSERVACIONES		Laboratorio																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ENSAYO CBR</th> <th rowspan="2">12 GOLPES</th> <th rowspan="2">25 GOLPES</th> <th rowspan="2">56 GOLPES</th> <th colspan="2">PROCTOR</th> <th colspan="2">CBR FINAL</th> </tr> <tr> <th>Humedad óptima</th> <th>11.02%</th> <th>Penetración</th> <th>1*</th> <th>2*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad Seca prom.</td> <td>1.45</td> <td>1.50</td> <td>1.53</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Penetración: 0.1*</td> <td>7.3</td> <td>10.2</td> <td>13.7</td> <td>MDS</td> <td>1.532</td> <td>100% MDS</td> <td>13.5</td> <td>17.2</td> </tr> <tr> <td>Penetración: 0.2*</td> <td>10.3</td> <td>14.1</td> <td>17.3</td> <td>95 % de la MDS</td> <td>1.455</td> <td>95 % MDS</td> <td>7.7</td> <td>10.8</td> </tr> </tbody> </table>		ENSAYO CBR	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	PROCTOR		CBR FINAL		Humedad óptima	11.02%	Penetración	1*	2*	Densidad Seca prom.	1.45	1.50	1.53					Penetración: 0.1*	7.3	10.2	13.7	MDS	1.532	100% MDS	13.5	17.2	Penetración: 0.2*	10.3	14.1	17.3	95 % de la MDS	1.455	95 % MDS	7.7	10.8	Aprobación																																																																																																																																																																																																																																																																												
ENSAYO CBR	12 GOLPES					25 GOLPES	56 GOLPES	PROCTOR		CBR FINAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Humedad óptima	11.02%	Penetración	1*			2*																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Densidad Seca prom.	1.45	1.50	1.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Penetración: 0.1*	7.3	10.2	13.7	MDS	1.532	100% MDS	13.5	17.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Penetración: 0.2*	10.3	14.1	17.3	95 % de la MDS	1.455	95 % MDS	7.7	10.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

	HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Area de Laboratorio y Control de Calidad RUC. N° 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna		ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132	
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSIBILIDAD EN VÍAS LOCALES CON TRÁNSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2022"		REGISTRO: HI-00346-23		
Tramo: _____		CÓDIGO: P-01		
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALAMBA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA		RESIDENTE: -		
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCCO YURANCUI Bach. NICOLL CHAMBILLA QUSPE		ING. JEFE: -		
				FECHA: 21-Oct-23


10. GRAFICA





HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Área de Laboratorio y Control de Calidad
 R.U.C. N° 29532715882 Dirección:
 Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tarma

ENSAYO DE C.B.R.
CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)
NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132



PROYECTO: 'ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRÁNSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023'

Tramo: _____ CODIGO: P-01

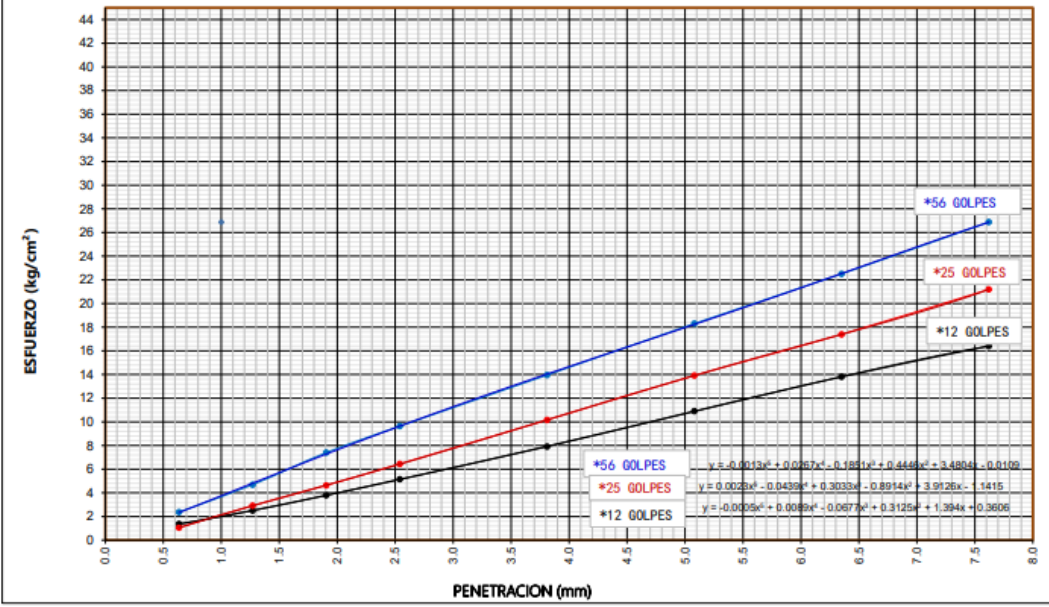
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA RESIDENTE: -

SOLICITANTE: Bach. XAMER INCISO YUPANQUI ING. JEFE: -
 Bach. NICOLL CHAMBILLA QUISPE

REGISTRO: HI-00346-23

FECHA: 21-Oct-23

10. GRAFICA



ESFUERZO (kg/cm²)

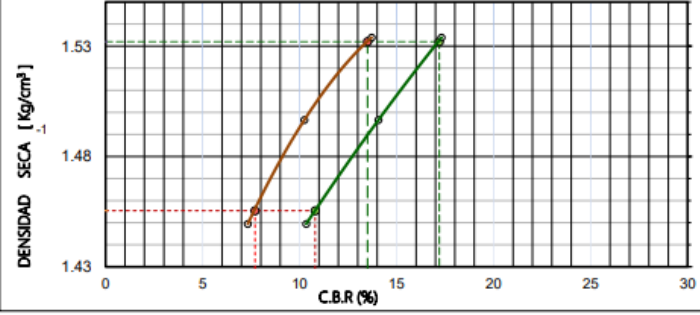
PENETRACION (mm)

*56 GOLPES
 $y = -0.0013x^6 + 0.0267x^5 - 0.1881x^4 + 0.4446x^3 - 3.4804x^2 - 0.0109x$

*25 GOLPES
 $y = 0.0028x^6 - 0.0439x^5 + 0.3033x^4 - 0.8914x^3 + 3.9126x^2 - 1.1415x$

*12 GOLPES
 $y = -0.0005x^6 + 0.0089x^5 - 0.0677x^4 + 0.3125x^3 + 1.3944x^2 + 0.3606x$

100% MDS	1.53
CBR, PENETRACION 0.1"	13.5
CBR, PENETRACION 0.2"	17.2
95% MDS	1.46
CBR, PENETRACION 0.1"	7.7
CBR, PENETRACION 0.2"	10.6






DENSIDAD SECA [kg/cm³]

C.B.R. (%)

Laboratorio

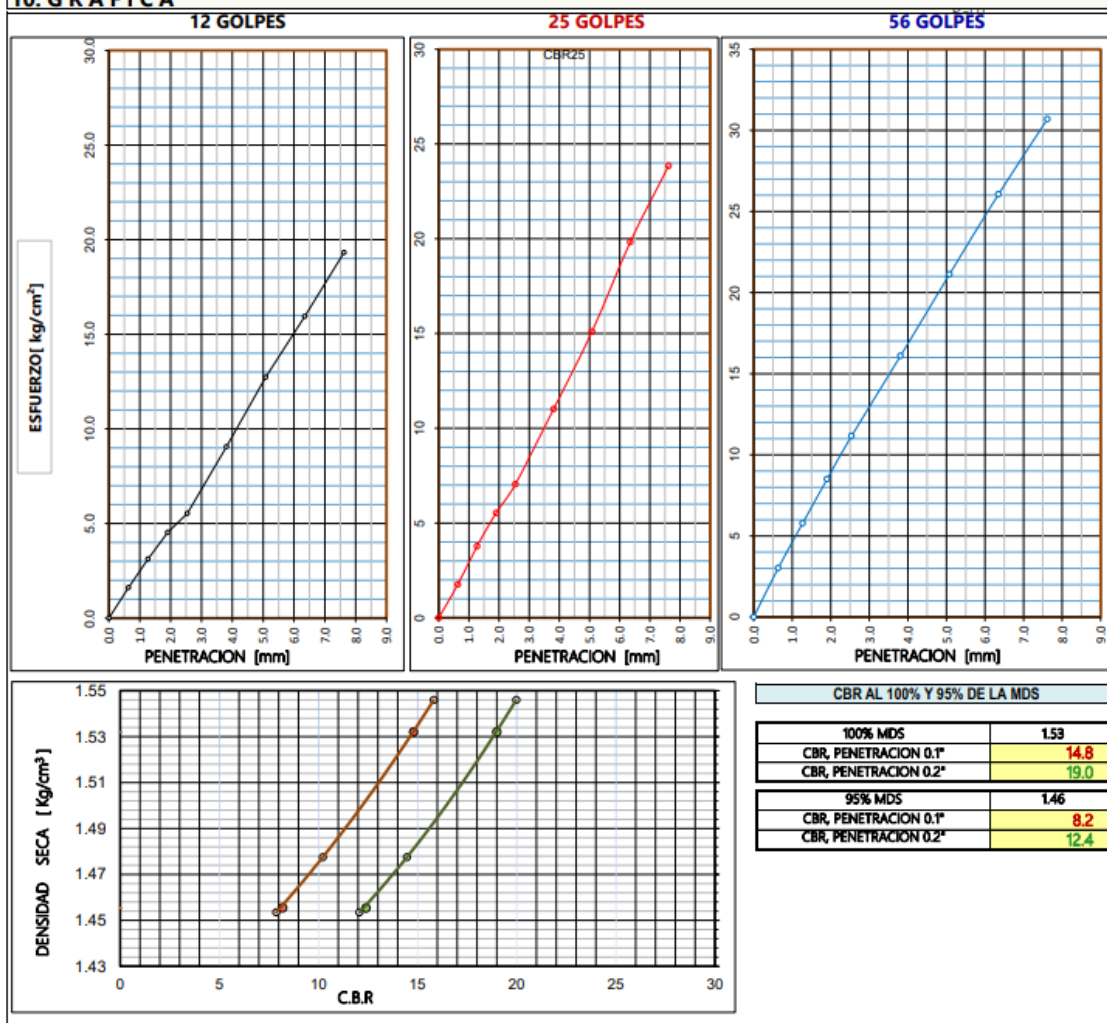
Aprobación

Anexo 10. Ensayo CBR calicata 2

 HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Área de Laboratorio y Control de Calidad RUC. N° 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna		 ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132													
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRANSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023"					REGISTRO: HI-00346-23										
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA					CODIGO: P-02										
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI Bach. NICOLL CHAMBILLA QUISPE					RESIDENTE: - ING. JEFE: -										
FECHA: 21-Oct-23															
1. MUESTRA			2. PERSONAL												
UBICACION: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA			CALICATA: P-02												
MATERIAL: SUBRASANTE			PROFUND.: -												
3. DATOS PARA EL ENSAYO															
CLASIFICACION:	SUCS	SP-SM	AASHTO	A-3	PROCTOR	OCH=11.02%	MDS=1.53g/cm ³	N°CAPAS	5						
N	DESCRIPCION	UND	12 GOLPES		25 GOLPES		56 GOLPES								
4. DENSIDAD			Normal		Saturado		Normal		Saturado						
1	Peso suelo húmedo + molde	g	11,754.7	12,085.5	11,497.1	11,711.5	11,742.5	11,863.4	11,863.4						
2	Peso del molde	g	8,468.0	8,468.0	8,193.0	8,193.0	8,272.0	8,272.0	8,272.0						
3	Volumen del molde REG:	cm ³	2,141.0	2,141.0	2,120.0	2,120.0	2,129.0	2,129.0	2,129.0						
4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	3,286.7	3,617.5	3,304.1	3,518.5	3,470.5	3,591.4	3,591.4						
5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cm ³	1.535	1.690	1.559	1.660	1.630	1.687	1.687						
6	Id. Capsula	-	D-22	T-30	T-1	D-25	T-11	D-27	D-27						
7	Peso del suelo húmedo + capsula	g	145.8	145.6	146.5	144.6	147.4	145.9	145.9						
8	Peso del suelo seco + capsula	g	139.2	128.8	140.0	131.7	140.9	135.9	135.9						
9	Peso del agua, [7]-[8]	g	6.6	16.8	6.5	12.9	6.5	10.0	10.0						
10	Peso de la capsula	g	24.8	24.5	25.0	25.1	24.7	24.9	24.9						
11	Peso del suelo seco, [8]-[10]	g	114.4	104.3	115.0	106.6	116.2	111.0	111.0						
12	Contenido de humedad, [9]/[11]	%	5.724	16.127	5.663	12.140	5.577	8.972	8.972						
13	Densidad seca, [5]/(1+(12)/100)	g/cm ³	1.452	1.455	1.475	1.480	1.544	1.548	1.548						
5. PENETRACION						ESFUERZO (kg/cm ²)									
CARGA		LECTURA DE DIAL (división)			ESFUERZO (kg/cm ²)										
STANDARD	mm	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	DIRECTA						CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA
Area del pistón: 20.27 cm ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							0.00		0.00	
	0.64	0.32	0.35	0.60	1.61							1.76		3.02	
	1.27	0.62	0.75	1.15	3.12							3.77		5.79	
	1.91	0.90	1.10	1.69	4.53							5.53		8.50	
70.3 Kg/cm ²	2.54	1.10	1.40	2.22	5.53						5.53	7.04	7.19	11.17	11.12
	3.81	1.80	2.19	3.20	9.06							11.02		16.10	
105.5 Kg/cm ²	5.08	2.53	3.00	4.20	12.73						12.73	15.09	15.25	21.13	21.07
	6.35	3.17	3.94	5.18	15.95		19.82		26.06						
	7.62	3.84	4.74	6.10	19.32		23.85		30.69						
6. EXPANSION						H _{suelo} = 115.5 mm									
TIEMPO		LECTURA DIAL (Div): 0.010mm			ALTURAS										
Fecha-hora	(Hrs)	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	mm	%	mm	%	mm	%					
17/10/23 - 00:00	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%					
21/10/23 - 00:00	96	0.013	0.012	0.010	0.01	0.01%	0.01	0.01%	0.01	0.01%					
7. RESULTADOS															
ENSAYO CBR		12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	PROCTOR		CBR FINAL								
Densidad Seca prom.		1.45	1.48	1.55	Humedad óptima		11.02%	Penetración	1"	2"					
Penetración: 0.1"		7.9	10.2	15.8	MDS		1.532	100% MDS	14.8	19.0					
Penetración: 0.2"		12.1	14.5	20.0	95 % de la MDS		1.455	95 % MDS	8.2	12.4					
8. OBSERVACIONES															
Laboratorio					Aprobación										


 <p>HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Area de Laboratorio y Control de Calidad RUC. Nº 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna</p>	 <p>ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132</p>	
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA MEJORAR LA TRANSIBILIDAD EN VAS LOCALES CON TRÁNSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2022"		REGISTRO: HI-00346-23
Tramo: _____ CODIGO: P-02 LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA RESIDENTE: -	FECHA: 21-Oct-23	
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI Bach. NICOLÁS CHAMILLA QUISPE	ING. JEFE: -	

10. GRAFICA




Laboratorio

Aprobación



HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Area de Laboratorio y Control de Calidad
 RUC. N° 20532715882 Dirección:
 Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna

ENSAYO DE C.B.R.
CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)
NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132



PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y ASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRANSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023"

Tramo: _____ CODIGO: P-02

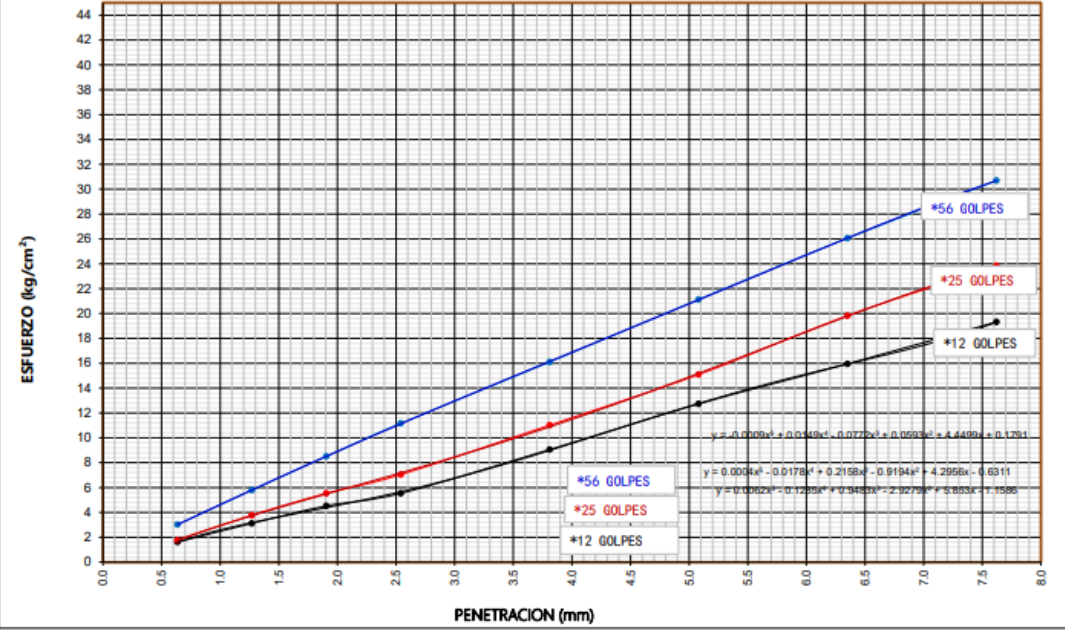
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA RESIDENTE: -

SOLICITANTE: **Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI**
Bach. NICOLL CHAMBILLA QUISPE ING. JEFE: -

REGISTRO: **HI-00346-23**

FECHA: **21-Oct-23**

10. GRAFICA



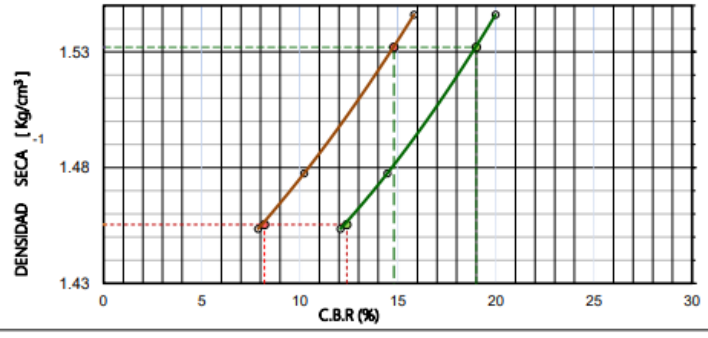
ESFUERZO (kg/cm²)

PENETRACION (mm)

$y = 0.0009x^3 + 0.0149x^2 - 0.0775x + 0.0593x^0 + 4.4499x + 0.1291$

$y = 0.0004x^3 - 0.0178x^2 + 0.2156x - 0.9194x^0 + 4.2956x - 0.6311$

$y = 0.0062x^3 - 0.1285x^2 + 0.3483x - 2.9279x^0 + 3.853x + 1.1586$



DENSIDAD SECA [kg/cm³]

C.B.R. (%)




100% MDS	
CBR, PENETRACION 0.1"	1.53
CBR, PENETRACION 0.2"	14.8
CBR, PENETRACION 0.2"	19.0




95% MDS	
CBR, PENETRACION 0.1"	1.46
CBR, PENETRACION 0.2"	8.2
CBR, PENETRACION 0.2"	12.4

Laboratorio

Aprobación

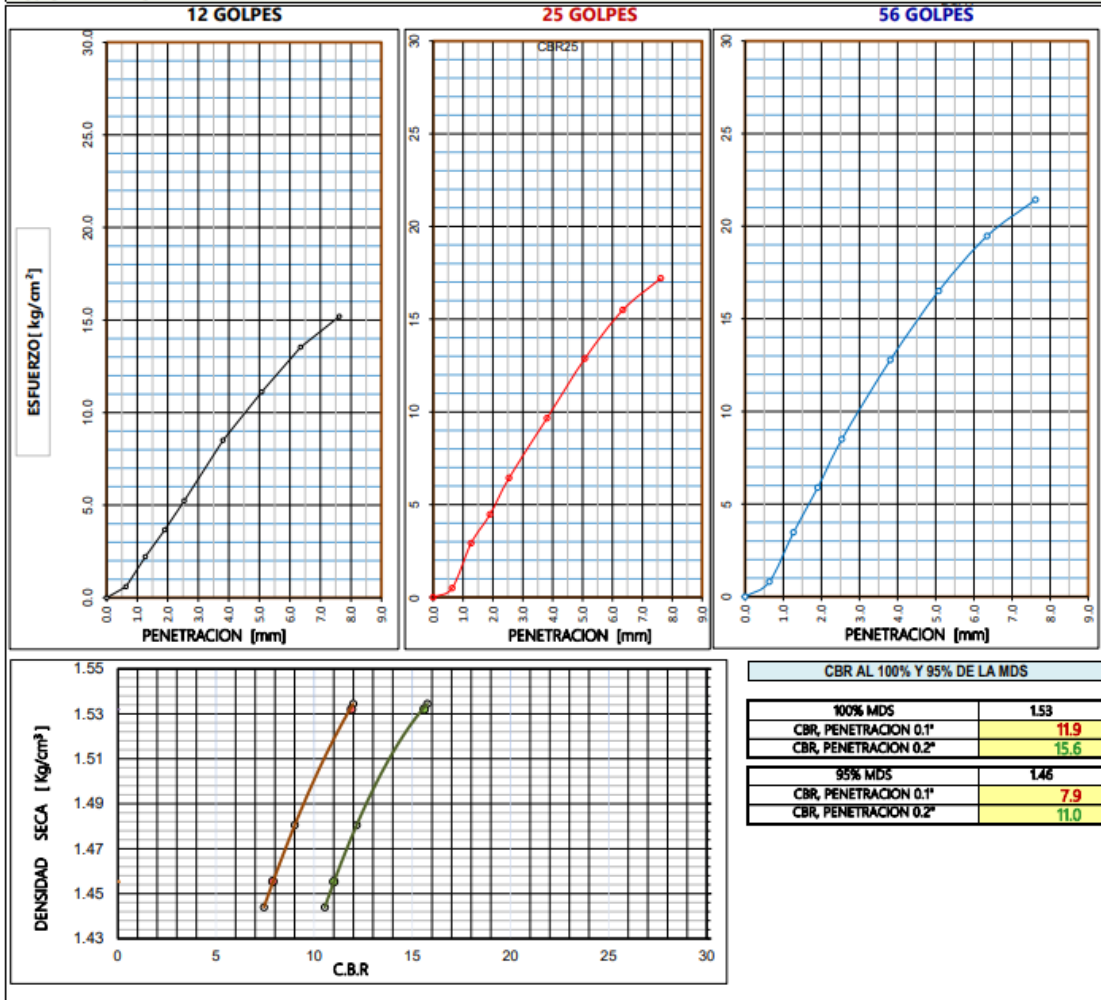
Anexo 11. Ensayo CBR calicata 3

 HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Area de Laboratorio y Control de Calidad RUC. Nº 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna		 ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132									
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRÁNSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023"					REGISTRO: HI-00346-23						
LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA					CODIGO: P-03						
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI Bach. NICOLL CHAMBILLA QUIISPE					RESIDENTE: - ING. JEFE: -						
FECHA: 21-Oct-23											
1. MUESTRA					2. PERSONAL						
UBICACION: DISTRITO ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA					OPERADOR: J.R.Q.C.						
MATERIAL: SUBRASANTE					ASISTENTE: L.A.C.J. Y.M.J.B.A.						
3. DATOS PARA EL ENSAYO											
CLASIFICACION: SUCS SP-SM AASHTO A-3 PROCTOR OCH=11.02% MDS=1.53g/cm ³ N°CAPAS 5											
N	DESCRIPCION	UND	12 GOLPES		25 GOLPES		56 GOLPES				
4. DENSIDAD											
Condición de humedad			Normal	Saturado	Normal	Saturado	Normal	Saturado			
1	Peso suelo húmedo + molde	g	11,705.6	12,140.5	11,718.3	12,130.2	12,149.6	12,625.3			
2	Peso del molde	g	8,315.0	8,315.0	8,219.0	8,219.0	8,485.0	8,485.0			
3	Volumen del molde REG.	cm ³	2,131.0	2,131.0	2,136.0	2,136.0	2,145.0	2,145.0			
4	Peso suelo húmedo, [1]-[2]	g	3,390.6	3,825.5	3,499.3	3,911.2	3,664.6	4,140.3			
5	Densidad suelo húmedo, [4]/[3]	g/cm ³	1.591	1.795	1.638	1.831	1.708	1.930			
6	Id. Capsula	-	T-02	Q-78	S-48	M-34	P-03	T-12			
7	Peso del suelo húmedo + capsula	g	148.6	154.8	175.4	164.7	154.2	149.8			
8	Peso del suelo seco + capsula	g	137.1	129.5	160.7	138.2	141.1	124.5			
9	Peso del agua, [7]-[8]	g	11.5	25.3	14.7	26.5	13.1	25.3			
10	Peso de la capsula	g	25.6	24.9	24.7	25.3	26.1	26.2			
11	Peso del suelo seco, [8]-[10]	g	111.5	104.7	135.9	112.9	115.0	98.3			
12	Contenido de humedad, [9]/[11]	%	10.340	24.147	10.843	23.472	11.372	25.748			
13	Densidad seca, [5]/(1+[12]/100)	g/cm ³	1.442	1.446	1.478	1.483	1.534	1.535			
5. PENETRACION											
CARGA		LECTURA DE DIAL (división)			ESFUERZO (kg/cm ²)						
STANDARD	mm	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	DIRECTA	CORREGIDA	
Area del pistón: 20.27 cm ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00		0.00		
	0.64	0.12	0.10	0.16	0.60		0.50		0.80		
	1.27	0.44	0.58	0.69	2.21		2.92		3.47		
	1.91	0.73	0.89	1.17	3.67		4.48		5.89		
70.3 Kg/cm ²	2.54	1.04	1.28	1.69	5.23	5.23	6.44	6.34	8.50	8.43	
	3.81	1.69	1.92	2.54	8.50		9.66		12.78		
105.5 Kg/cm ²	5.08	2.21	2.56	3.28	11.12	11.12	12.88	12.83	16.50	16.63	
	6.35	2.69	3.08	3.87	13.53		15.50		19.47		
	7.62	3.02	3.42	4.26	15.19		17.21		21.43		
6. EXPANSION									H _{suelo} = 117.5 mm		
TIEMPO		LECTURA DIAL(Div): 0.010mm			ALTURAS						
Fecha-hora	(Hrs)	12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	mm	%	mm	%	mm	%	
17/10/23 - 00:00	0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	
21/10/23 - 00:00	96	0.000	0.000	0.000		0.00%		0.00%		0.00%	
7. RESULTADOS											
ENSAYO CBR		12 GOLPES	25 GOLPES	56 GOLPES	PROCTOR			CBR FINAL			
Densidad Seca prom.		1.44	1.48	1.53	Humedad óptima			11.02%	Penetración		
Penetración: 0.1"		7.4	9.0	12.0	MDS			1.532	100% MDS	11.9	15.6
Penetración: 0.2"		10.5	12.2	15.8	95 % de la MDS			1.455	95 % MDS	7.9	11.0
8. OBSERVACIONES											
Laboratorio _____ Aprobación _____											

	<p>HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L. Area de Laboratorio y Control de Calidad RUC. N° 20532715882 Dirección: Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna</p>		<p>ENSAYO DE C.B.R. CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132</p>	
---	---	---	---	---


PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VAS LOCALES CON TRÁNSITO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2022		REGISTRO: HI-00346-23
Tramo: _____ CODIGO: P-09	LUGAR: DISTRITO ALTO DE LA ALANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA RESIDENTE: -	
SOLICITANTE: Bach. XAVIER INCISO YUPANQUI Bach. NICOLL CHAMBILLA QUESPE	ING. JEFE: - FECHA: 21-Oct-23	

10. GRAFICA




Laboratorio

Aprobación



HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.
 Area de Laboratorio y Control de Calidad
 RUC. Nº 20532715882 Dirección:
 Asoc. Señor de los Milagros A-15 Tacna

ENSAYO DE C.B.R.
CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)
NORMA ASTM D-1883 Y LA MTC E-132



PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS PCA Y AASHTO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN VIAS LOCALES CON TRÁFICO PESADO EN LA PROVINCIA DE TACNA, 2023"

Tramo: _____ CODIGO: P-03

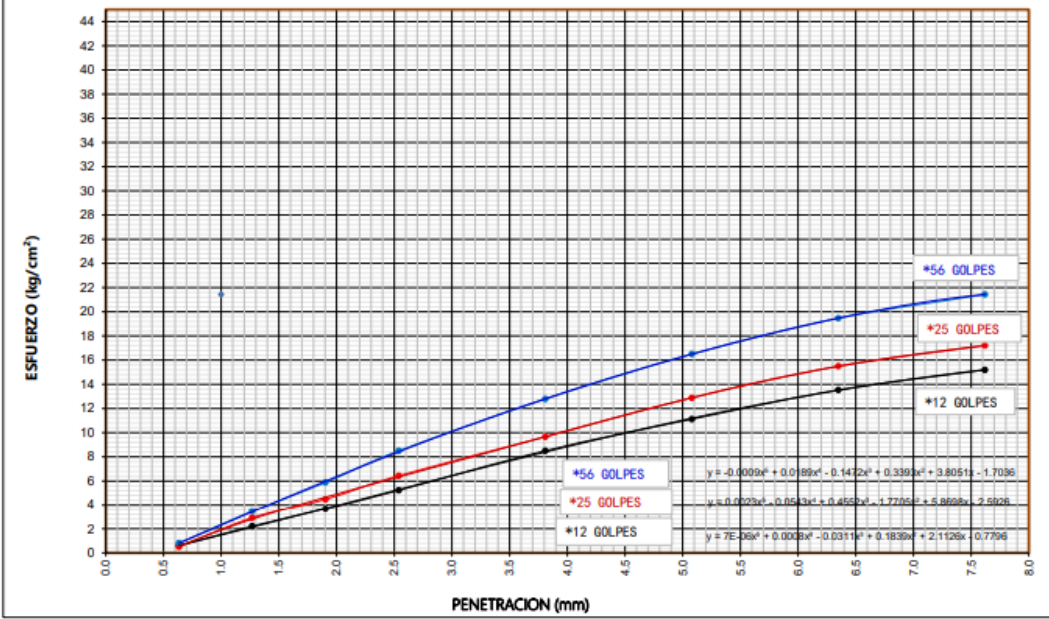
LUGAR: **DISTrito ALTO DE LA ALIANZA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA** RESIDENTE: -

SOLICITANTE: **Bach. XAYER INCO YUPANQUI**
Bach. NICOLL CHAMBILLA QUARPE ING. JEFE: -

REGISTRO: **HI-00346-23**

FECHA: **21-Oct-23**

10. GRAFICA



ESFUERZO (kg/cm²)

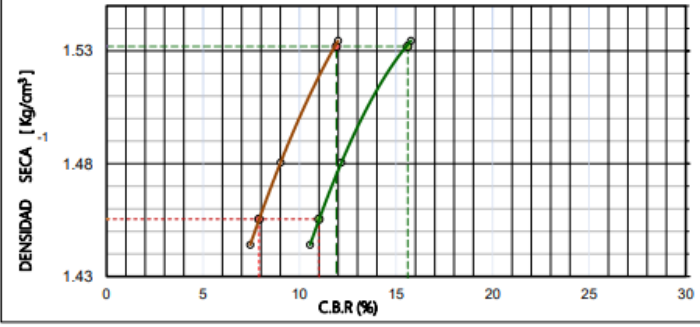
PENETRACION (mm)

*56 GOLPES
 $y = -0.0009x^4 + 0.0189x^3 - 0.1472x^2 + 0.3393x + 3.8051 - 1.7036$

*25 GOLPES
 $y = 0.0023x^4 - 0.0513x^3 + 0.4552x^2 - 1.7775x + 5.8608x - 2.5928$

*12 GOLPES
 $y = 7E-36x^4 + 0.0003x^3 - 0.0311x^2 + 0.1830x + 2.1126x - 0.7798$

100% MDS		1.53
C.B.R. PENETRACION 0.1"	11.9	
C.B.R. PENETRACION 0.2"	15.6	
95% MDS		1.46
C.B.R. PENETRACION 0.1"	7.9	
C.B.R. PENETRACION 0.2"	11.0	



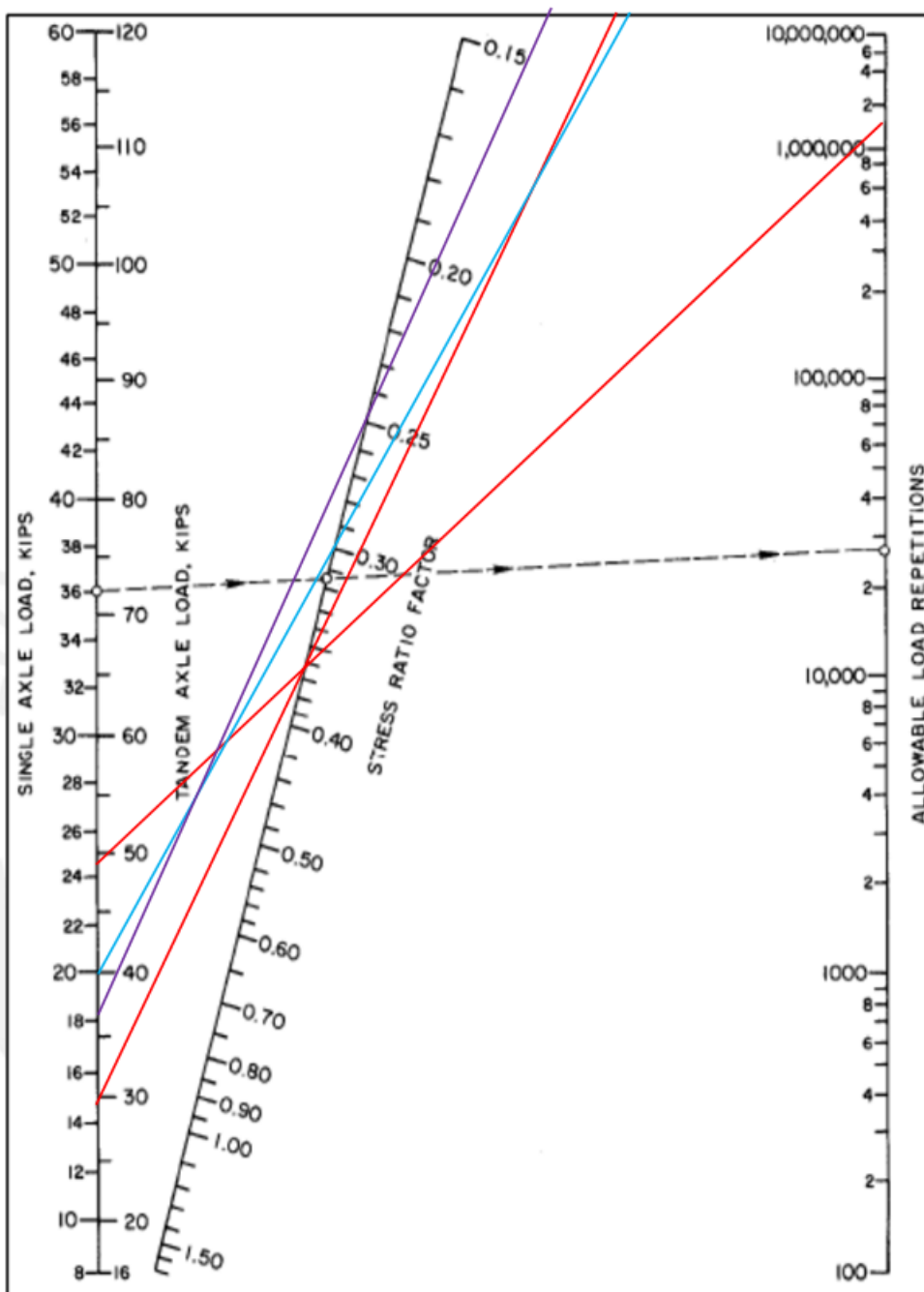
DENSIDAD SECA [kg/cm³]

C.B.R. (%)

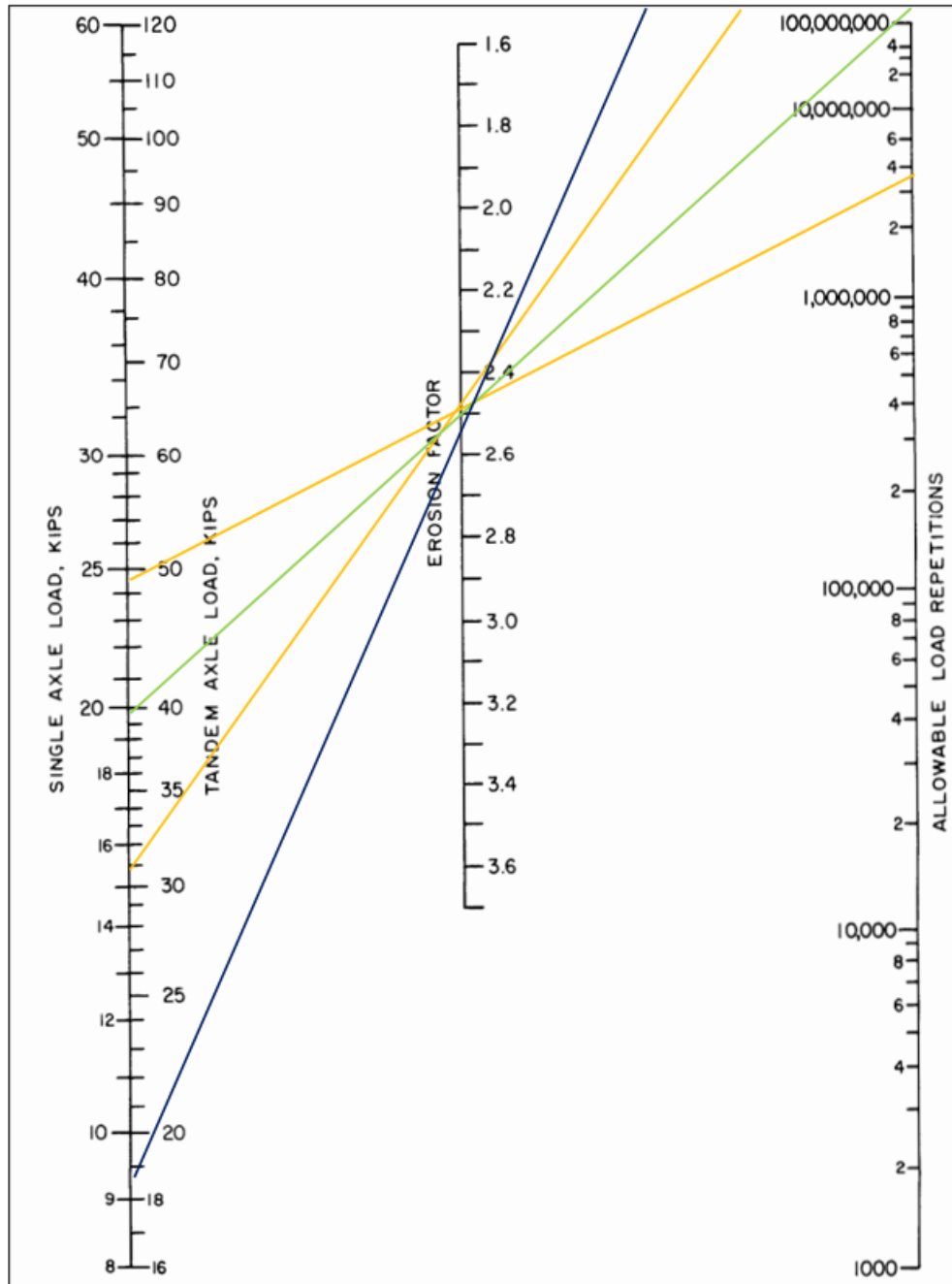
Laboratorio

Aprobación

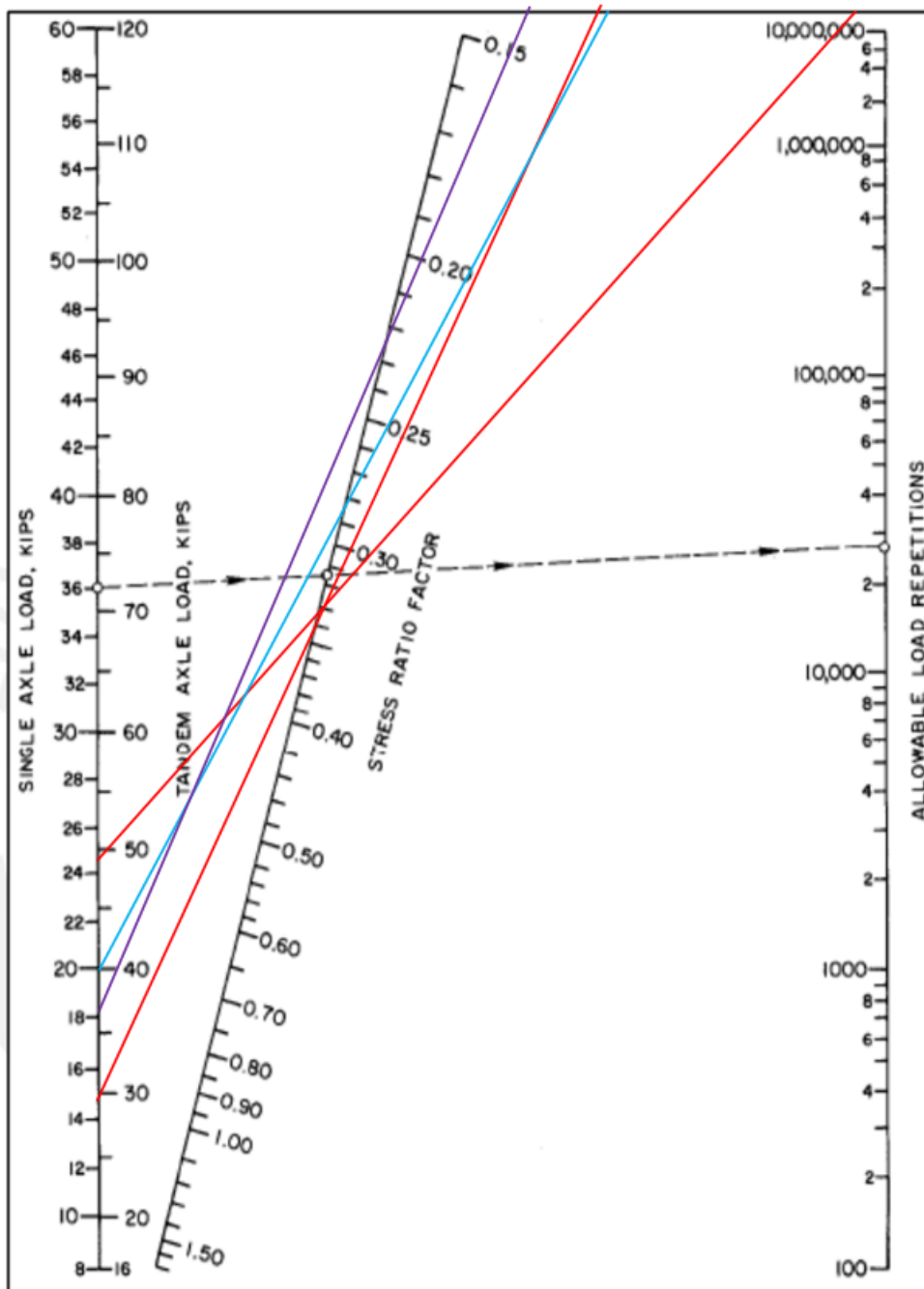
Anexo 12. Repeticiones admisibles análisis por fatiga espesor 7"



Anexo 13. Repeticiones admisibles análisis por erosión espesor 7"



Anexo 14. Repeticiones admisibles análisis por fatiga espesor 7.5"



Anexo 15. Repeticiones admisibles análisis por erosión espesor 7.5"

