

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Debido al avance constructivo que se está presentando a nivel nacional en los diferentes proyectos, en este proyecto se va a realizar un análisis comparativo de metodologías en diseño de pavimentos rígidos en diferentes tramos seleccionados en nuestra región que no presenten una carpeta estructural.

Para la construcción de vías, la función de un pavimento es la de proveer una superficie de rodamiento adecuada al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo, sin que se sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y de los suelos de fundación.

Un buen diseño debe cumplir con las condiciones enunciadas es decir al menor costo inicial y con un mínimo de conservación durante la vida útil del pavimento

1.2. Situación problemática

En la actualidad existen diferentes tipos de vehículos que transitan en nuestra región generando de esta manera distintos tipos de cargas, las cuales son transmitidas a la superficie de rodadura y de este modo llegando al terreno de fundación, argumentando los diferentes diseños de espesores de la capa de rodadura.

Para el diseño de espesores existen diferentes metodologías en pavimentos rígidos que se utilizan en el país, proponiendo el método universal AASHTO, la aplicación del método PCA y adicionalmente el método mecanicista, razón por la cual surge la inquietud de analizar los métodos ya mencionados y además comparar los diferentes tipos de pavimentos rígidos sometidos a diferentes cargas de tráfico (bajo, medio y alto).

Por lo anterior indicado, se puede concluir que la red vial en Tarija, se encuentra en un proceso de desarrollo, motivo por el cual, para contribuir con el progreso vial de nuestro departamento, es necesario realizar diseño de acuerdo a las normas vigentes y aplicables en nuestra situación geográfica, a fin de que se satisfagan las necesidades presentes y futuras, ya que de nada valdría, realizar diseños que sirvan a corto plazo o que sean aplicables a nuestras necesidades, ya que con esto se estaría ocasionando graves problemas a la vialidad y desarrollo de nuestra región

1.2.1. Problema

¿Cuál es el espesor de diseño de pavimento rígido entre los métodos AASHTO 93, MECANICISTA Y EL PCA para cumplir las cargas de bajo, medio y alto tráfico?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

El factor más importante en el diseño de pavimentos rígidos es el tránsito que debe considerarse la geometría de las cargas, el tipo de eje del vehículo y la intensidad de carga transmitida por este. Para la determinación de los ejes equivalentes de tráfico se debe realizar aforaciones vehiculares en tramos seleccionados sin pavimentar mediante planillas, tomando en cuenta la clasificación vehicular según la ley de cargas en nuestro país.

Se determinará mediante ensayos de laboratorio de suelos y hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho las características particulares de los materiales de los tramos elegidos

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

1.2.3.1. Delimitación temporal

Los datos que serán considerados para la realización de este estudio de aplicación propuestos serán enmarcados dentro del periodo de un mes (Agosto) considerando únicamente aforo vehicular en los tramos selectivos y dos meses (Septiembre y Octubre) para ensayos de laboratorio de suelos y hormigón que permitirá determinar las características del tipo de suelo en cada tramo, y las propiedades del hormigón sometido a compresión y flexión.

1.2.3.2. Delimitación espacial

El estudio de tráfico propuesto se ejecutará dentro de nuestro departamento de Tarija provincia Cercado indicando en el siguiente cuadro los tramos seleccionados.

Tabla 1.1: Tramos seleccionados para estudio de tráfico

Tramo	(Km)
Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio	1,52
Barrio Tarijeño en Progreso Av. Gran Chaco	1,62
Barrió El Trigal Av. La Paz	1,55

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Justificación

Se considera de gran importancia realizar un análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo diferentes cargas de tránsito y especificaciones técnicas, para evaluar si las perspectivas tomadas en la conformación del tránsito que circula en la región y las características de la subrasante son adecuadas, si el suelo de soporte del pavimento utilizado y las características del concreto rígido a utilizar cumplen de acuerdo a especificaciones, los cuales son objetos de este estudio para poder definir la verdadera incidencia que pueden tener en las variaciones de la estructura del pavimento rígido. Con el diseño de espesores en los tramos seleccionados se podrá contribuir con el progreso vial de nuestra región

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de diseño de pavimentos rígidos de bajo, medio y alto tráfico aplicables a nuestra región de acuerdo a metodologías propuestas y que cumplan con las solicitaciones de cargas del tráfico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los estudios del estado estructural del suelo de tramos específicos en nuestra región sin pavimentar
- Realizar un estudio de tráfico de los tramos seleccionados, para el diseño de pavimento rígido de acuerdo a volumen y carga del tránsito
- Diseñar los espesores para cada tramo con metodologías propuestas
- Realizar los ensayos para determinar su resistencia a la compresión y flexión del hormigón
- Hacer ensayos de laboratorio de suelos para determinar las características de suelos presentes en cada tramo
- Realizar un análisis de espesor de pavimento rígido y costos de diferentes metodologías propuestas

1.5. Hipótesis

Se propone desarrollar diseños de espesores de pavimento rígido por diferentes metodologías (AASHTO 93, Mecanicista y PCA), de manera que cada diseño estructural cumpla con las solicitaciones y requerimientos de tráfico (bajo, medio y alto) presentes

en los tramos seleccionados y determinar cuál de estas presenta un óptimo diseño, además de una verificación de datos de entrada y salida en cada método propuesto. Primeramente es necesaria la búsqueda de información básica del suelo lo cual se logrará con ensayos de laboratorio y la proyección de tránsito necesaria para diseñar una estructura de pavimento rígido.

1.6. Operacionalización de las variables

1.6.1. Variable independiente: Calidad de los materiales en cada tramo seleccionado

Depende de las características del suelo, límites de atterberg, valor soporte del suelo (CBR), clasificación del suelo, resistencia a la compresión y tracción del agregado grueso y la granulometría de ambos agregados (fino y grueso), es necesario verificar la calidad de los materiales que va a servir como fundación para el diseño del pavimento rígido.

1.6.2. Variable dependiente: Diseño de Pavimento Rígido por metodologías AASHTO 93, Mecanicista y PCA

El espesor de losa de hormigón calculado debe soportar el paso de un número determinado de cargas de tráfico

El diseño de pavimento rígido por las metodologías propuestas depende de parámetros de tráfico y carga vehicular y los materiales que conforman las estructuras del pavimento rígido.

Tabla 1.2: Descripción de variables dependientes e independientes

Variable	Descripción Conceptual	Ensayo	Unidad de Medida	Instrumento de Medición
Calidad de los Materiales	Es necesario verificar la calidad de los materiales que van a servir como fundación para el diseño del pavimento rígido, específicamente se debe determinar el CBR y el módulo de reacción del material o capa que va a funcionar como subrasante para usar como determinación de la calidad de la misma	Granulometría Ag. Fino y Grueso	mm	Curva granulométrica
		Límites de Atterberg	%	Porcentaje de Humedad
		Compactación de Suelos	%	Curva de Compactación
		Relación de Soporte del Suelo	Mpa	Clasificación Cualitativa del Suelo
		Clasificación del Suelo	-	SUCS - AASHTO
		Finura del Cemento	mm	Tamiz No 200
		Peso Específico del Cemento	gr/cm3	tabla de control
		Peso Unitario de los Agregados	gr/cm3	Curva granulométrica
		Elaboración de Probetas de Hormigón	m3	Probetas Cilíndricas
		Flexión y Compresión del Hormigón	Mpa	7,14 Y 28 días
Metodología de diseño				
Diseño de Pavimento Rígido	Método AASHTO 93	Volumen de Tráfico y Carga	Número de vehículos por tipo	Tablas de calculo
			Carga por Eje	Tablas de calculo
			Ejes Equivalentes	Tablas de calculo
	PCA	Volumen de Tráfico y Carga	Número de vehículos por tipo	Tablas de calculo
			Carga por Eje	Tablas de calculo
			Ejes Equivalentes	Tablas de calculo
	Mecanicista	Volumen de Tráfico y Carga	Número de vehículos por tipo	Tablas de calculo
			Carga por Eje	Tablas de calculo
			Ejes Equivalentes	Tablas de calculo
		Clima	Temperatura del medio ambiente	Ficha de observación
		Comportamiento de los Materiales	Características del concreto	Tablas
			Acero de refuerzo	Tablas

Fuente: Elaboración propia

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de estudio del proyecto de grado propuesto es realizar un diseño de pavimentos rígidos en los diferentes tramos de estudio seleccionados en nuestra región, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), la de Portland Cement Association (PCA) y mecánico, para luego comparar ambos resultados y escoger la mejor opción. Una vez obtenidos los diseños y resultados se va a efectuar un análisis comparativo con el fin de encontrar la estructura más óptima del pavimento.

Es importante resaltar que el conteo vehicular correspondiente al estudio de tráfico y la caracterización de los materiales son estudios técnicos necesarios de realizar debido a que proveen las principales variables que deben considerarse en el diseño, construcción y el comportamiento de las estructuras del pavimento.

El estudio del proyecto también abarca un estudio de suelo en cada tramo, realizando una caracterización de los suelos en los tramos selectivos, conociendo de esta forma el comportamiento del suelo a ensayos físicos y su capacidad soporte del suelo mediante ensayo

También se hará una caracterización de agregado fino y grueso de la chancadora “San Blas”, con el fin de conocer sus propiedades físicas y sus propiedades en cuanto a diseño de mezclas en hormigones para conocer su resistencia a compresión y flexión del hormigón a 28 días

CAPÍTULO II
BASES TEÓRICAS DE
DISEÑO DE
PAVIMENTOS RÍGIDOS

CAPITULO II

BASES TEÓRICAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.1. Marco Teórico

Para el diseño y construcción de un pavimento se debe asegurar el comportamiento del pavimento de hormigón; en este caso, es necesario que el suelo de la sub-rasante posea características y densidades uniformes, es decir, soporte uniforme.

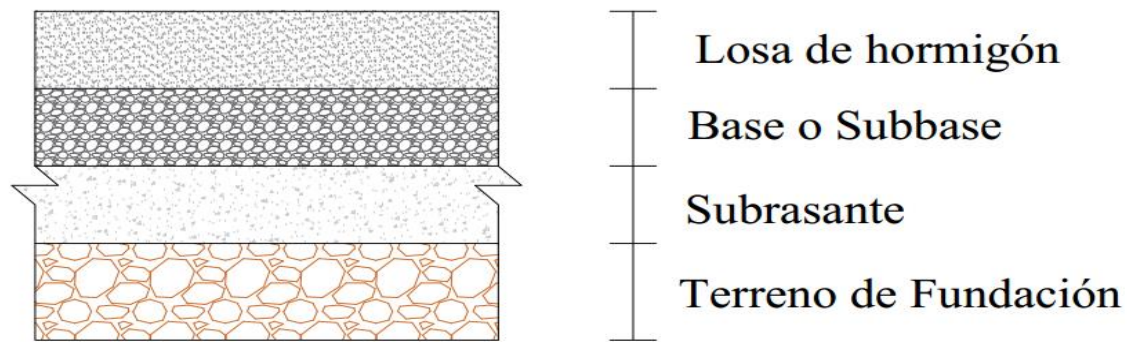
2.2. Bases teóricas y conceptuales

2.2.1. Pavimentos rígidos

Un pavimento rígido consiste básicamente en una losa de hormigón simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. Se compone de losa de hormigón hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa en las juntas de las losas y por eventos emergentes. Los pavimentos rígidos o hidráulicos, como se los conoce también, defieren de los pavimentos de asfaltos o flexibles, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, además de que se ven considerablemente afectados por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos
- Esfuerzos directos de compresión y cortadura causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión, contracción del hormigón y por efectos de los cambios de temperatura

Figura 2.1: Estructuras de un Pavimento Rígido



Fuente: Elaboración propia

2.2.1.1. Sub rasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la muestra de suelo de la sub rasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento rígido es esencialmente el ajuste de la carga de diseño como por rueda a la capacidad de la sub rasante.

2.2.1.2. Sub Bases

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub rasante y la losa de pavimento rígida. Consiste de una o más capas compactadas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es prevenir el bombeo de los suelos de grano finos. Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento rígido, de tal manera que la capa de sub rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo. La sub base debe controlar los caminos de volumen y elasticidad que serían dañinos para la estructura de pavimento rígido. Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua contaminante, el bombeo de granos finos y protegiendo así a la estructura del pavimento rígido, por lo

que generalmente se usan materiales granulares compactados. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si este no dispone de una subrasante o sub base adecuada, sirviendo como material de transición se produce fallas en la superficie de rodadura

2.2.1.3. Losa de Hormigón o Superficie de Rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con hormigón, simple o reforzado, por lo que debido a su rigidez y el módulo de la elasticidad, asientan la capacidad soporte de tránsito y otros en la losa de hormigón, más que en la capacidad de la sub rasante, dado que no se usa capa de base. En general, se puede indicar que el hormigón distribuye mejor y de manera uniforme las cargas hacia la sub estructura de pavimento rígido.

2.2.1.4. Hormigón

Es hormigón es conformado por una mezcla homogénea de cemento portland, agua, agregados fino y grueso, aditivos y algún tipo de refuerzo (acero, varillas de acero de transferencia de cargas y/o fibras de acero o elásticas) si existiera la necesidad. (Montejo Fonseca,Alfonso; Ingenieria de Pavimentos; 2da. Edicion)

2.2.2. Tipos de Pavimentos Rígidos

2.2.2.1. Pavimento Rígidos de Hormigón Simple

2.2.2.2. Pavimento Rígidos de Hormigón Reforzado

2.2.2.3. Pavimentos Rígidos con Refuerzo Continuo

2.3. Estudios geotécnicos

El estudio de suelo resolverá las características geotécnicas del terreno a lo largo del trazo definitivo, definiendo las unidades estratigráficas considerando las características geológicas del grado de sensibilidad o la pérdida de estabilidad en relación a la obra a construir.

El análisis de suelo fue realizado de acuerdo a lo exigido según el manual de ensayos de suelos y materiales de la Administradora Boliviana de Carreteras volumen 4, siendo una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados que tiene como finalidad:

- El reconocimiento e identificación de los materiales de superficie y subsuelo existentes a lo largo de la zona de construcción
- La determinación y evaluación de las características físico - mecánicas de los suelos presentes en el área que comprende el estudio

De acuerdo a la necesidad del estudio de mecánica de suelos se puede distribuir el estudio de la siguiente manera:

2.4. Clasificación de suelos

2.4.1. Sistema de Clasificación de Suelo de la AASHTO

- Determinación del contenido de humedad
- Análisis granulométrico
- Determinación del límite líquido
- Determinación del límite plástico
- Determinación del índice de plasticidad
- a) Calidad en la construcción de la estructura del pavimento
 - Ensayos de compactación de suelo – Proctor Estándar T-99
 - Determinación del peso unitario o máxima densidad
 - Optimo contenido de humedad
- b) Capacidad de carga de los suelos
 - Ensayo de California Bering Ratio (CBR), tanto en campo como en laboratorio

El sistema de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO) es uno de los más utilizados actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras.

De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A – 1 al A – 8.

En este sistema de clasificación los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van del A – 1 al A – 7. Estos a su vez se subdividen en 12 subgrupos. Los suelos con elevada proporción de materia inorgánica se clasifican como A – 8.

Tabla 2.1: Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

Clasificación general	Material granular (35% o menos pasa el tamiz N°200)							Material limo - arcilloso (Más del 35% pasa el tamiz N°200)			
Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupo	A- 1a	A- 1b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
porcentaje que pasa el tamiz N°10 (2,00 mm)	50 máx.										
N°40 (0,425 mm)	30 máx.	50 máx.	51 min.								
N°200 (0,075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	
Características del material que pasa el tamiz N°40											
Limite liquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Terreno de fundación	Excelente a bueno			Excelente a bueno				Regular a malo			
*El índice de plasticidad del subgrupo A - 7 - 5, es igual o menor a LL - 30											
*El índice de plasticidad del subgrupo A - 7 - 6, es mayor que LL - 31											

Fuente: Bowles, Joseph – 1980 – pág. 70.

2.4.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción de ingeniería.

Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz N°200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los seis principales tipos de suelos y sus respectivos prefijos son los siguientes:

G = Grava

S = Arena

M = Limo

C = Arcilla

O = Limos o Arcillas inorgánicas

Pt = Turba y suelo altamente orgánico

Los sufijos que indican las subdivisiones en dichos grupos son los siguientes:

H = Alta plasticidad

S = Baja plasticidad

W = Bien Graduado

P = Mal graduado

2.4.2.1. Suelos Granulares

En este grupo se hallan las gravas, arenas y suelos gravosos o arenosos, con pequeñas cantidades de material fino (limo o arcilla). Estos suelos corresponden en líneas generales a los clasificados como: A – 1, A – 2 y A – 3, por la AASHTO y son designados de la siguiente forma:

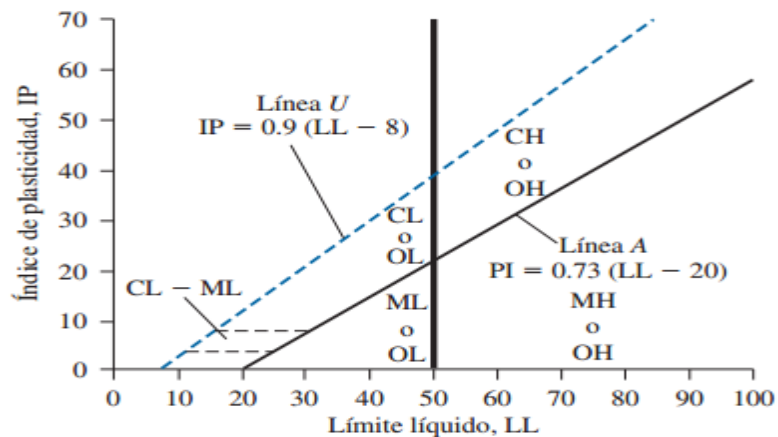
- Gravos o suelos gravosos: GW, GC, GP Y GM.
- Arenas o suelos arenosos: SW, SC, SP y SM.

2.4.2.2. Suelos Finos

En este grupo se hallan materiales finos, limosos o arcillosos de baja o alta compresibilidad; son designados de la siguiente forma (Administradora boliviana de carreteras; Manual de ensayos de suelos y materiales):

- Suelos de baja o mediana compresibilidad: ML, CL y OL.
- Suelos de alta compresibilidad: MH, CH y OH

Figura 2.2: Carta de Plasticidad



Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, Braja M. Das 7ma. Edición

Tabla 2.2: Sistema de Clasificación de Suelos SUCS

Divisiones Mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos el 50% o más se retuvo en el tamiz N°200 (0,075 mm)	Grava <50% de la fracción gruesa que pasa el tamiz N°4 (4,75 mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz N°200	GW	Grava bien graduada, grava fina o gruesa
			GP	Grava pobremente graduada
		Grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz N°200	GM	Grava limosa
			GC	Grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz N°4	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz N°200	SW	Arena fina a gruesa
			SP	Arena pobremente graduada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz N°200	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
Suelos de grano fino más del 50% de la muestra pasa el tamiz N°200 (0,075 mm)	Limos y arcillas límite líquido <50	Inorgánico	ML	Limo
			CL	Arcilla
	Limos y arcillas límite líquido ≥50	Inorgánico	MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		Orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba

Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, Braja M. Das 7ma. Edición

2.5. Estudio de Tráfico

Tiene por objeto determinar las incidencias de las cargas y volumen vehicular con la finalidad de obtener el parámetro del tráfico, para lo cual fue necesario la evolución del tráfico actual mediante la realización de un censo vehicular con clasificación.

Debe destacarse el hecho de que la determinación del tráfico es de vital importancia para poder adelantar otras actividades como la de realizar el diseño adecuado de la estructura del afirmado, así como también del pavimento y la evaluación del proyecto, pues gran parte de los beneficios derivados del mismo son debido a los ahorros de operación vehicular.

A continuación se nombra los factores que influyen la performance del pavimento rígido referentes al tráfico:

- Carga bruta y presión de llanta
- Propiedades del terreno de fundación y materiales del pavimento
- Repetición de carga
- Velocidad de diseño

- Eje y configuración de rueda

2.5.1. Aforo o conteo volumétrico de tráfico

Su principal objetivo es de determinar la demanda vehicular esperada para la vía nueva a construir. De acuerdo a los requerimientos del estudio, se realizaron los conteos volumétricos de tráfico que corresponden a la información que permite establecer el TPDA del tráfico para el año base del estudio.

2.5.1.1. Tránsito Promedio Diario Anual

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es también conocido como índice Medio Diario Anual (IMDA), el cual es obtenido a partir del promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año

2.5.1.2. Tasa Anual del Crecimiento de tránsito

Se denomina así al incremento de tránsito vehicular que va aumentando con el transcurso del tiempo, hasta llegar a un punto de saturación en el que se da un incremento mínimo. Este incremento es expresado de manera porcentual, la cual sirve para poder calcular el factor de crecimiento.

2.6. Diseño Estructural del Pavimento

Para un diseño completo de un sistema vial se necesita del conocimiento de todas las variables que hemos mencionado anteriormente, complementando con un excelente diseño de juntas, por lo tanto, existen muchas metodologías de diseño en el mundo que se clasifican en tres grupos; (Mora, Samuel; Pavimentos de Hormigón Hidráulico: FIC – UNI ASOCEM)

- Teóricas
- Empíricas
- Semi Empíricas

2.7. Diseño de Pavimentos Rígidos

2.7.1. Consideraciones generales

El objetivo del diseño de pavimentos es contar con una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un periodo fijado por las condiciones de desarrollo. Con respecto a los métodos de diseño de pavimentos, tradicionalmente se han limitado a determinar el espesor de la estructura. En el caso de los pavimentos de hormigón, estos métodos se basan

exclusivamente en los conceptos de fatiga mecánica para determinar, mediante modelos matemáticos, el espesor y la calidad del hormigón.

De acuerdo con el criterio de los métodos mencionados para el diseño de losas soportadas sobre el terreno, como es el caso de pavimentos de hormigón, el hormigón a emplearse en este tipo de losas será especificado de acuerdo a su resistencia a la flexión por tensión o módulo de ruptura (MR), en vez de la resistencia tradicional a la compresión ($f'c$) que es comúnmente usada en otro tipo de estructura de hormigón.

Lo anterior se fundamenta al considerar que en una losa de hormigón sometida a cargas dinámicas, los esfuerzos de flexión internos se encuentran más cercanos a su resistencia última a la flexión (MR), que los esfuerzos internos de compresión contra su resistencia última a la compresión ($f'c$).

2.7.2. Espesor del pavimento

Para el cálculo del espesor del pavimento de hormigón, según método AASHTO 93, es necesario conocer algunos aspectos del proyecto como los indicados a continuación (Montejo Fonseca, Alfonso; ingeniería de pavimentos; 2da. Edición):

- Periodo de diseño (vida útil)
- Resistencia a la tensión por flexión del concreto a utilizar
- Módulo de reacción (k) del terreno natural
- Información del tráfico

2.7.3. Variables de diseño

Para satisfacer adecuadamente las condiciones tanto del suelo como de carga y tráfico a los que van a estar sometidos los pavimentos, para este proyecto se utilizarán tres métodos mencionados a continuación:

- AASHTO 93 (American Association of State Highways and Transportation Officials)
- PCA (Portland Cement Association)
- Mecanicista

2.7.3.1. Método AASHTO 93 (American Association of State Highways and Transportation Officials)

2.7.3.1.1. Módulo de Resilencia

Los materiales que constituyen los pavimentos se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico. Con el fin de tener en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura del pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suele denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la carga.

Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando y para ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega a un estado tal que en toda la deformación es recuperable, en ese momento tiene un comportamiento resiliente. De aquí se desprende el concepto de módulo resiliente, el cual está definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable.

2.7.3.1.2. Ensayo de Resilencia

El ensayo de módulo de resiliencia fue desarrollado a los efectos de estudiar la propiedad del material que describe el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas que al moverse imparten un pulso dinámico a todas las capas del pavimento y a la subrasante. Como respuestas a este pulso dinámico, cada capa de pavimento sufre una deflexión. El pulso de solicitaciones varía desde un valor muy bajo hasta un máximo de un breve periodo, en función de la velocidad del vehículo.

La muestra es cilíndrica y se confinan en una cámara triaxial, que permite una gran variedad de presiones de confinamiento; mediante un dispositivo especial se pueden aplicar cargas pulsantes de distinta magnitud y duración. En el ensayo se registra lo siguiente:

- Carga aplicada mediante célula de carga electrónica
- Presión de confinamiento mediante medidor de presiones
- Deformación que sufre la muestra de suelo

2.7.3.1.3. Correlación entre el %CBR y Módulo de Resiliencia

El valor de laboratorio del CBR se puede utilizar en las siguientes expresiones:

$$\text{CBR} < 10\% \quad M_R$$

$$M_R \text{ (Mpa)} = 10 \times \text{CBR} \rightarrow K \text{ con valores de 4 a 25}$$

$$M_R \text{ (Psi)} = 1500 \times \text{CBR} \rightarrow K \text{ con valores de 750 a 3000}$$

$$M_R \text{ (Mpa)} = 17,6 \times \text{CBR}^{0,64} \text{ (Powell et al)}$$

2.7.3.1.3.1. Módulo de reacción de la subrasante “K”

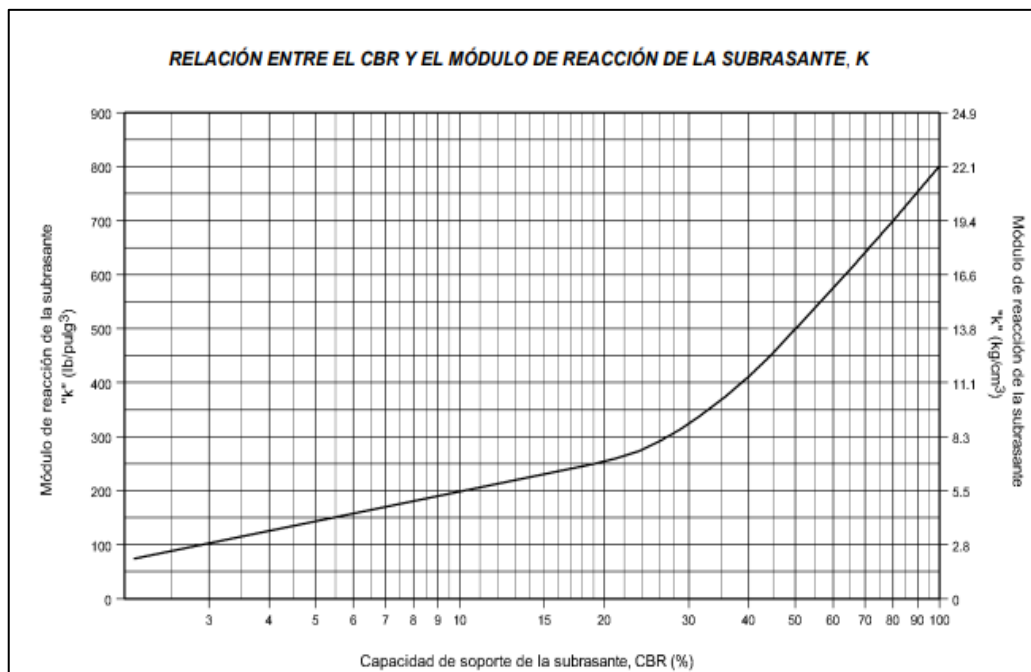
$$K \text{ para CBR} > 10\% \quad (\text{Psi})$$

$$K = 46 + 9,08 (\log \text{CBR})^{4,34}$$

$$K \text{ para CBR} < 10\% \quad (\text{Psi})$$

$$K = 2,55 + 52,5 (\log \text{CBR})$$

Figura 2.3: Relación entre el CBR y el módulo de reacción de la subrasante



Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

2.7.3.1.4. Periodo de Diseño

Los periodos de análisis recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla 1.

Tabla 2.3: Periodo de Diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Análisis (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

2.7.3.1.5. Serviciabilidad

En el procedimiento diseño AASHTO, la serviciabilidad está calificada en términos de clasificación de serviciabilidad presente (PSR). Se lo califica el PSR un grupo de usuarios que circula sobre el pavimento y lo califica de 0 a 5.

Tabla 2.4: Índice de Serviciabilidad

PSR	Condición
0 – 1	Muy Pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1997

El valor asumido depende de la importancia de la carretera y del criterio del proyectista; se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de $pt \geq 2,5$ y para carreteras de menor tránsito $pt = 2,0$.

2.7.3.1.6. Pérdida del Índice de Serviciabilidad

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento. Por tanto:

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_t$$

Donde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

p_o = Índice de servicio inicial




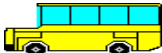






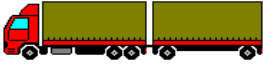
p_t = Índice de servicio final

2.7.3.1.7. Tráfico

El tráfico es uno de los parámetros importantes para el diseño de pavimentos a partir de aforos iniciales y datos históricos de los mismos, el número y composición de los ejes se determina a partir de los siguientes datos:

El TPDA es el promedio aritmético de los volúmenes diarios de tránsito encuestados durante un año, con una clasificación de vehículos utilizada por tipo y su uso. Según la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) se tiene para cada tipo de vehículo la siguiente tabla:

Tabla 2.5: Clasificación de vehículos

Codigo	Tipo de Vehiculo	Figura
1	Automoviles y vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2Tn)	
3	Minibuses (15 pasajeros)	
MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros)	
B2	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
B3	Buses grandes (mas de 35 pasajeros; de 3 ejes)	
C2m	Camiones medianos (de 2,5 a 10 tn; de 2 ejes)	
C2	Camiones grandes (mas de 10 tn, de 2 ejes)	
C3	Camiones Grandes (mas de 10 tn, de 3 ejes)	
T2S1	Camiones Semirremolques	
CR	Camiones remolques	

Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

La tasa de crecimiento representa el crecimiento promedio anual del TPDA. Según la AASHTO recomienda para realizar de una forma sencilla para todo periodo de diseño la siguiente expresión:

$$FC = \frac{(1 + r)^P - 1}{r}$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento

r = Tasa de crecimiento

P = Periodo o análisis de diseño

Los valores para factor de crecimiento para diferentes tasas anuales y periodos de diseño se muestran en la tabla 8.

Tabla 2.6: Factor de crecimiento

Período de diseño años (n)	Tasa de crecimiento anual, n en porcentaje							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6	6,31	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7	7,43	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8	8,58	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13	13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,5	24,52
14	14	15,97	18,29	19,18	21,01	22,55	24,21	27,97
15	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17	20,01	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18	18	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,6
19	19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20	24,3	29,78	33,06	36,79	41,00	45,76	57,28
25	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30	30	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,30	164,50
35	35	49,99	73,65	90,32	111,43	138,20	172,30	271,00

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1997

2.7.3.1.7.1. Configuración de Eje

Eje es un conjunto de dos o más ruedas que transmiten el peso al camino. Se las define de la siguiente manera:

- Eje delantero: eje que se encuentra en la parte delantera del vehículo
- Eje central: eje que se encuentra en la parte central del vehículo

- Eje posterior: eje que se encuentra en la parte posterior del vehículo
- Eje retráctil: conjunto de dos o más ruedas que está provisto de un dispositivo mecánico, hidráulico que sirve para modificar el peso transmitido a la superficie de la vía y que puede elevar sus neumáticos y no tocar la superficie de rodadura

2.7.3.1.7.2. Tipo de Ejes

- Eje simple: se denomina al elemento por un solo eje no articulado a otro, puede ser motriz o no direccional o no anterior central o posterior

Figura 2.4: Ejes simples de 2 Neumáticos de 7000 kg



Fuente: Guía de diseño de pavimentos, AASHTO 93

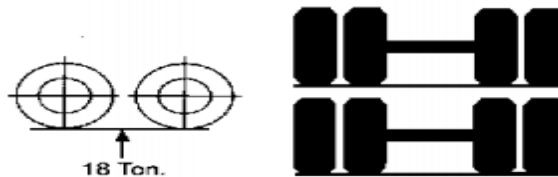
Figura 2.5: Ejes simples de 4 Neumáticos de 11000 kg



Fuente: Guía de diseño de pavimentos, AASHTO 93

- Eje tándem constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes separados por una distancia menor a 2,4 m.

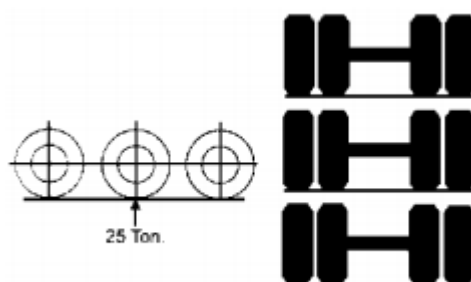
Figura 2.6: Ejes tándem de 8 Neumáticos de 18000 kg



Fuente: Guía de diseño de pavimentos, AASHTO 93

- Se denomina eje tridem a una combinación de tres ejes separados por una distancia no menor de 2,4 m

Figura 2.7: Eje tridem de 6 Neumáticos de 25000 kg



Fuente: Guía de diseño de pavimentos, AASHTO 93

2.7.3.1.8. Distribución direccional “Dd”

La distribución se toma un 50% de tránsito por cada dirección del flujo vehicular censado, en algunos casos puede variar 0,3 – 0,7 dependiendo de la dirección acumulada de vehículos cargados

2.7.3.1.9. Factor de distribución por carril “Di”

El carril de diseño es aquella que recibe el mayor número de ESAL's, para vías de dos carriles, por lo cual el factor de distribución es 100%. El factor de distribución depende del número de carriles en cada dirección.

Tabla 2.7: Factor de distribución por carril

No. Carriles en cada dirección	% de ejes simples equivalentes de 18 Kips en el carril de diseño FC
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o mas	50 - 75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1997

2.7.3.1.10 Factores equivalentes de carga (Lef)

En la siguiente ecuación se muestran los parámetros determinados por la AASHTO, el factor de carga Lef es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad ocasionada por una determinada carga de un tipo de eje y la producida por el eje patrón de 18 kips

$$Lef = \frac{N^{\circ} \text{ de ESALs de 18 kips que producen una pérdida de serviciabilidad } \Delta PSI}{N^{\circ} \text{ de ejes de X kips que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

2.7.3.1.11. Factor camión

El factor camión se define como el número de ESAL's por número de vehículos, este parámetro puede ser calculado para cada tipo de camiones.

$$\text{Factor de Camión (TF)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ ESAL's}}{\text{N}^{\circ} \text{ de camiones}}$$

2.7.3.1.12. Número de ejes equivalentes (ESAL's)

Se calcula para el carril de diseño utilizando la ecuación:

$$\text{ESAL's} = \left[\sum_{i=1}^m p_i F_i \times P \right] \times (\text{TPDA}) \times (\text{FC}) \times \text{Dd} \times \text{Di} \times 365$$

Donde:

p_i = Porcentaje total de repeticiones para el i-esimo grupo de vehículo o cargas

F_i = Factor de equivalencia de carga por eje, del i-esimo grupo de eje de carga

P = Promedio de ejes por camión

TPD = Tránsito promedio diario

FC = Factor de crecimiento para un periodo de diseño en años

Dd = Distribución direccional

Di = Distribución por carril

2.7.3.1.13. Nivel de confianza y desviación estándar

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las sollicitaciones de carga e interperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de la resistencia de cada una de las etapas y el tránsito de diseño pronosticado.

Tabla 2.8: Niveles de confianza

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Los factores de desviación normal Z_r se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.9: Factores de desviación normal

Confiabilidad	Z_r	Confiabilidad	Z_r
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Fuente: Guía para el Diseño y la Construcción de Pavimentos Rígidos Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, 1998.

2.7.3.1.14. Coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje depende de dos parámetros: la capacidad de drenaje que se determina de acuerdo al tiempo que tardará el agua en ser evacuada y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación. La AASHTO define cinco capacidades de drenaje que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.10: Tiempos de drenaje

Calidad del Agua	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada 50%
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Tabla 2.11: Coeficientes de drenaje para pavimento rígido

Capacidad de drenaje	% de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

2.7.3.1.15. Hormigón de Cemento Portland

El hormigón es un material formado por materiales granulares (piedra partida o grava y arena), embebidos en una pasta de cemento que hace de ligante. Estos materiales son obtenidos de fuentes naturales por general de ríos, los cuales deben cumplir determinadas condiciones de granulometría. El cemento se obtiene de la cocción de piedra caliza y arcilla que forma el Clinker, el cual es finamente molido agregándole un 5% de yeso para formar el cemento.

La AASHTO reconoce ocho clases de cemento:

- Tipo I: Normal
- Tipo I-a: Como el I, pero con aire incorporado
- Tipo II: Moderado calor de hidratación, resistencia a la acción de los sulfatos
- Tipo II-a: Como II, pero con aire incorporado

- Tipo III: De alta resistencia inicial
- Tipo III-a: Como III, pero con aire incorporado
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación, lento incremento en resistencia
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos

2.7.3.1.16. Resistencia a la Compresión Simple

Es la resistencia como medida de la calidad y durabilidad del hormigón, esto es un hormigón de alta resistencia a la compresión simple de buena calidad. Esta resistencia depende del tamaño y tipo de agregado, forma de agregado grueso, composición del cemento, relación agua/cemento, aditivos incorporados, tiempo y temperatura de curado, etc. El ensayo se lo realiza siguiendo normativas del ASTM C39. Se usan probetas cilíndricas de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, estas son sometidas a carga de compresión según la altura hasta que las rompen.

2.7.3.1.17. Resistencia a la Tracción Indirecta

Llamada también ensayo de tracción por compresión diametral, es un ensayo muy práctico para averiguar la resistencia del hormigón dado que los ensayos de tracción directa son muy difíciles de ejecutar. La resistencia a la tracción indirecta se determina con la siguiente expresión:

$$f'i = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times l}$$

Donde:

$f'i$ = Resistencia a la Tracción Indirecta

P = Carga aplicada

D = Diámetro aplicada

L = Longitud de la probeta

2.7.3.1.18 Caracterización del Hormigón utilizado en el Pavimento

2.7.3.1.18.1. Módulo Elástico del Pavimento

Es un parámetro que representa la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que tienen las losas de hormigón del pavimento, es un valor que representa la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo elástico del hormigón

$$E_c = 57000 \times (F'c)^{0,5}$$

Donde:

E_c = Modulo elástico de hormigón (psi)

$F'c$ = Resistencia a la compresión simple del Hormigón (psi)

En unidades métricas:

$$E_c = 150000 \times (F'c)^{0,5}$$

Donde:

E_c = Modulo elástico de hormigón (kpa)

$F'c$ = Resistencia a la compresión simple del Hormigón (kpa)

2.7.3.1.19. Módulo de Rotura o Resistencia a la Tracción por Flexión del Hormigón

Esta característica el hormigón se determina mediante el ensayo de flexión con carga al tercio

$$S'c = K \times (f'c)^{0,5}$$

$S'c$ y $f'c$ están dados en (psi), k es una constante que varía entre 7 y 12.

2.7.3.1.20. Transferencia de Carga “J”

Se considera un coeficiente de transferencia de carga J , con el fin de evaluar la capacidad del pavimento para transferir cargas a través los extremos de losas (juntas o grietas). En la tabla 14, se muestran valores de coeficientes (J), recomendados para diferentes condiciones:

Tabla 2.12: Coeficiente de transferencia de carga

Banquina	Tipos de Pavimento			
	Concreto	Asfáltico	Hormigón vinculado a calzada	
Elementos (barras) de Transferencia de cargas	Si	No	Si	No
Hormigón simple o Armado c/juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Hormigón armado Continuo	2,9 – 3,2	-----	2,3 – 2,9	-----

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

El uso de banquetas de hormigón vinculadas a calzadas o carriles reduce las tensiones y deformaciones en una losa, lo cual permite utilizar menores valores de “J”, debido a que los vehículos no transitarán sobre las banquetas.

2.7.3.1.21. Determinación del Espesor “D” losa de Hormigón

El espesor de la losa que corresponde a las condiciones de diseño se puede calcular resolviendo la ecuación planteada por el método o mediante el uso del ábaco que proporciona la AASHTO figura 2.8 y 2.9, mediante programas de computación.

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log(D + 1) - 0,06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32p_i) \times \log \frac{S'c \times Cd \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \times \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0,25}} \right]}$$

Donde:

W_{18} = Tránsito estimado para el periodo de vida útil en ejes equivalentes de 18 kips (80 KN) “ESALs”

Z_R = Factor de desviación Normal para el nivel de confiabilidad (R)

S_o = Desvío estándar de todas las variables

D = Espesor de la losa en pulgadas

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

P_i = Serviciabilidad final

$S'c$ = Módulo de rotura del hormigón en psi

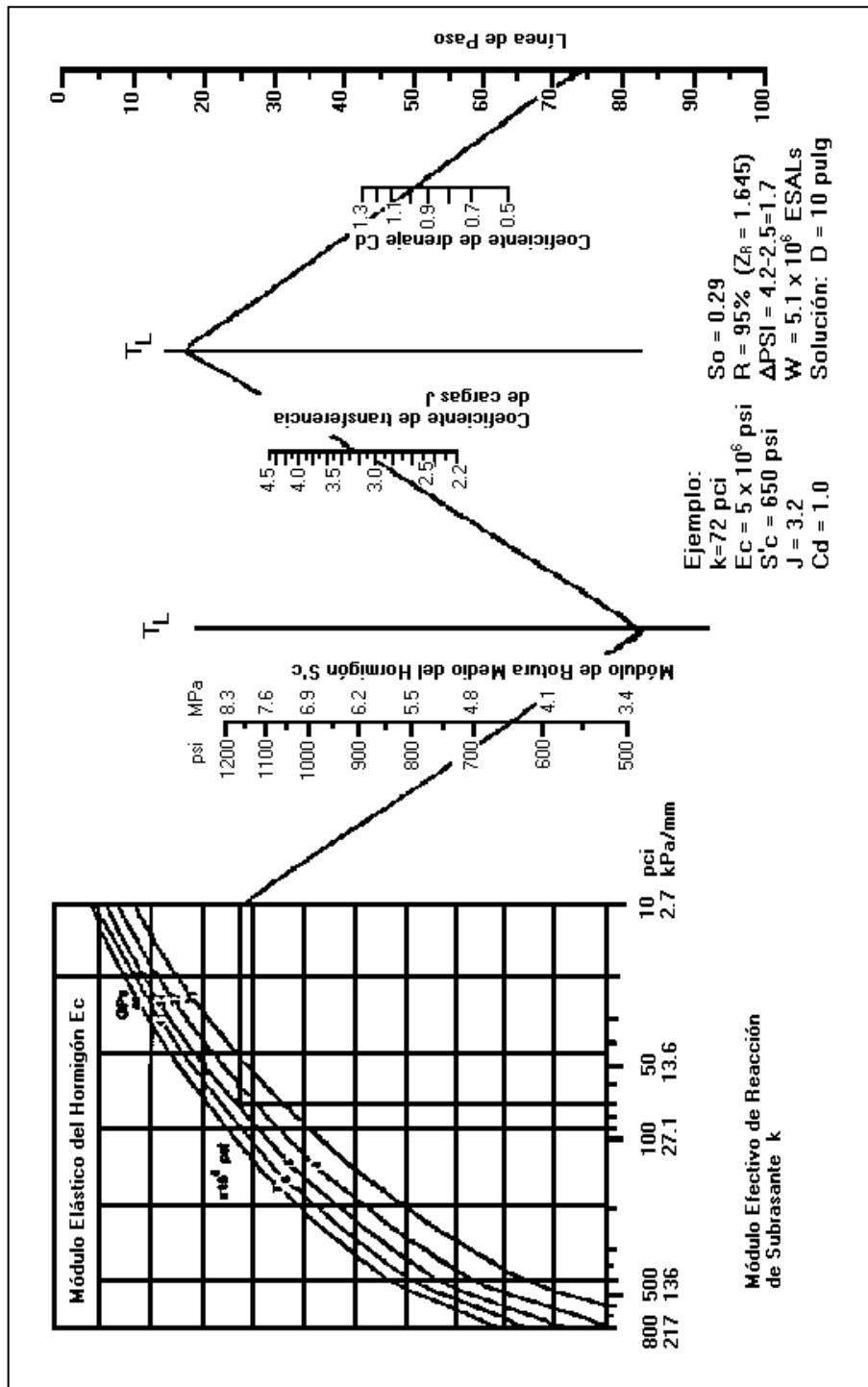
J = Coeficiente de transferencia de cargas

Cd = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón en psi

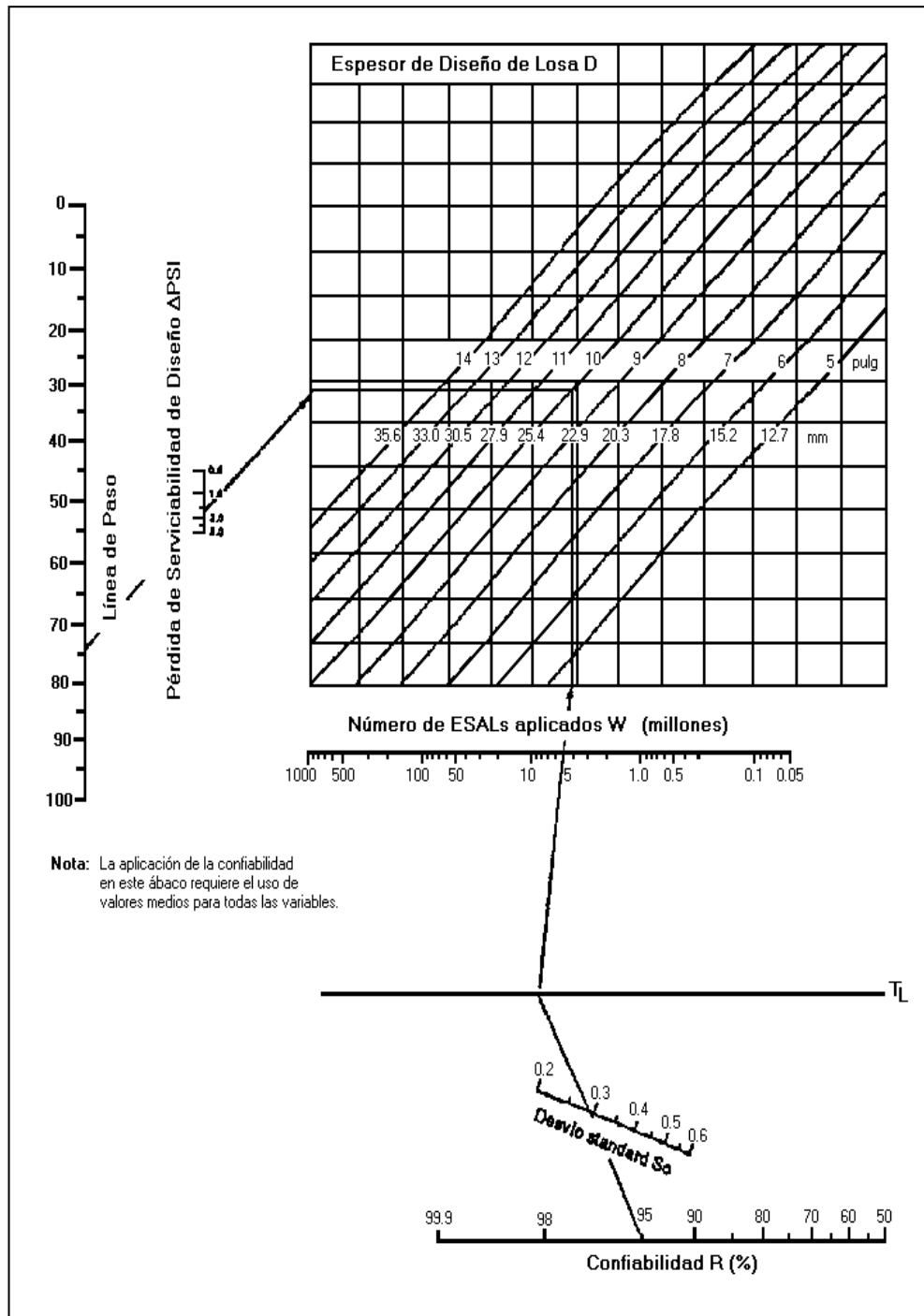
K = Módulo efectivo de reacción de la subrasante en psi/pulg

Figura 2.8: Ábaco de diseño para pavimentos rígidos



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Figura 2.9: Ábaco de diseño para pavimentos rígidos



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

2.7.3.1.22. Juntas en losas de hormigón

El diseño de juntas incluye la determinación del espaciamiento de juntas longitudinales y transversales, la transferencia de cargas y los materiales de sellado. Su finalidad es evitar que las grietas inducidas por secado, temperatura y cambios en el contenido de agua se presenten de manera desordenada, sin patrones geométricos. En general se utilizan tres tipos de juntas:

- Juntas de contracción
- Juntas de construcción
- Juntas de expansión

2.7.3.1.23. Espaciamiento entre juntas

El espaciamiento entre juntas de contracción de pavimentos de hormigón simple depende de factores principalmente locales, como la calidad de materiales y condiciones climáticas. La AASHTO recomienda que el espaciamiento entre juntas en pies no deba ser mayor a dos veces el espesor de la losa en pulgadas

Las juntas longitudinales que generalmente coinciden con las marcas de carril, deben diseñarse con separación de 2,50 a 4,00 metros (8 a 13 pies)

A continuación se describe una tabla de Espaciamiento de juntas de acuerdo al tipo de agregados y dimensiones en pasajuntas en pavimentos urbanos (Calle Layme, Willy; Universidad Mayor San Andrés; Proyecto de grado.)

Tabla 2.13: Espaciamiento entre juntas

Tipo de agregado	Espaciamiento Máximo (m)
Granito triturado	6,00
Caliza triturada	6,00
Grava calcárea	6,00
Grava silíceo	4,50
Grava tamaño máx. ≤ 3/4"	4,50
Escoria	4,50

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Tabla 2.14: Dimensiones en pasajuntas urbanos

Espesor del Pavimento (cm)	Diámetro de la Pasajunta		Longitud (cm)	Espaciamiento (cm)
	cm	pulgadas		
10-15	1,6	3/8	30	45
15-18	1,9	3/4	38	38
18-20	2,5	1	38	30
20-25	3,2	1¼	38	30

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

2.7.3.1.24. Diseño de pasadores y juntas de hormigón

Longitud de la losa

$$L = \frac{S_2}{y \times f}$$

Relación de lados

$$\frac{a}{L} \cong 0,6$$

Donde:

L = Longitud de la losa (m)

a = Ancho de la losa (m)

S₂ = Esfuerzo de tensión del hormigón (tn/m²)

y = Peso volumétrico del hormigón (2,4 tn/m³)

f = Coeficiente de fricción entre el suelo y el hormigón (usualmente 2)

Separación entre pasadores

$$l_1 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times a \times h \times y \times f}$$

Separación entre pasajuntas

$$l_2 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times L \times h \times y \times f}$$

Longitud de pasadores y pasajuntas

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times \pi \times d \times y \times U}$$

Donde:

l_1 = Separación entre pasadores (cm)

l_2 = Separación entre pasajuntas (cm)

d = diámetro de la varilla de acero (cm)

f_s = Esfuerzo de tensión del acero liso (2500 kg/cm² CA25 recomendado por norma NB 1225001)

h = Espesor de las losas (cm)

L = Longitud de la losa (cm)

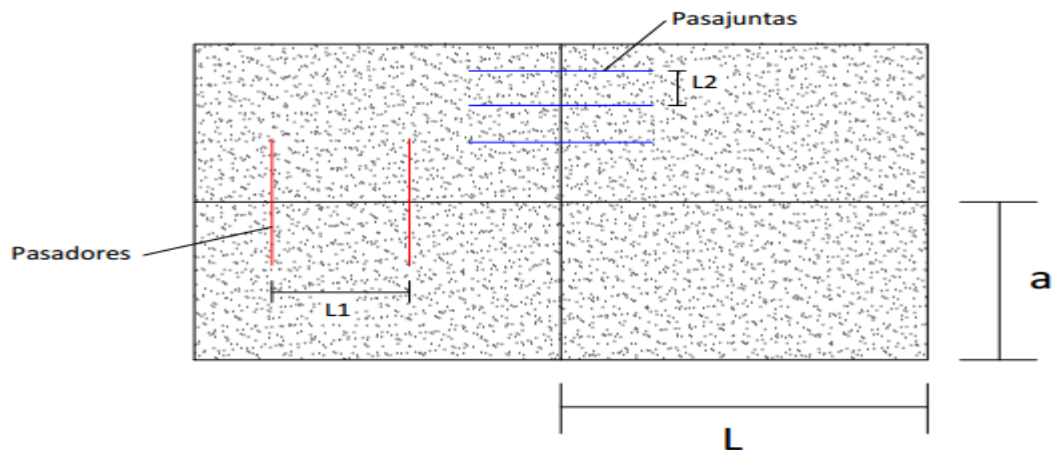
a = Ancho de la losa (m)

y = Peso volumétrico del hormigón (2,4 tn/m³)

f = Coeficiente de fricción del hormigón (usualmente 2)

U = Esfuerzo admisible de adherencia (kg/cm²)

Figura 2.10: Pasajuntas y pasadores en pavimentos rígidos



Fuente: Manual de diseño de carreteras AASHTO 93

2.8. Método PCA (Portland Cement Association)

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de falla: el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas y el criterio del esfuerzo de fatiga, descritos a continuación:

- **Análisis de fatiga.-** El paso de cargas sobre las losas del pavimento producen esfuerzos que provocan agrietamientos. Los esfuerzos se deben mantener dentro de los límites de seguridad
- **Análisis por erosión.-** La erosión de la fundación (bombeo) y de los materiales de las bermas produce efectos adversos en la losa. Para controlar el deterioro producido por la erosión, se limita la deflexión del pavimento en los bordes de las losas

Las hipótesis fundamentales que son base de diseño de la PCA son:

- El espesor de la losa debe ser uniforme. Debido a que ocurren pocas aplicaciones de carga en los bordes de las losas, el efecto de las cargas en los bordes no es crítico. Pero disminuir el espesor en bordes no sería práctico y sería costoso.
- Los esfuerzos críticos ocurren cuando las ruedas se posicionan en el borde de la junta transversal, directamente debajo el punto donde las repeticiones de carga son más frecuentes
- Los máximos esfuerzos a la tracción ocurren en la parte inferior de la losa y directamente bajo la carga; los momentos producidos actúan en un plano vertical paralelo al borde de la junta
- Aunque la previsión de una efectiva transferencia de carga en la sección transversal de las juntas es esencial para prevenir que ocurran fallas, ninguna medida es adoptada para reducir el resultado en los esfuerzos. (Ospina Camacho, Janette Patricia; Universidad Cooperativa de Colombia; Proyecto de grado)

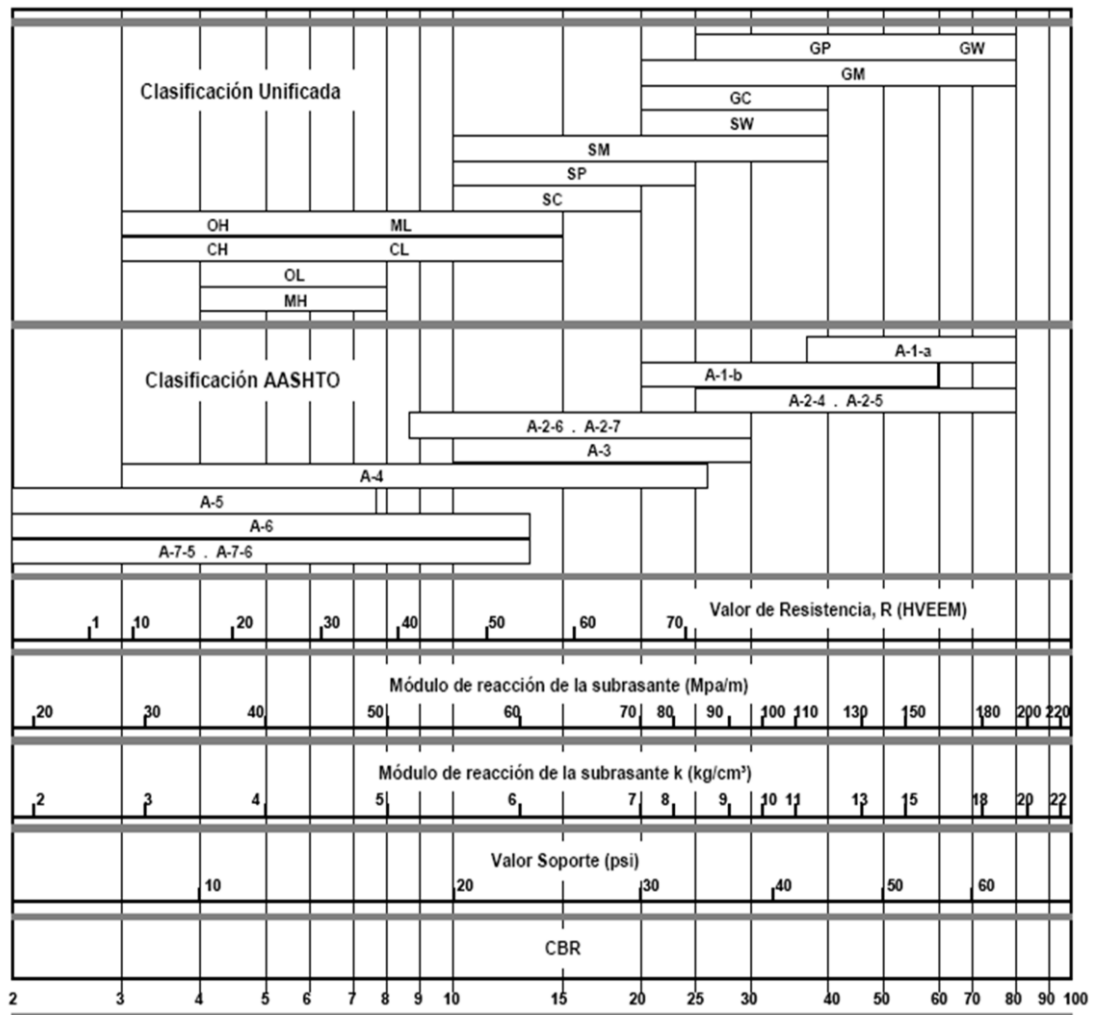
2.8.1. Parámetros de diseño método PCA

Los principales parámetros que considera el método para el diseño son los siguientes:

2.8.1.1. Resistencia a la capa de apoyo de la losa de concreto (k).-

El método establece como parámetro de resistencia el valor del módulo de reacción de la capa subrasante cuando la losa va apoyada directamente sobre ella o adopta el valor del módulo de reacción del conjunto subbase/subrasante. Los ensayos para obtener este parámetro son la clasificación de suelos o el ensayo CBR. Este procedimiento es válido ya que no es necesario conocer el valor exacto de k, debido a que variaciones pequeñas de este valor, prácticamente no afectan los espesores necesarios del pavimento. A continuación se presenta una gráfica en la cual las relaciones que se muestran son satisfactorias para este método.

Figura 2.11: Relaciones entre ensayos de capacidad de soporte y clasificación del suelo



Fuente: manual centroamericano

Las subbases son necesarias con el objeto de prevenir el efecto de bombeo, pero además incrementan la capacidad soporte del pavimento, situación que se aprovecha para reducir el espesor de la losa. En las tablas 2.15 y 2.16 se muestra el incremento del valor de k al colocar una subbase granular o subbase tratada con cemento

Tabla 2.15: Efecto de la subbase granular sobre el valor de k

Valor de K para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm.		150 mm.		225 mm.		300 mm.	
Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³
20	73	23	85	26	96	35	38	38	140
40	127	45	165	49	180	57	66	66	245
60	220	64	235	66	245	76	90	90	330
80	295	87	320	90	330	100	117	117	430

Fuente: guía para diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

Tabla 2.16: Valores de diseño para subbase tratada con cemento

Valor de K para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm.		150 mm.		225 mm.		300 mm.	
Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	127	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	-	-

Fuente: guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO 1993

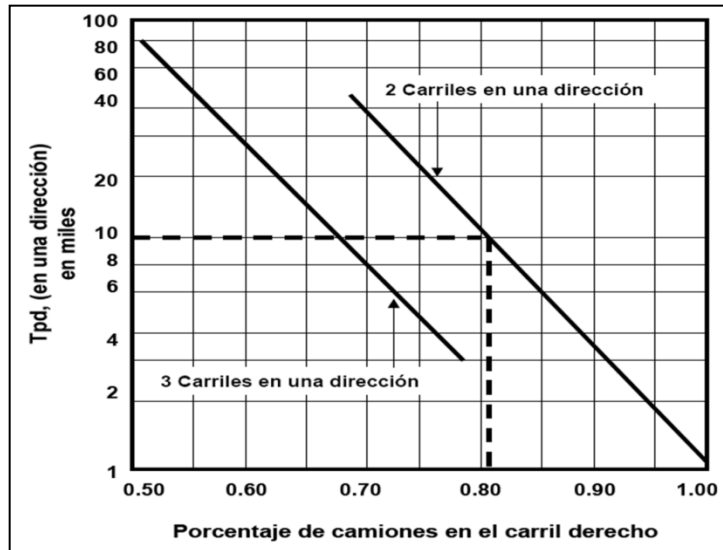
2.8.1.2. Tránsito

Para el diseño de la estructura se debe establecer el número de pasadas de ejes y la magnitud de las cargas por eje.

Las variables de tránsito que se deben conocer, son:

- TPD tránsito promedio diario inicial y futuro
- Composición vehicular
- Frecuencia de cargas por eje, de vehículos pesados
- Distribución de vehículo pesados en los carriles de la vía

Figura 2.12: Porcentaje de vehículos comerciales en el carril derecho de una carretera de carriles múltiples (con separador central)



Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

2.8.1.3. Factor de seguridad de carga

Este método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por un factor de seguridad de carga (Fsc) para lo cual se recomienda lo siguiente:

- Para vías que tiene múltiples carriles, en los cuales se espera un elevado volumen de tráfico pesado, $F_{sc} = 1,2$.
- Para carreteras y vías urbanas en las que el tránsito esperado es de un volumen moderado de vehículos pesados, $F_{sc} = 1,1$.
- Para carriles residenciales y otras que soporten bajo volumen de tránsito de camiones, $F_{sc} = 1,0$.

2.8.1.4. Periodo de diseño (T)

Normalmente estas estructuras se diseñan para periodos mayores de 20 años

2.8.1.5. Resistencia del hormigón

La resistencia del hormigón a utilizarse es la resistencia media a la flexo tracción a 28 días o módulo de ruptura, el cual se recomienda que esté en un rango entre 4,0 y 5,0 MPa.

2.8.1.6. Tipos de juntas y bermas

Con el fin de realizar los análisis de fatiga y erosión el método contempla dentro de sus análisis la incidencia de la protección lateral de la losa de concreto y el tipo de transmisión de cargas en las juntas

A continuación se observan tablas que se utilizaran en el cálculo del espesor del hormigón por este método. (Diseño de espesores para pavimentos de hormigón en carreteras y calles, método de la Portland Cement Association, Instituto boliviano del cemento y el hormigón):

Tabla 2.17: Esfuerzo equivalente sin berma de hormigón (eje sencillo y eje tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Esfuerzo Equivalente - sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)						
	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4,5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5,5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6,5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7,5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8,5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9,5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10,5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11,5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12,5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13,5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

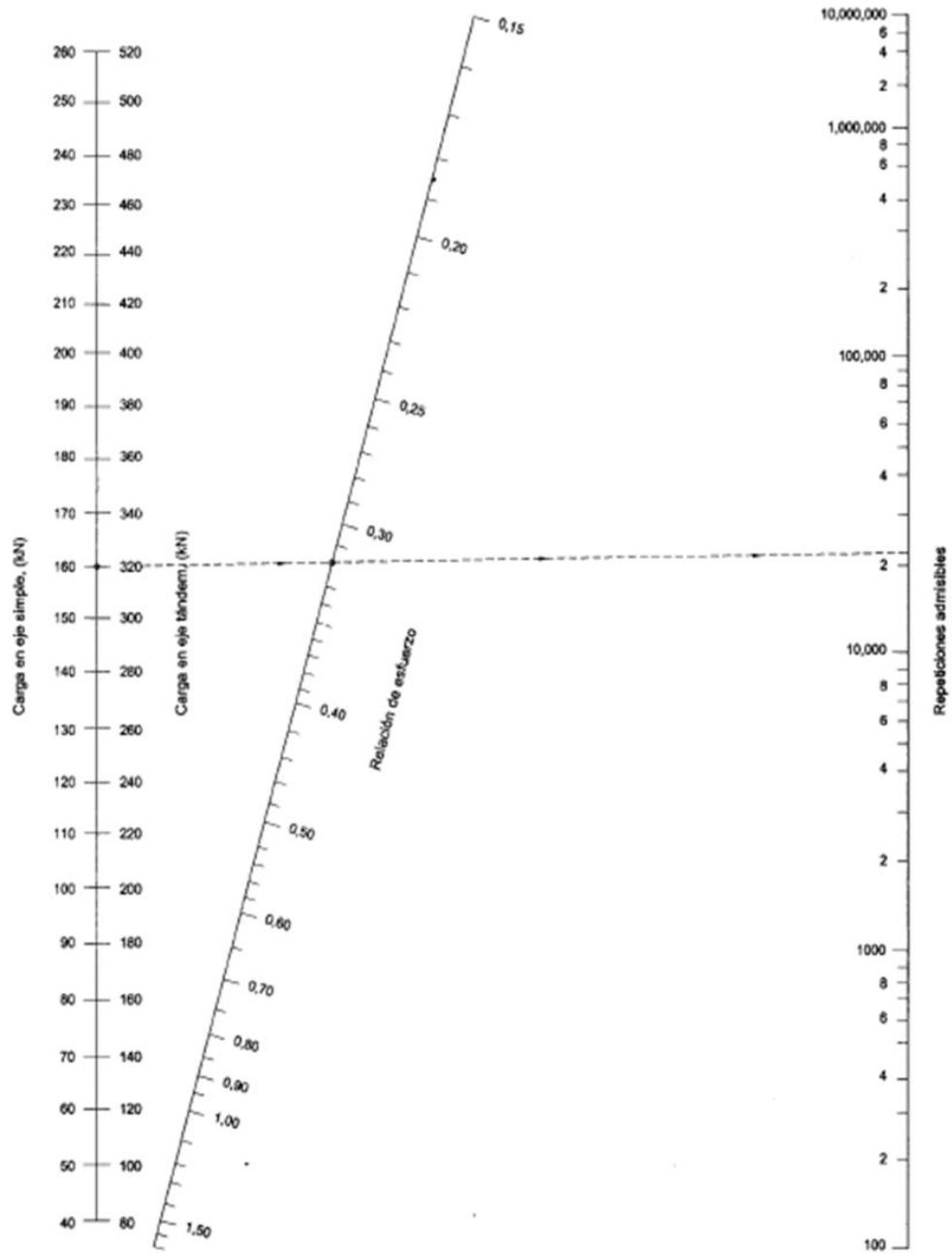
Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.18: Esfuerzo equivalente con berma de hormigón (eje sencillo y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Esfuerzo Equivalente - con Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)						
	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	97/83	93/87	87/79	81/71	77/67

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Figura 2.13: Análisis de fatiga-repetición de carga admisible con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de hormigón)



Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.19: Factor de erosión juntas con pasadores sin bermas en hormigón (eje simple y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Dowels, sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,74/3,83	3,73/3,79	3,72/3,75	3,71/3,73	3,70/3,70	3,68/3,67
4,5	3,59/3,70	3,57/3,65	3,56/3,61	3,55/3,58	3,54/3,55	3,52/3,53
5	3,45/3,58	3,43/3,52	3,42/3,48	3,41/3,45	3,40/3,42	3,38/3,40
5,5	3,33/3,47	3,31/3,41	3,29/3,36	3,28/3,33	3,27/3,30	3,26/3,28
6	3,22/3,38	3,19/3,31	3,18/3,26	3,17/3,23	3,15/3,20	3,14/3,17
6,5	3,11/3,29	3,09/3,22	3,07/3,16	3,06/3,13	3,05/3,10	3,03/3,07
7	3,02/3,21	2,99/3,14	2,97/3,08	2,96/3,05	2,95/3,01	2,94/2,98
7,5	2,93/3,14	2,91/3,06	2,88/3,00	2,87/2,97	2,86/2,93	2,84/2,90
8	2,85/3,07	2,82/2,99	2,80/2,93	2,79/2,89	2,77/2,85	2,76/2,82
8,5	2,77/3,01	2,74/2,93	2,72/2,86	2,71/2,82	2,69/2,78	2,68/2,75
9	2,70/2,96	2,67/2,87	2,65/2,80	2,63/2,76	2,62/2,71	2,61/2,68
9,5	2,63/2,90	2,60/2,81	2,58/2,74	2,56/2,70	2,55/2,65	2,54/2,62
10	2,56/2,85	2,54/2,76	2,51/2,68	2,50/2,64	2,48/2,59	2,47/2,56
10,5	2,50/2,81	2,47/2,71	2,45/2,63	2,44/2,59	2,42/2,54	2,41/2,51
11	2,44/2,76	2,42/2,67	2,39/2,58	2,38/2,54	2,36/2,49	2,35/2,45
11,5	2,38/2,72	2,36/2,62	2,33/2,54	2,32/2,49	2,30/2,44	2,29/2,40
12	2,33/2,68	2,30/2,58	2,28/2,49	2,26/2,44	2,25/2,39	2,23/2,36
12,5	2,28/2,64	2,25/2,54	2,23/2,45	2,21/2,40	2,19/2,35	2,18/2,31
13	2,23/2,61	2,20/2,50	2,18/2,41	2,16/2,36	2,14/2,30	2,13/2,27
13,5	2,18/2,57	2,15/2,47	2,13/2,37	2,11/2,32	2,09/2,26	2,08/2,23
14	2,13/2,54	2,11/2,43	2,08/2,34	2,07/2,29	2,05/2,23	2,03/2,19

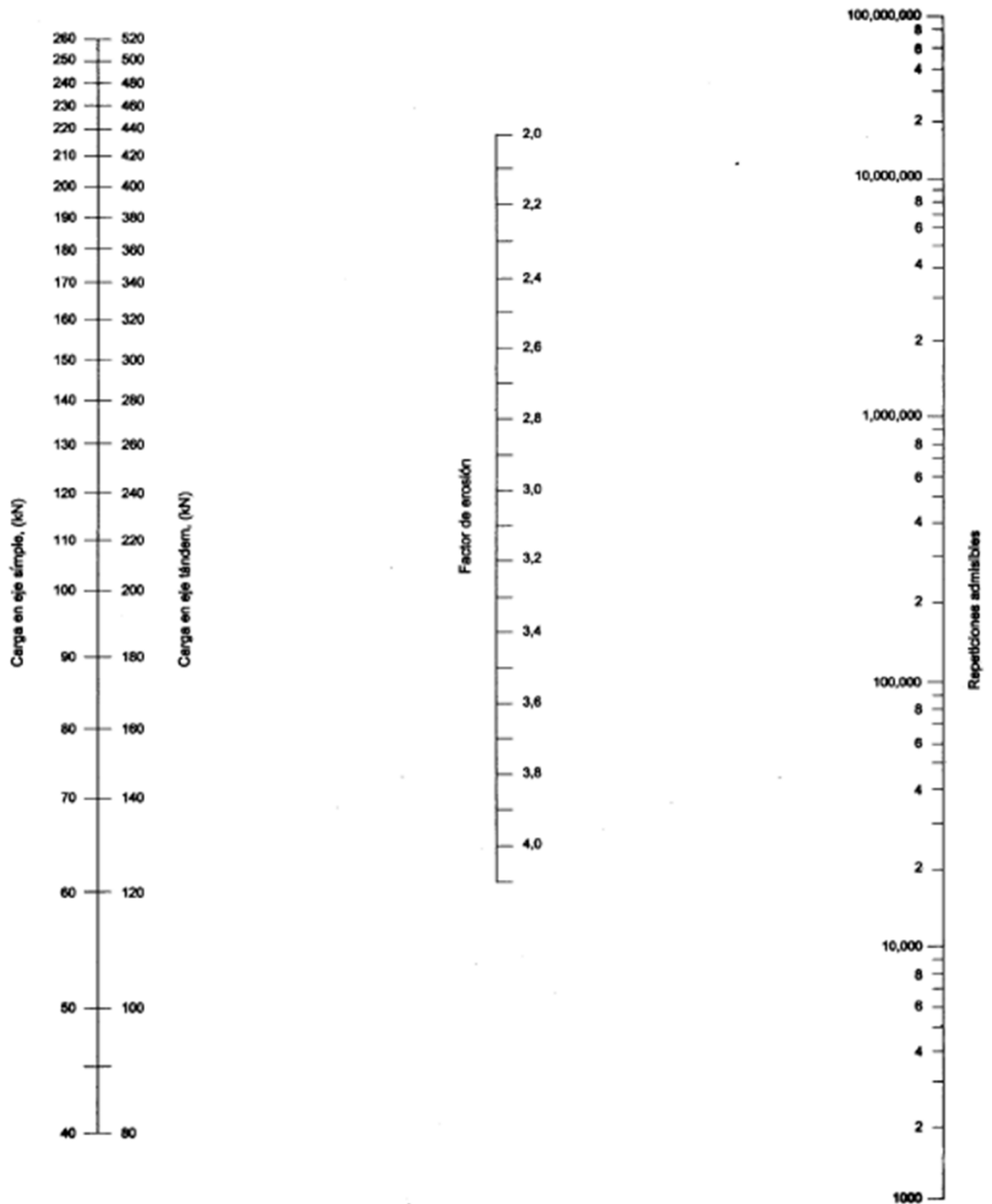
Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.20: Factor de erosión, trabazón de agregados, sin bermas de hormigón (eje sencillo y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Trabazón de Agregado, sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,94/4,03	3,91/3,95	3,88/3,89	3,86/3,86	3,82/3,83	3,77/3,80
4,5	3,79/3,91	3,76/3,82	3,73/3,75	3,71/3,72	3,68/3,68	3,64/3,65
5	3,66/3,81	3,63/3,72	3,60/3,64	3,58/3,60	3,55/3,55	3,52/3,52
5,5	3,54/3,72	3,51/3,62	3,48/3,53	3,46/3,49	3,43/3,44	3,41/3,40
6	3,44/3,64	3,40/3,53	3,37/3,44	3,35/3,40	3,32/3,34	3,30/3,30
6,5	3,34/3,56	3,30/3,46	3,26/3,36	3,25/3,31	3,22/3,25	3,20/3,21
7	3,26/3,49	3,21/3,39	3,17/3,29	3,15/3,24	3,13/3,17	3,11/3,13
7,5	3,18/3,43	3,13/3,32	3,09/3,22	3,07/3,17	3,04/3,10	3,02/3,06
8	3,11/3,37	3,05/3,26	3,01/3,16	2,99/3,10	2,96/3,03	2,94/2,99
8,5	3,04/3,32	2,98/3,21	2,93/3,10	2,91/3,04	2,88/2,97	2,87/2,93
9	2,98/3,27	2,91/3,16	2,86/3,05	2,84/2,99	2,81/2,92	2,79/2,87
9,5	2,92/3,22	2,85/3,11	2,80/3,00	2,77/2,94	2,75/2,86	2,73/2,81
10	2,86/3,18	2,79/3,06	2,74/2,95	2,71/2,89	2,68/2,81	2,66/2,76
10,5	2,81/3,14	2,74/3,02	2,68/2,91	2,65/2,84	2,62/2,76	2,60/2,72
11	2,77/3,10	2,69/2,98	2,63/2,86	2,60/2,80	2,57/2,72	2,54/2,67
11,5	2,72/3,06	2,64/2,94	2,58/2,82	2,55/2,76	2,51/2,68	2,49/2,63
12	2,68/3,03	2,60/2,90	2,53/2,78	2,50/2,72	2,46/2,64	2,44/2,59
12,5	2,64/2,99	2,55/2,87	2,48/2,75	2,45/2,68	2,41/2,60	2,39/2,55
13	2,60/2,96	2,51/2,83	2,44/2,71	2,40/2,65	2,36/2,56	2,34/2,51
13,5	2,56/2,93	2,47/2,80	2,40/2,68	2,36/2,61	2,32/2,53	2,30/2,48
14	2,53/2,90	2,44/2,77	2,36/2,65	2,32/2,58	2,28/2,50	2,25/2,44

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Figura 2.14: Repetición de carga admisible con base en el factor de erosión (sin bermas de hormigón)



Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.21: Factores de erosión – juntas con pasadores – bermas de hormigón (eje sencillo y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Dowels, con Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	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

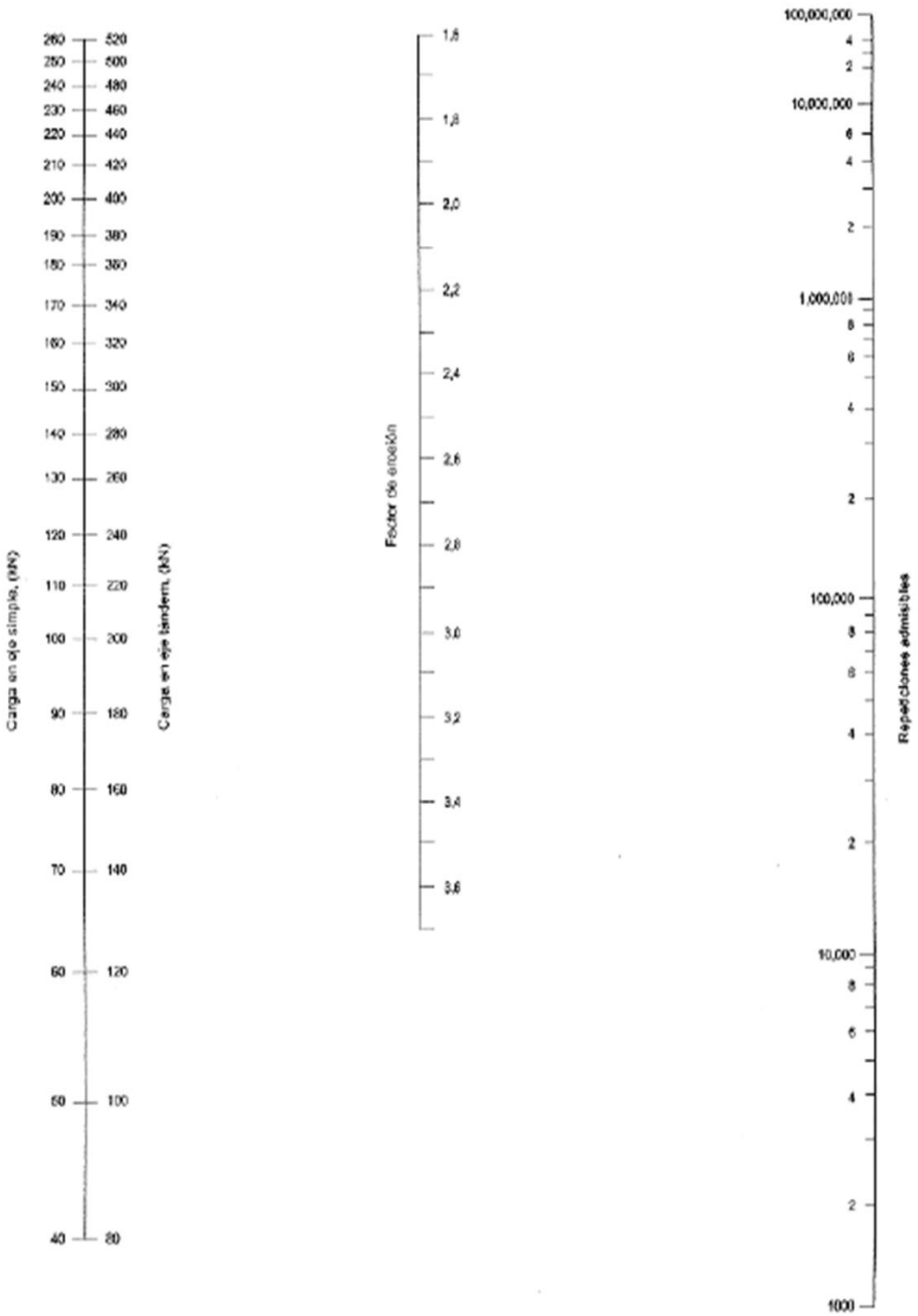
Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.22: Factores de erosión – trabazón de agregados, bermas de hormigón (eje simple y tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Trabazón de Agregado, con Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tandem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,46/3,49	3,42/3,39	3,38/3,32	3,36/3,29	3,32/3,26	3,28/3,24
4,5	3,32/3,39	3,28/3,28	3,24/3,19	3,22/3,16	3,19/3,12	3,15/3,09
5	3,20/3,30	3,16/3,18	3,12/3,09	3,10/3,05	3,07/3,00	3,04/2,97
5,5	3,10/3,22	3,05/3,10	3,01/3,00	2,99/2,95	2,96/2,90	2,93/2,86
6	3,00/3,15	2,95/3,02	2,90/2,92	2,88/2,87	2,86/2,81	2,83/2,77
6,5	2,91/3,08	2,86/2,96	2,81/2,85	2,79/2,79	2,76/2,73	2,74/2,68
7	2,83/3,02	2,77/2,90	2,73/2,78	2,70/2,72	2,68/2,66	2,65/2,61
7,5	2,76/2,97	2,70/2,84	2,65/2,72	2,62/2,66	2,60/2,59	2,57/2,54
8	2,69/2,92	2,63/2,79	2,57/2,67	2,55/2,61	2,52/2,53	2,50/2,48
8,5	2,63/2,88	2,56/2,74	2,51/2,62	2,48/2,55	2,45/2,48	2,43/2,43
9	2,57/2,83	2,50/2,70	2,44/2,57	2,42/2,51	2,39/2,43	2,36/2,38
9,5	2,51/2,79	2,44/2,65	2,38/2,53	2,36/2,46	2,33/2,38	2,30/2,33
10	2,46/2,75	2,39/2,61	2,33/2,49	2,30/2,42	2,27/2,34	2,24/2,28
10,5	2,41/2,72	2,33/2,58	2,27/2,45	2,24/2,38	2,21/2,30	2,19/2,24
11	2,36/2,68	2,28/2,54	2,22/2,41	2,19/2,34	2,16/2,26	2,14/2,20
11,5	2,32/2,65	2,24/2,51	2,17/2,38	2,14/2,31	2,11/2,22	2,09/2,16
12	2,28/2,62	2,19/2,48	2,13/2,34	2,10/2,27	2,06/2,19	2,04/2,13
12,5	2,24/2,59	2,15/2,45	2,09/2,31	2,05/2,24	2,02/2,15	1,99/2,10
13	2,20/2,56	2,11/2,42	2,04/2,28	2,01/2,21	1,98/2,12	1,95/2,06
13,5	2,16/2,53	2,08/2,39	2,00/2,25	1,97/2,18	1,93/2,09	1,91/2,03
14	2,13/2,51	2,04/2,36	1,97/2,23	1,93/2,15	1,89/2,06	1,87/2,00

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Figura 2.15: Repetición de carga admisible con base en el factor de erosión (con bermas de hormigón)



Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Tabla 2.23: Datos de distribución de las cargas del tránsito PCA

Datos sobre distribución de las cargas del tránsito			
(1) Carga por eje , KN	(2) Ejes por cada 1000 vehículos comerciales	(3) Ejes por cada 1000 vehículos comerciales (ajustados)	(4) N° esperado de ejes en el periodo de diseño
Ejes Simples			
125 - 133	0,280	0,580	6,310
115 - 125	0,650	1,350	14,690
107 - 115	1,330	2,770	30,140
97,8 - 107	2,840	5,920	64,410
88,8 - 97,8	4,720	9,830	106,900
80 - 88,8	10,400	21,670	235,800
71,1 - 80	13,560	28,240	307,200
62,2 - 71,1	18,640	38,830	422,500
53,3 - 62,2	25,890	53,940	586,900
44,4 - 53,3	81,050	168,850	1837,000
Ejes Tándem			
213 - 231	0,940	1,960	21,320
195 - 213	1,890	3,940	42,870
178 - 195	5,510	11,980	124,900
160 - 178	16,450	34,270	372,900
142 - 160	39,080	81,420	885,800
125 - 142	41,060	85,540	930,700
107 - 125	73,070	152,230	1656,000
88,8 - 107	43,450	90,520	984,900
71,1 - 88,8	54,150	112,810	1227,000
53,3 - 71,1	59,850	124,690	1356,000

Fuente: Ingeniería de Pavimentos de Alfonso Montejo Fonseca

2.10. Método Mecanicista

Este procedimiento de diseño estructural de capas de pavimento también conocido como método racional se basa en un análisis para escoger una combinación de espesores y materiales con el fin de suministrar el nivel de servicio de acuerdo con el tránsito esperado. Los elementos del procedimiento de diseño mecánico abarcan además los efectos climáticos, el modelo estructural y la respuesta del pavimento, la caracterización de los materiales, las funciones de transferencia y el análisis del comportamiento para concluir con el proceso de selección del sistema de pavimento a construir. El modelo mecánico se basa en la teoría de multicapa elástica o elemento finito y determina las reacciones del pavimento (esfuerzos)

2.10.1. Parámetros de diseño método mecanicista

Se basan en la determinación racional del estado de tensiones en cualquier punto bajo el pavimento rígido y la aplicación de un modelo de fatiga que permita estimar consumo de fatigas para cada estado tensional.

Los datos requeridos para este modelo:

Propiedades de los materiales:

- Módulo elástico de las capas que conforman el pavimento rígido, módulo resiliente del suelo de subrasante y el coeficiente de poisson
- Espesor de cada capa
- Cargas: presión de inflado de neumáticos
- Coordenadas: X,Y,Z.
- Clima

2.10.1.1. Subrasante

Se caracteriza a través del módulo resiliente, se suele utilizar la siguiente ecuación que correlaciona le CBR con el módulo de resiliencia $M_r = 5 \times \text{CBR}$ en MPa. (Miranda Granados, Lilian Margarita; modelación de pavimentos de hormigón mediante métodos mecanicistas, proyecto de grado).

2.10.1.2. Tránsito

Se caracteriza a través del número de ejes equivalentes de 18 toneladas, el eje de referencia es un eje simple de rueda doble que distribuye la carga en sus cuatro llantas. La distancia entre ejes de llantas se supone igual a 37,5 cm. Cada llanta transmite al

pavimento 3,25 toneladas, las cuales a su vez las distribuyen sobre la capa de rodadura suponiendo un área de contacto circular de 25 cm de diámetro, generando una presión de contacto aproximada de 662 KPa.

Tabla 2.24: Clasificación de Tránsito

Clasificación del tránsito a partir del número de vehículos					
Clasificación del tránsito		Numero acumulado de Vehículos			
T1		Menor a 500			
T2		Entre 500 y 1500			
T3		Entre 1500 y 4000			
T4		Entre 4000 y 10000			
T5		Entre 10000 y 20000			
Valores de CAM según el tráfico					
Clase	T1	T2	T3	T4	T5
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Fuente: Rondón y reyes, 2015 método racional

Con la siguiente ecuación se halla el número de vehículos pesados en el periodo de diseño

$$NE = N \times CAM \text{ (factor camión)}$$

Donde:

NE = Número de ejes equivalente

N = Número acumulado de vehículos pesados para el periodo de cálculo de P años

CAM = Agresividad media de los vehículos pesados en relación con el eje de referencia.

2.10.1.3. Propiedades mecánicas de los materiales

En este apartado el diseñador escoge una estructura y utiliza un programa analítico que calcule los esfuerzos y deformaciones en el rango elástico lineal del comportamiento de los materiales, los parámetros mecánicos con los cuales se caracterizan los materiales son el módulo resiliente en MPa y la relación de Poisson (ν).

Tabla 2.25: Coeficiente de poisson para diferentes materiales

Material	Rango	Valor Típico
Concreto asfaltico	0,35 - 0,40	0,35
Base granular o subbase	0,30 - 0,40	0,40
Material granular tratada con cemento	0,10 - 0,20	0,15
Suelos finos con granulares	0,30 - 0,50	0,40
Arcilla normal	0,42	0,42
Material estabilizado con cal	0,10 - 0,25	0,20
Hormigón, cemento portland	0,12 - 0,20	0,15

Fuente: Bastidas; C.B. Barreto, E.C. (1993) Caracterización dinámica de materiales viales y su aplicación al diseño racional de pavimentos

2.10.1.4. Probabilidad de falla

Se debe tener en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño anteriormente mencionadas, introduce para tal fin un factor de seguridad al diseño, para el diseño y dimensionamiento del espesor de las capas del pavimento, P_f es traducido a valores del fractil de la ley normal centrada u , los valores P_f y u se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla 2.26: Valores Probabilísticos de la ley normal, valor fractil u

Valores probalísticos de la ley normal					
Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,710	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,6	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0,000

Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

2.10.1.5. Valores de esfuerzos admisibles

Una vez calculados los esfuerzos mediante tablas y fórmulas según el método racional, estos se comparan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada y, en un procedimiento de aproximaciones sucesivas, aumentando y disminuyendo por lo general los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento.

Para el caso de pavimento rígido, el mecanismo de daño que se controla es la fatiga en la fibra interior de la losa de hormigón a través del esfuerzo a tracción en MPa, según las siguientes ecuaciones para valor límite en la capa base en Hormigón y el valor límite en la capa de Fundación:

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t \times (NE) \times k_r \times k_d \times k_c$$

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t \times (NE) \times k_r \times k_c \times k_d$$

Dónde:

σ_6 = Esfuerzo necesario para el material falle a 10^6 ciclos de carga respectivamente

k_c = Parámetro que toma en cuenta que el comportamiento que experimenta el material en el laboratorio es diferente al de in situ. Para materiales estabilizados o, ligados con cementantes hidráulicos k_c , oscila entre 1,4 y 1,5

k_s = Tiene en cuenta la resistencia a fatiga de la capa ligada, depende de la rigidez de la capa soporte (plataforma). Entre menos rígida sea la capa que soporte la capa ligada, esta última experimentara mayor deformación a tracción con la fibra interior la cual se extenderá a grietarse más fácilmente por fatiga debido a la carga

Tabla 2.27: Valores de k_s

k_s	Rigidez de la Plataforma (MPa)
1,0	> 120
1/1,1	50 - 120
1/1,2	< 50

- Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

-

K_r = introduce el factor de seguridad al diseño a través de las siguientes ecuaciones

$$K_r = 10^{-u b S}$$

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_H^2 \times \left(\frac{0,02}{b}\right)^2}$$

Dónde:

$S_h = 1$ cm para la capa base

$S_h = 3$ cm para la capa de fundación

b = Es la desviación estándar

S_N = Es la desviación estándar de la ley de fatiga del material, expresada en logaritmo decimal del número de ciclos, y S_H es la desviación estándar de los espesores colocados in situ. K_r siempre se encontrara entre $0 < k_r < 1$

K_d = Es un parámetro que tiene en cuenta que en materiales estabilizados o ligados con cementantes hidráulicos la concentración de esfuerzos se desarrolla en la micro fisuras, afectando la resistencia a la fatiga del material

Tabla 2.28: Valores para K_d

K_d	Tipo
1/1,47	Losas con pasadores
1/1,70	Losas sin pasadores

Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

Tabla 2.29: Tipo de plataforma y clasificación de suelos según CBR método mecanicista

Tipos de plataformas soporte		
Clases de plataforma	Módulo de elasticidad (MPa)	
PF1	20 a 50	
PF2	50 a 120	
PF3	120 a 200	
Clasificación de los suelos según los valores de CBR		
Tipo de Subrasante	CBR	Módulo de elasticidad (MPa)
S1	CBR < 5	25
S2	5 < CBR < 10	50
S3	10 < CBR < 15	75
S4	15 < CBR < 30	150
S5	CBR > 30	300

Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

2.10.1.7. Esfuerzos producidos por las cargas del tránsito en el pavimento rígido

2.10.1.7.1. Localizaciones críticas de carga

2.10.1.7.1.1. Interior.- Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes

2.10.1.7.1.2. Borde.- Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquinas

2.10.1.7.1.3.- Esquina.- Ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina

Las siguientes ecuaciones son para determinar los esfuerzos en diferentes localizaciones en la losa de hormigón:

$$- \text{ Interior } \rightarrow \sigma_i = \frac{0,3162 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 1,069 \right]$$

$$- \text{ Borde } \rightarrow \sigma_b = \frac{0,572 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 0,359 \right]$$

$$- \text{ Esquina } \rightarrow \sigma_b = \frac{3 \times P}{h^2} \times \left[1 - \log\left(\frac{a \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right]$$

Dónde:

$\sigma_i, \sigma_b, \sigma_c$ = Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas

P = Carga por rueda

h = Espesor de la losa

a = Radio del área cargada

b = Radio de la sección resistente ($b = \sqrt{1,6 (a)^2 + h^2} - 0,675h$)

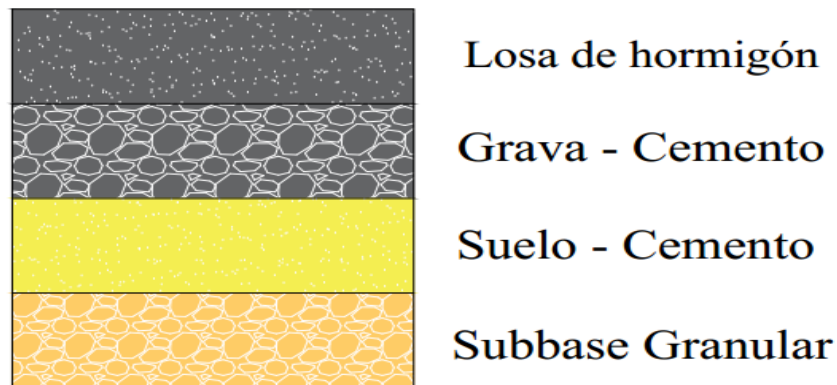
2.10.1.6. Capas de pavimento según el tránsito

2.10.1.6.1. Calzadas con tránsito pesado y tránsito bajo

El catálogo de las estructuras se presenta en forma de planchas de estructuras (18 en total). Cada plancha corresponde a un tipo de estructuras definido por la naturaleza de las capas de pavimento y presenta doce casos que corresponden a diferentes T y PE

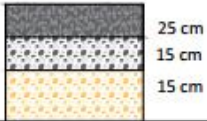
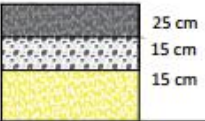
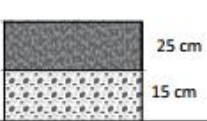
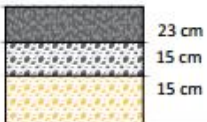
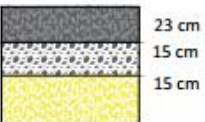
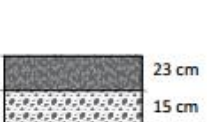
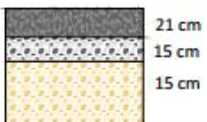

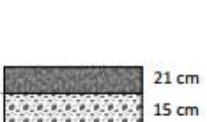
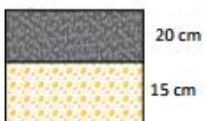
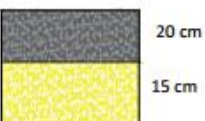

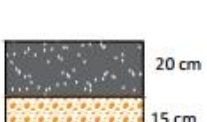
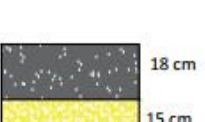

Se consideran tres clases de plataformas, PF1 cuyo módulo de elasticidad está comprendido entre 20 y 50 MPa, PF2 cuyo módulo de elasticidad se encuentra entre 50 y 120 MPa, y PF3 cuyo módulo de elasticidad esta entre 120 y 200 MPa

Figura 2.16: Conformación de capas de pavimento rígido según método mecanicista o racional



Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

Figura 2.17: Ejemplo de catálogos de estructuras

	PF1	PF2	PF3
T5			
T4			
T3			
T2			
T1			

Fuente: Rondón y Reyes, 2015 método racional

CAPÍTULO III

INGENIERÍA DEL

PROYECTO

CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. Ubicación geográfica

La provincia Cercado del departamento de Tarija, tiene una extensión de 2,074km² de superficie, se halla rodeada al noreste por la provincia Méndez, al este por la provincia O' Connor, al sur por la provincia Arce y al suroeste por la provincia Avilés.

Figura 3.1: Provincia Cercado

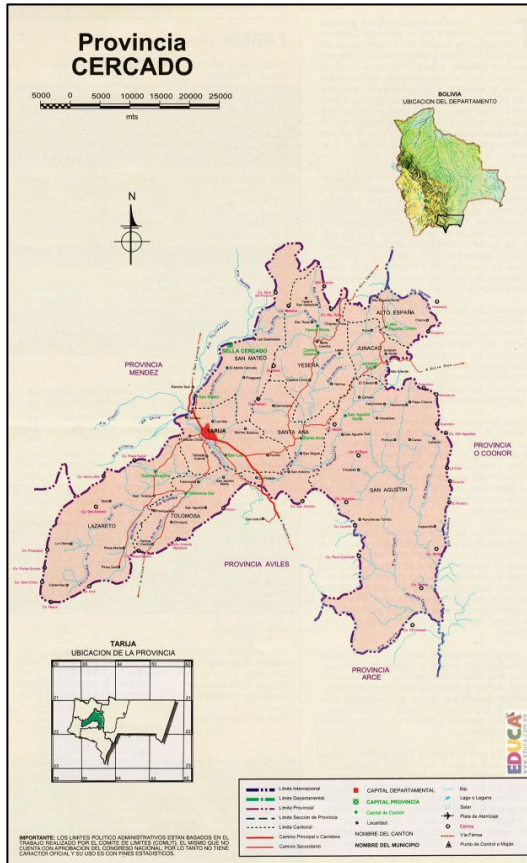


Figura 3.2: Mapa de Bolivia



Fuente: Aspectos Geográficos de Bolivia- INE

3.2. Fases del proyecto

La aplicación de este proyecto se realizó en tres tramos seleccionados donde no se contaba con un pavimento rígido, por lo cual el proyecto se dividirá en dos actividades: en la primera, recolección de datos del tipo de tráfico en cada tramo; segundo el tipo de suelo, análisis, ensayos y muestras de laboratorio.

Figura 3.3: Tramos seleccionados del proyecto



Fuente: Software google earth

Tabla 3.1: Coordenadas de tramos de estudio

Barrio "Aranjuez Norte" Av. San Antonio	
Zona	20 K
Coordenadas en X	318005,18 m E
Coordenadas en Y	7619596,37 m S
Barrio "Tarijeños en Progreso" Av. Gran Chaco	
Zona	20 K
Coordenadas en X	323885,100 m E
Coordenadas en Y	7619765,310 m S
Barrio "El Trigo" Av. La Paz	
Zona	20 K
Coordenadas en X	322580,500 m E
Coordenadas en Y	7620542,520 m S

Fuente: Elaboración propia

3.3. Características del tramo de estudio

Las características principales en el diseño de ingeniería serán explicadas en el siguiente capítulo, conformado por las siguientes partes:

- Caracterización y estudio de la subrasante
- Determinar el módulo de rotura del hormigón para el diseño de la losa del pavimento rígido
- Determinación del ESAL's en cada tramo

3.3.1. Caracterización y estudio de la subrasante

La metodología para la ejecución del estudio de los tramos seleccionados fue a través de prospecciones de exploración (obtención de muestras representativas) mediante calicatas

de exploración a cielo abierto, las que fueron objeto de ensayos de laboratorio y finalmente con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron las labores de gabinete.

3.3.2. Reconocimiento de campo

Etapa que consistió en realizar un reconocimiento visual en general de toda la zona, materia de estudio en los tres tramos seleccionados, recorriendo a pie a fin de evaluar posibles inconvenientes de diferente índole que puedan significar una dificultad en el desarrollo de la etapa de ubicación y muestreo de calicatas.

3.3.3. Sondaje y Muestreo

Se pudo concluir que el método idóneo a utilizar en la exploración de suelos, era la excavación de calicatas a cielo abierto, cabe recalcar que en ningún de los tramos selectivos se presentó el nivel de la napa freática.

3.3.3.1. Número de puntos de investigación

En relación al número de puntos de investigación se tomó en cuenta los siguientes criterios de acuerdo con el tipo de vía para pavimentos urbanos.

Tabla 3.2: Número de puntos de investigación

Tipo de vía	Número de puntos de investigación	Área (m ²)
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

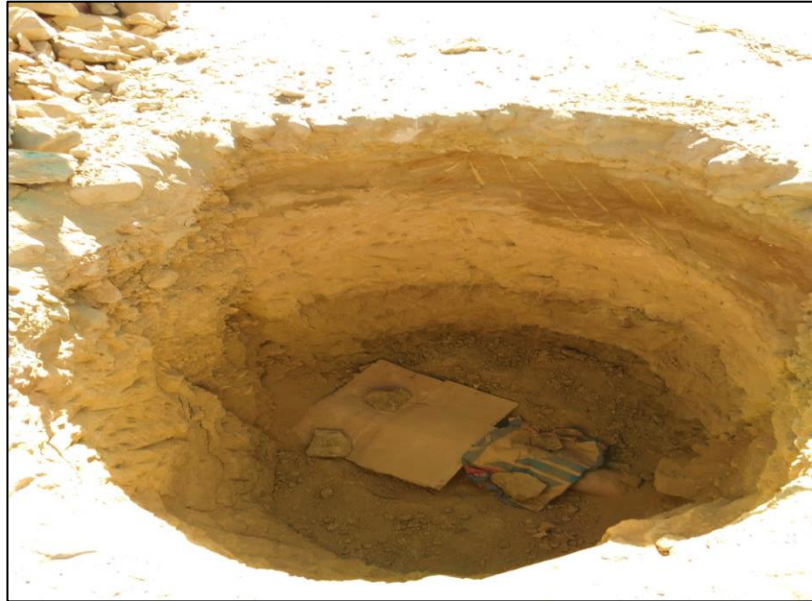
Fuente: Norma NTC referencia

Figura 3.4: Calicata Barrio el Trigal Av. La Paz



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Calicata Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6: Calicata Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Ensayos de Suelos para su clasificación

3.3.4.1. Contenido de Humedad ASTM D2216

Materiales

- Recipiente para humedad (taras de lata)
- Balanza de precisión 0,01 gr y 0,1 gr.
- Horno con regulador de temperatura (105 a 110°C)
- Espátula

Metodología

Método horno (método estandarizado)

- 1.- Se toma una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas
- 2.- Luego se coloca la muestra húmeda en un recipiente previamente pesado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente, obteniendo peso del suelo húmedo más tara ($W_{sh} + W_t$)
- 3.- Se debe colocar el conjunto dentro del horno durante 24 horas, a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Transcurrido dicho tiempo, el peso del recipiente con la muestra seca (W_{ss}).

Figura 3.7: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (1.1), muestra de suelo Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.8: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (2.1), muestra de suelo Barrio El Trigo Av. La Paz



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.9: Ensayo contenido de humedad, peso suelo húmedo más tara (2.1), muestra de suelo Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

3.3.4.2. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422 AASHTO T88

Materiales

- Serie de tamices
- Balanza de 0,1 y 0,01 gramos de aproximación
- Otros accesorios, bandejas, cucharas, etc

Metodología

Método mecánico

Se procede a separar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formando grumos, en caso de existir grumos hay q buscar la forma de desintegrarlos, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo, para ello se pueden ayudar con rodillos de madera, u otro objeto parecido

- 1.- Los tamices para disponer para la parte gruesa del material son: 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, 3/8”, N°4, N°10.
- 2.- Los tamices para la parte fina del suelo son N°40 y N°200
- 3.- El método consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a las disposición mencionada, para ello se tiene que realizar un agitado de los tamices por el tiempo de 15 minutos.
- 4.- El tamizado puede ser manual o mecánico utilizando el RopTap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si es que ya no para material por cada malla.
- 5.- Proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla

Método para suelos finos (Método del Lavado)

- 1.- Este método se usa para el material que pasa el tamiz N°10, con una muestra de 300 gramos aproximadamente.
- 2.- La muestra se debe dejar reposar en agua hasta que este sature completamente, logrando con el suelo una pasta suave, con características similares al barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo de 24 horas o más, si es que se quiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.
- 3.- Sin perder el material se introduce la muestra en la malla N°200. Luego con ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentación.

4.- Luego el material que se retiene en la malla N°200, disponer dentro de un recipiente para realizar un secado del suelo y proceder a tamizar por las mallas N°40 y N°200.

5.- Pesar el material retenido en cada malla dispuesta para el fino.

6.- De la misma manera se tiene que corregir los porcentajes que pasan

Figura 3.10: Lavado del material fino por el tamiz N°200



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.11: Tamizado del material fino por tamiz N°10,40 y 200



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

3.3.4.3. Determinación de consistencia de los suelos: Limite líquido ASTM D4318 AASHTO T89, Límite plástico e Índice de plasticidad ASTM D4318 AASHTO T90

Materiales

Equipo común

- Tamiz N°40.
- Horno secador 105 a 110°C.
- Balanza de precisión de 0,01 gr.
- Platos u otros recipientes.

Limite líquido

- Equipo de Casagrande
- Ranurador
- Espátula
- 4 taras

Limite plástico

- 3 taras pequeñas
- Base de vidrio

Metodología

Limite líquido de los suelos (LL)

- 1.- Se tamiza la muestra a través del tamiz N°40, en una cantidad mínima de 100 gramos.
- 2.- La muestra que pasa la malla N°40 se debe mezclar en un recipiente y se le agrega agua, hasta que la consistencia de una pasta espesa suave. Tener en cuenta que se debe eliminar todo el aire atrapado entre las partículas de suelo.
- 3.- Ubicar el equipo de Casagrande en una superficie plana, segura y limpia
- 4.- Calibrar la altura de caída de la copa, haciendo que la misma tenga un centímetro de caída.
- 5.- Pesar la capsulas a utilizar vacías y limpias, anotando sus pesos respectivos identificándolos en la planilla de límite líquido
- 6.- Colocar el material desde el recipiente a la cuchara de copa de Casagrande.
- 7.- Usando la espátula se extiende y empareja el material, formando una torta circular de un centímetro en el punto de máxima profundidad.

8.- Realizar la ranura de manera firme en una sola pasada, tratando de que en el fondo de la ranura se encuentre visible el color de la copa a lo largo de toda la muestra, caso contrario repetir todo el procedimiento.

9.- Al ritmo de dos golpes por segundo, no perdiendo la cuenta del número de golpes accionando hasta que la ranura se produzca una unión de aproximadamente 1,27 cm, generalmente el ancho de la espátula tiene ese valor. Anotar el número de golpes en la planilla

10.- Con la espátula y en forma perpendicular a la ranura realizar dos cortes a la muestra, estos deben pasar por los extremos de la parte que se unió. Luego extraer la porción de suelo entre los cortes y proceder a depositarla en una de las capsulas que ya se encuentran pesadas e identificadas.

11.- Pesar el suelo húmedo más la cápsula anotando en la planilla correspondiente al número de golpes anotado.

12.- Introducir la cápsula más muestra húmeda en el horno, dejar calentar a temperatura de 100 a 105°C, durante 24 horas, luego extraer del horno, mantener tapada mientras se enfría y pesar la cápsula más muestra seca, registrando en la planilla.

13.- Con estos valores se pueden calcular los diferentes contenidos de humedad a sus respectivos números de golpes y llenar la planilla del límite líquido.

Determinación del límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

1.- A la muestra preparada con agua, debe agregarse material seco que pase por el tamiz N°40, y mezclar homogéneamente, se notara que la misma adquiere una consistencia más plástica.

2.- Disponer el vidrio sobre la superficie plana y limpia.

3.- Pesar 3 cápsulas e identificarlas

4.- Se agarra con las manos una porción de material y se procede a amasarlo, hasta que el mismo pueda ser manipulado plásticamente.

5.- Se hace una pelotita de material, para luego transformarlo en un pequeño rollito, rodándolo sobre el vidrio, hasta que el mismo tenga un diámetro aproximado de tres milímetros (3mm) observar si el rollito presenta pequeñas rajaduras en ese diámetro

6.- En el caso de que no presente las rajaduras, quiere decir que el suelo presenta mucha humedad, entonces se debe volver a manipular el rollito en la mano para que siga perdiendo humedad y comenzar de nuevo el proceso.

7.- Una vez que el rollito a los tres milímetros, presente los agrietamientos buscados, quiere decir que se encuentra con la humedad del límite plástico.

8.- Con la espátula cortar pequeños trocitos del material y seleccionando aquellos que se encuentren con las rajaduras

9.- El valor del índice de plasticidad es la diferencia entre el valor del LL y el LP.

Figura 3.12: Equipo de Casagrande para determinar el límite líquido de un suelo



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.13: Hendidura y Número de golpes con el equipo de Casagrande



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.14: Equipo para determinar el límite plástico de un suelo, reloj y base de vidrio



Fuente: Elaboración laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S

Figura 3.15: Dato de peso de suelo seco más tara en balanza, después de estar en el horno 24 horas, ensayo límite líquido



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

3.3.4.4. Ensayo de compactación AASHTO T272

Materiales

- Moldes metálicos
- Pisón metálico
- Probetas graduadas
- Balanzas
- Regla de acero
- Tamiz N°4
- Herramientas: cucharas, espátulas, etc.
- Horno

Metodología

- 1.- La muestra debe estar seca, suelta y disgregada, se debe conocer la granulometría del material, porque dependerá de ella la elección del método adecuado para la realización ya sea el proctor estándar o del modificado, en este caso el proctor estándar.
- 2.- Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C, hasta que se vuelva desmenuzable. Disgregue luego los terrones, evitando reducir el tamaño natural de las partículas
- 3.- Pasar por el tamiz N°4 el material a ensayar descartando el material retenido
- 4.- A cada fracción se le incrementara una cantidad de agua, para ir cambiando su densidad de acuerdo a los cambios de humedad deseados
- 5.- Mezclar completamente la muestra escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta obtener puntos por debajo del contenido de humedad óptimo, obtener también puntos que excedan el contenido óptimo de humedad.
- 6.- Se debe registrar el peso del molde sin collarín.
- 7.- Se ensambla el molde a la base, ajustar el collarín al equipo.
- 8.- Introducir el material para T – 99 proctor estándar
- 9.- Los golpes deben ser uniformemente distribuidos con el martillo. Durante la compactación.
- 10.- Inmediatamente se procede a retirar el collarín, para luego enrasar el material con la regla metálica, si es que en este proceso la superficie queda irregular, es decir con la presencia de huecos por debajo del nivel del collarín, entonces hay que tamizar con el

Nº10, el material con la misma humedad para rellenar los huecos presionando con la regla metálica

11.- Luego pesar el molde más suelo húmedo, registrando este dato

12.- Se debe extraer una muestra del corazón del molde para determinar el contenido de humedad real del suelo compactado

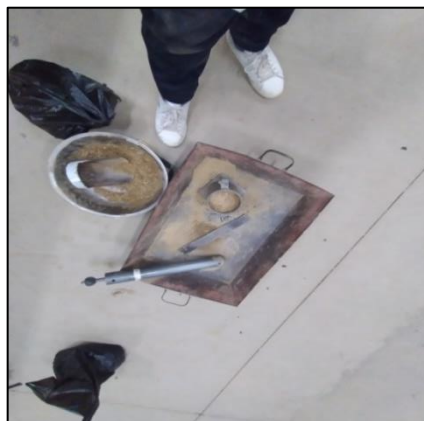
13.- Se debe repetir secuencialmente los pasos anteriormente mencionados, con los diferentes contenidos de humedad, para obtener los puntos necesarios para graficar la curva de compactación.

Figura 3.16: Molde cilíndrico T-99 ensayo compactación de suelos



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.17: Materiales misceláneos para el ensayo de compactación de suelos



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.18: Probeta para el cálculo del volumen de agua en el ensayo de compactación de suelos



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.19: Compactación de suelos T-99, Número de golpes 25 para suelos finos



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.20: Peso suelo húmedo más molde cilíndrico base T-99



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

3.3.4.5. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) ASTM D1883 AASHTO T193

Materiales

- Aparato para medir la expansión
- Prensa de ensayo de capacidad mínima de 44 KN a una velocidad de 1,25 mm
- Molde metálico de diámetro de $152,4 \pm 0,7$ mm y de altura de $177,8 \pm 0,01$ mm, collarín con una extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5 mm de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor que 1,60 mm
- Disco espaciador metálico, cilíndrico, de 150,8 mm de diámetro y 61,4 de altura
- Pistón metálico con una cara circular de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro y con una masa de 2500 ± 10 gr. La altura de caída debe ser 305 ± 2 mm controlada por una guía tubular
- Pistón de penetración metálico de $50 \pm 0,5$ mm de diámetro y no menor que 100 mm de largo
- Calibre, compuesto por dos deformaciones comparadores con indicador de dial
- Sobrecargas

- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Herramientas y accesorios, estanque lleno de agua, bandeja de mezcla, depósito de remojo, papel filtro, platos y tamices

Metodología

- 1.- Se preparan muestras de tamaño igual o superior a 15 kg
- 2.- La muestra se pasa por el tamiz N°4 descartando el material retenido
- 3.- Una vez obtenida la muestra de ensaye, se selecciona una porción representativa de unos 5 kg para realizar el ensayo de compactación y el resto de la muestra se divide en tres porciones de unos 5 kg cada una

Compactación de moldes CBR

- 1.- Se deben compactar tres moldes en un rango de 90 a 100% de la densidad máxima seca determinada según ensayo proctor
- 2.- Una vez pesado el molde y verificando su volumen, se coloca el disco espaciador sobre placa base, se fija el molde con el collarín sobre la placa y se coloca un disco de papel filtro sobre disco espaciador
- 3.- Se compacta mediante 5 capas cada una de las porciones de suelo húmedo, utilizando para cada porción una energía distinta de manera que la densidad a la cual se desee determinar el CBR. Se compactaran con 56, 25 y 12 golpes respectivamente.
- 4.- Deben tomarse 2 muestras al finalizar la compactación para calcular el contenido de humedad
- 5.- Se retira el collarín, se enrasa el suelo al nivel del borde del molde, rellenando los huecos dejados por la eliminación del material grueso con material de menor tamaño, se recomienda utilizar lateral que pase la malla de 2 mm. Se retiran la placa base perforada, el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado

Figura 3.21: Peso e identificación del Molde cilíndrico CBR de 25 golpes



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.22: Mezclado del volumen del agua y el suelo para ensayo de CBR



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.23: Peso del suelo en balanza 5 kg para ensayo de CBR



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S

Figura 3.24: Compactación del molde CBR a 12, 25 y 56 golpes



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S

Figura 3.25: Peso del Molde cilíndrico CBR más suelo húmedo



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.26: Lectura con el extensómetro sobre moldes cilíndricos ensayo CBR



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Figura 3.27: Moldes cilíndricos ensayo CBR en piscina para su saturación



Fuente: Elaboración en el laboratorio de mecánica de suelos U.A.J.M.S.

Tabla 3.3: Datos y resultados de laboratorio de suelos

DATOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO DE SUELOS			
Ensayo de Laboratorio	Aranjuez Norte	El Trigal	Tarijeños en Progreso
	Calicata 1	Calicata 1	Calicata 1
Contenido de Humedad %	11,057	10,652	5,008
Límite Líquido	39,359	37,073	29,071
Límite Plástico	2,967	22,955	26,104
Índice de Plasticidad	36,391	14,117	2,967
Clasificación de suelo AASHTO	A-4	A-6	A-6
Clasificación de suelo SUCS	ML	CL	CL
Máxima densidad Seca	1,714	1,505	1,71
Óptimo Contenido de Humedad	20	18,365	15,83
95% Máxima densidad seca	1,628	1,43	1,625
CBR al 100%	9,788	7,061	6,967
CBR al 95%	9,415	6,869	6,806

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Resistencia máxima y mínima del Hormigón a compresión y flexo tracción

3.3.5.1. Especificaciones técnicas del Cemento Fancesa IP 40

Tabla 3.4: Especificaciones técnicas del cemento Fancesa IP 40

Ensayos físicos	Cemento Fancesa IP40	
	Finura, superficie específica según Blaine (NB 472)	cm ² /g
Peso específico (NB 064)	g/cm ³	3,04

Fuente: Empresa de Cementos Fancesa

Módulo de finura del cemento = 3807 cm²/gr

Peso específico del cemento = 3,04 gr/cm³

3.3.5.2. Características del Agregado Fino

Módulo de finura de la arena (MF) = 2,972

Peso Específico de la arena (Pf) = 2,59 gr/cm³

Peso Unitario de la arena suelta (PFUs) = 1490 kg/m³

Peso Unitario de la arena compactada (PFUc) = 1752,778 kg/m³

% absorción de la arena (%af) = 0,97%

Contenido de humedad de la arena (%wf) = 6,60 %

3.3.5.3. Características del Agregado Grueso

Módulo de finura de la grava (MG) = 7,22

Peso Específico de la grava (Pg) = 2,60 gr/cm³

Peso Unitario de la grava suelta (PGUs) = 1083,571 kg/m³

Peso Unitario de la grava compactada (PGUc) = 1642 kg/m³

% absorción de la grava (%ag) = 1,10%

Contenido de humedad de la grava (%wg) = 0,84 %

Tamaño máximo nominal del agregado (TMN) = ½”

Figura 3.28: Juego de tamices para granulometría de agregado grueso y fino



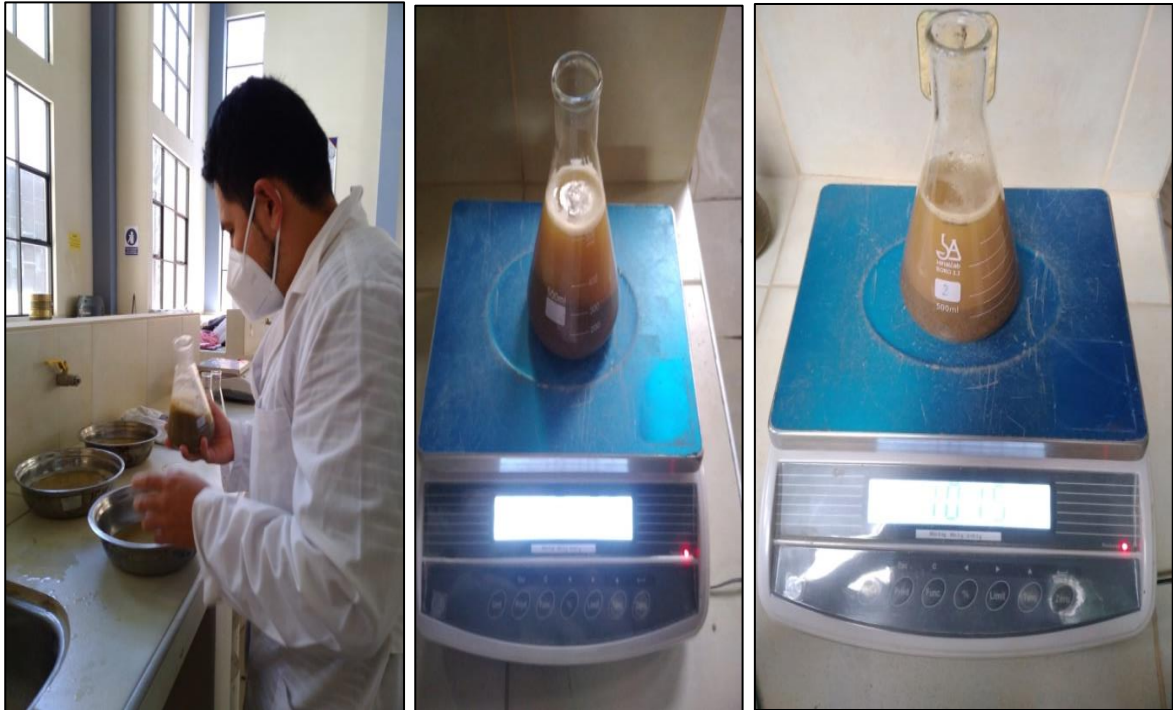
Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.29: Determinación del peso específico del agregado fino, secado superficialmente



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.30: Preparación de muestra para determinar peso específico del agregado fino, matraz más agregado húmedo más agua



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.31: Ensayo peso específico del agregado grueso, secado superficialmente y peso sumergido



Elaboración laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.32: Ensayo peso unitario y compactado del agregado grueso y fino



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

3.3.5.4. Dosificación de Hormigones ACI 2.11.

3.3.5.4.1. Características del diseño

Resistencia de diseño (f'_{ck}) = 250 kg/cm²

Tabla 3.5: Resistencia promedio a la compresión cuando no hay datos disponibles para establecer un desviación estándar de la muestra

Resistencia específica a la compresión, kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, kg/cm ²
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 < f'_c < 350$	$f'_{cr} = f'_c + 85$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = 1,1 f'_c + 50$

Fuente: ACI 211

Resistencia característica (f'_{cr}) = 335 kg/cm²

Selección del asentamiento

Tabla 3.6: Selección de asentamiento (slump recomendada según el tipo de estructura)

Tipo de Construcción (plg)	Máxima	Mínima
Zapatas y Muros de cimentaciones armadas	3"	1"
Cimentaciones simples, calzadas y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas y edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	3"	1"

Fuente: ACI 211

Asentamiento máximo = 3"

Asentamiento mínimo = 1"

Relación agua/cemento (a/c)

Tabla 3.7: Relación agua/cemento (a/c)

f'cr a los 28 días (kg/cm²)	C° s/aire incorporado	C° c/aire incorporado
140	0,82	0,74
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
210	0,68	0,59
250	0,62	0,53
280	0,57	0,48
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	0,34
420	0,41	0,33
450	0,38	0,31

Fuente: ACI 211

Relación agua/cemento (a/c) sin aire incorporado = 0,51

Volumen grueso/ Volumen unitario de concreto (b/bo)

Tabla 3.8: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo nominal del A.G.	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de C°, para diversos módulos de finura (b/bo)			
	2,4	2,6	2,8	3
3/8" - 9,5 mm	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2" - 12,5 mm	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4" - 19 mm	0,66	0,64	0,62	0,6
1" - 25 mm	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2" - 37,5 mm	0,75	0,73	0,71	0,69
2" - 50 mm	0,78	0,76	0,74	0,72
3" - 75 mm	0,82	0,80	0,78	0,76
6" - 150 mm	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211

b/bo = 0,533

Requerimiento de agua

Tabla 3.9: Requerimientos aproximados de agua para diferentes valores de asentamientos

Agua tibia lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregados gruesos y consistencias indicadas								
SLUMP	3/8" (9,5 mm)	1/2" (12,5 mm)	3/4" (19 mm)	1" (25 mm)	1 1/2" (37,5 mm)	2" (50 mm)	3" (75 mm)	6" (150 mm)
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2" (25 mm - 50 mm)	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4" (75 mm - 100 mm)	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7" (150 mm - 175 mm)	243	228	216	202	19	178	160	-----

Fuente: ACI 211

Peso del agua = 199 lt/m³

Determinación del peso del cemento (Pc)

$$\frac{A}{C} = \frac{P_{H_2O}}{P_C}$$

$$P_C = 391,732 \text{ kg/m}^3 \text{ H}^\circ$$

Determinación del peso del agregado grueso (Pag)

$$P. U. ag = \frac{Pag}{Vag}$$

$$Pag = 874,808 \text{ kg/m}^3 \text{ H}^\circ$$

Primera estimación del hormigón fresco

Tabla 3.10: Primera estimación del peso del hormigón fresco

Tamaño máximo nominal del agregado (plg)	Primera estimación del peso del hormigón fresco (kg/m ³)	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
3/8"	2280	2200
1/2"	2310	2230
3/4"	2345	2275
1"	2380	2290
1 1/2"	2410	2350
2"	2445	2345
3"	2490	2405
6"	2530	2435

Fuente: ACI 211

Peso del Hormigón fresco (PH^o) = 2310 kg/m³

Determinación del peso del agregado fino (Paf)

$$P_{H^o} = P_c + P_{Af} + P_{Ag} + P_{H_2O}$$

$$Paf = 844,459 \text{ kg/m}^3$$

Determinación de la humedad superficial (Hs)

$$Hs = \% w - \% abs$$

$$Hs af = 5,652 \%$$

$$Hs ag = 0,280$$

Corrección de pesos (Paf y Pag)

$$Pagregado = Pseco \times \left(1 + \frac{\%Humedad}{100\%}\right)$$

$$Paf corregido = 900,435 \text{ kg/m}^3 \text{ H}^\circ$$

Pag corregido = 882,156 kg/m³ H°

Pagua corregido = 148,821 kg/m³ H°

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Relación agua/cemento
C:	AF:	AG:	A/C
1	2,299	2,252	0,38

3.3.5.4.2 Cantidad de dosificación para probetas cilíndricas

N° probetas = 3

Diámetro = 15 cm

Alto = 30 cm

Volumen de probeta = 0,005 m³

Cantidad de material para dosificar +15% de pérdidas

Pc = 7,165 kg

Paf = 16,469 kg

Pag = 16,135 kg

Pagua = 2,722 kg

3.3.5.4.2 Cantidad de dosificación para vigas

N° vigas = 3

Largo = 50 cm

Alto = 15 cm

Ancho = 15 cm

Volumen de Viga = 0,034 m³

Cantidad de material para dosificar +15% de pérdidas

Pc = 15,204 kg

Paf = 34,948 kg

Pag = 34,239 kg

Pagua = 5,776 kg

Figura 3.33: Preparación de material para dosificación de hormigones, cemento, arena, grava y agua



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S

Figura 3.34: Dosificación de probetas y vigas



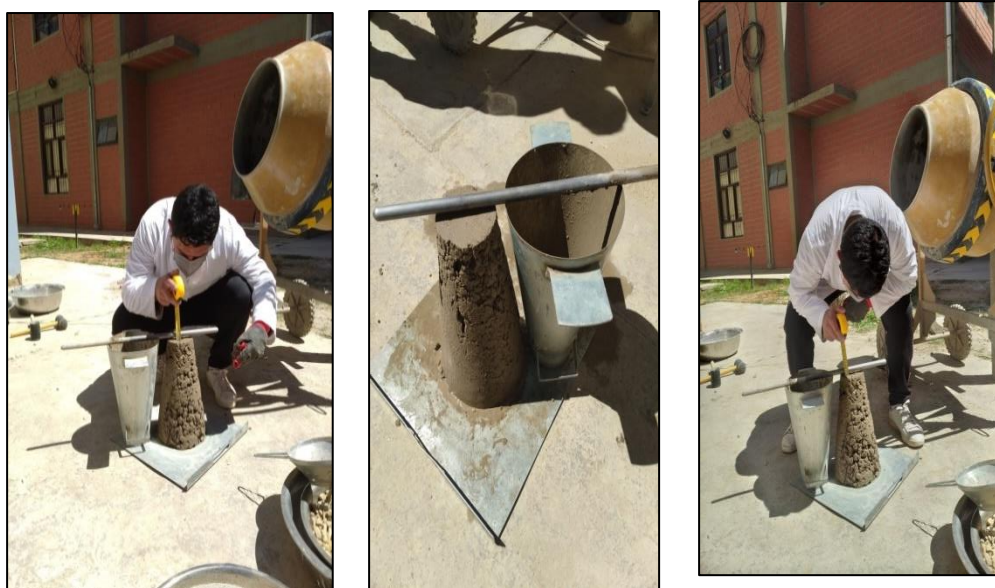
Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.35: Eliminación de aire atrapado en probetas



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.36: Verificación del asentamiento mediante el cono de Abraham



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

3.3.5.4.3. Ensayo de Rotura de Probetas a compresión

$F_c = 25 \text{ MPa}$

$F_{cr}' = 33,5 \text{ MPa}$

N°Probeta	D(mm)	H (mm)	P(kg)		Rotura a Compresión (días)		
					7	21	28
1	153	300	13,095	Q (KN) =	445,560		
				E (Mpa) =	24,228		
2	157	300	13,105	Q (KN) =		635,139	
				E (Mpa) =		32,808	
3	154	30	13,175	Q (KN) =			698,400
				E (Mpa) =			37,490
4	155	30	13,155	Q (KN) =			676,79
				E (Mpa) =			36,330
5	156	30	13,178	Q (KN) =			720,010
				E (Mpa) =			38,650

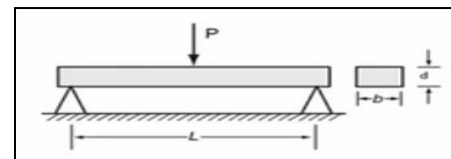
$$\text{Rotura promedio a los 28 dias} = \frac{37,49+36,33+38,65}{3} = 37,49 \text{ MPa}$$

3.3.5.4.4. Ensayo a Flexo tracción de Vigas

$$E = \frac{3 \times Q}{h^2}$$

E = Esfuerzo a la flexo tracción en la viga

Q = carga P



N°Probeta	Base (mm)	Alto (mm)	Largo (mm)	Peso(kg)		Rotura a Flexión (días)		
						7	21	28
1	158	152	509	29,14	Q (KN) =	34,800		
					E (Mpa) =	4,519		
2	150,2	160	508	28,655	Q (KN) =		39,100	
					E (Mpa) =		4,582	
3	150	155	511	28,635	Q (KN) =			33,800
					E (Mpa) =			4,221
4	151	155	510	29,533	Q (KN) =			33,700
					E (Mpa) =			4,208
5	152	155	511	28,435	Q (KN) =			34,645
					E (Mpa) =			4,326

$$\text{Rotura promedio a los 28 dias flexion} = \frac{4,221+4,208+4,326}{3} = 4,252 \text{ MPa}$$

Figura 3.37: Probeta cilíndrica y viga rectangular con dimensiones según ASTM 192 AASHTO T 126)



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

Figura 3.38: Ensayo de compresión en probetas cilíndricas ($D = 15 \text{ cm}$; $L = 30 \text{ cm}$) y flexión en vigas ($15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$)



Fuente: Elaboración en el laboratorio de tecnología del hormigón U.A.J.M.S.

3.3.6. Estudios de Tráfico

3.3.6.1. Tráfico según AASHTO 93

Para poder determinar y realizar el conteo del tráfico, se realizó una recolección de datos de campo, para ello se hizo un el conteo vehicular durante 7 días, durante 14 horas al día.

Los días en que se realizó el conteo vehicular fueron desde el lunes 9 de agosto hasta el 9 de septiembre de 2021

En los siguientes cuadros se presenta el resumen del aforo vehicular diario y las coordenadas (UTM) de los tramos de estudio:

3.3.6.1.1. Barrio Aranjuez Norte avenida San Antonio

Tabla 3.11: Coordenas UTM del tramo de estudio “Aranjuez Norte”

Zona	20 K
Coordenadas en X	318005,180 m E
Coordenadas en Y	7619596,370 m S









Fuente: Google Earth

Figura 3.39: Tramo 1 Aranjuez Norte



Fuente: Google earth

Tabla 3.12: Tipos de vehículo tramo Aranjuez Norte

Días de la semana	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
Lunes 09/08/21	933		82		0	39	16	0	1070
Martes 10/08/22	867		77		0	34	19	0	997
Miercoles 11/08/23	577		78		0	53	22	2	732
Jueves 12/08/24	578		74		0	29	14	2	697
Viernes 13/08/25	614		78		0	24	8	3	727
Sabado 14/08/26	508		73		0	27	13	5	626
Domingo 15/08/27	425		71		0	14	0	0	510
Total	4502		533		0	220	92	12	5359

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.2. Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco

Tabla 3.13: Coordenadas UTM del tramo de estudio “Tarijeños en Progreso”

Zona	20 K
Coordenadas en X	323885,100 m E
Coordenadas en Y	7619765,310 m S









Fuente: Google Earth

Figura 3.40: Tramo 2 Tarijeños en progreso



Fuente: Google Earth

Tabla 3.14: Tipo de vehículos Tarijeños en Progreso

Días de la semana	Tipos de vehículos							Total
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión	Semitrailer	
			B2	B3	C2	C3	T2S1	
								
Miercoles 25/08/21	79		53	0	11	0	0	143
Jueves 26/08/22	91		53	0	24	5	0	173
Viernes 27/08/21	89		54	0	15	4	0	162
Sabado 28/08/21	90		59	0	14	1	0	164
Domingo 29/08/21	76		61	0	31	0	0	168
Lunes 30/08/21	68		64	0	21	0	0	153
Martes 31/08/21	62		65	0	19	0	0	146
Total	555		409	0	135	10	0	1109

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.3. Barrio El Trigal Av. La Paz

Tabla 3.15: Coordenas UTM del tramo de estudio “El Trigal”

Zona	20 K
Coordenadas en X	322580,500 m E
Coordenadas en Y	7620542,520 m S









Fuente: Google Earth

Figura 3.41: Tramo 3 El Trigal



Fuente: google earth

Tabla 3.16: Tipo de vehículos El Trigal

Días de la semana	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2	B3	C2	C3	T2S1		
									
Martes 17/08/21	431	74	0	15	1	0	521		
Miercoles 18/08/22	385	69	0	17	3	2	476		
Jueves 19/08/21	384	68	0	3	4	1	460		
Viernes 20/08/21	392	80	0	11	3	0	486		
Sabado 21/08/21	390	74	0	13	3	0	480		
Domingo 22/08/21	293	76	0	13	6	0	388		
Lunes 23/08/21	384	80	0	14	3	0	481		
Total	2659	521	0	86	23	3	3292		

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.4. Resumen del tráfico promedio diario semanal TPDS vehicular en cada tramo de estudio

Con respecto a volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales.

El cálculo del TPDS se realiza usando la expresión 3.16, se hace uso de los aforos vehiculares durante una semana

$$TDPS = (\sum VTD / 7) \times (f.c.e.)$$

Donde:

VTD = Volumen de tránsito diario en una semana, o promedios aforados durante la semana









f.c.e. = Factor de corrección por eje f.c.e. = $2 \times b/a$

b = Número total de vehículos que han transitado

a = Total de ejes correspondientes a estos vehículos

- Barrio Aranjuez Norte









Tabla 3.17: TPDS Aranjuez Norte AASHTO 93

Cálculo de TPDS									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
Total Veh. (T)	4502,000		533,000		0,000	220,000	92,000	12,000	5359,000
Número de ejes (e.)	2,000		2,000		3,000	2,000	3,000	2,000	
Vehículos x N° de	9004,000		1066,000		0,000	440,000	276,000	24,000	
fce = 2 x T / e	1,000		1,000		0,000	1,000	0,667	1,000	
TPDS por tipo de veh. F = T x fce / 7	643,143		76,143		0,000	31,429	8,762	1,714	
TPDS	643,000		76,000		0,000	31,000	9,000	2,000	761,000

Fuente: Elaboración propia

- Barrio Tarijeños en Progreso









Tabla 3.18: TPDS Tarijeños en Progreso AASHTO 93

Cálculo de TPDS									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
Total Veh. (T)	555,000		409,000		0,000	135,000	10,000	0,000	1109,000
Número de ejes (e.)	2,000		2,000		3,000	2,000	3,000	2,000	
Vehículos x N° de ejes	1110,000		818,000		0,000	270,000	30,000	0,000	
fce = 2 x T / e	1,000		1,000		0,000	1,000	0,667	0,000	
TPDS por tipo de veh. F = T x fce / 7	79,286		58,429		0,000	19,286	0,952	0,000	
TPDS	79,000		58,000		0,000	19,000	1,000	0,000	157,000

Fuente: Elaboración propia

- Barrio El Trigal

Tabla 3.19: TPDS El Trigal AASHTO 93

Cálculo de TPDS								
	Tipos de vehículos						Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2	B3	C2	C3		T2S1
								
Total Veh. (T)	2659,000	521,000	0,000	86,000	23,000	3,000	3292,000	
Número de ejes (e.)	2,000	2,000	3,000	2,000	3,000	2,000		
Vehículos x N° de ejes (a)	5318,000	1042,000	0,000	172,000	69,000	6,000		
fce = 2 x T / e	1,000	1,000	0,000	1,000	0,667	1,000		
TPDS por tipo de veh. F = T x fce / 7	379,857	74,429	0,000	12,286	2,190	0,429		
TPDS	380,000	74,000	0,000	12,000	2,000	0,430	468,430	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3.20: Tabla resumen de TPDS de los tramos de estudio

Tramo de estudio	TPDS
Aranjuez Norte	761
El Trigal	468,43
Tarijeños en Progreso	157

Fuente; Elaboración propia

3.3.6.1.5. Tránsito promedio diario anual

El análisis de volúmenes de tránsito, la media poblacional o tránsito promedio diario anual, TPDA, se estima con base en la media muestral o tránsito promedio diario semanal TPDS, según la expresión:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

TPDA = Tránsito promedio diario anual.

TPDS = Tránsito promedio diario semanal

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

Para un determinado nivel de confianza, el valor de A esta dado por la expresión:

$$A = K \times E$$

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

K = Número de desviación estándar correspondiente al nivel de confiabilidad

E = Error estándar

$$E = O'$$

O' = Estimador de la desviación estándar poblacional

$$O' = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \left[\sqrt{\frac{(N - n)}{(N - 1)}} \right]$$

s = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral

n = Tamaño de la muestra de la población en número de días del año

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TP_i - TPDS)^2}{n - 1}}$$

TP_i = Volumen de tránsito del día

n = Tamaño de la muestra en número de días del aforo

Los niveles de confianza más usuales son:

Tabla 3.21: Niveles de confianza

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

Fuente: Probabilidades estadísticas Deborah Ramsey 2003

Calculo del TPDA

$$TPDA = TPDS \pm KO'$$

Asumiremos una confiabilidad del 90% para realizar la estadística en cada tramo y determinar el TPDA y el % de vehículos en cada tramo de estudio, a continuación se presenta los siguientes cuadros de TPDA en los tramos selectivos.

3.3.6.1.6. Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio

Datos:

Nivel de confianza al 90% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K1 = 1,645$$

Nivel de confianza al 95% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K2 = 1,960$$

$N = 365$ días (días del año)

$n = 7$ días de aforo

TPDS = 761 vehículos

$X_{med} = 5359/7 = 765,571$

$X_i - X_{med} = 1070 - 765,571 = 304,429$

Tabla 3.22: Aplicación de estadísticas en conteo diario acumulado de tráfico “Aranjuez Norte”

Días de la Semana	Total Vehículos = Tdi = X_i	X_{med}	$X_i - X_{med}$	$(X_i - X_{med})^2$
Lunes 09/08/21	1070	765,571	304,429	92676,755
Martes 10/08/22	997	765,571	231,429	53559,184
Miércoles 11/08/23	732	765,571	-33,571	1127,041
Jueves 12/08/24	697	765,571	-68,571	4702,041
Viernes 13/08/25	727	765,571	-38,571	1487,755
Sábado 14/08/26	626	765,571	-139,571	19480,184
Domingo 15/08/27	510	765,571	-255,571	65316,755
TOTAL	5359			238349,71

Fuente: Elaboración propia

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TP_i - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{238349,7143}{7-1}}$$

$$s = 199,311$$

$$O' = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \left[\sqrt{\frac{(N - n)}{(N - 1)}} \right]$$

$$O' = \frac{199,311}{\sqrt{7}} \times \left[\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right]$$

$$O' = 74,709$$









$$TPDA = TPDS \times (O' \times k_2)$$

$$TPDA = 761 - (74,709 \times 1,960)$$

$$TPDA = 614,571 \text{ veh/día}$$

$$\mathbf{TPDA = 615 \text{ veh/día}}$$

Tabla 3.23: TPDA Aranjuez Norte AASHTO 93

TPDA									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
TPDS	554,000		76,000		0,000	31,000	9,000	2,000	672,000
TPDA por vehículo	508,000		69,000		0,000	28,000	8,000	2,000	615,000
% Vehículos	83,000		11,000		0,000	4,000	1,000	1,000	100,000

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.6.7. Barrio El Trigo Av. La Paz

Datos:

Nivel de confianza al 90% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K1 = 1,645$$

Nivel de confianza al 95% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K2 = 1,960$$

N = 365 días (días del año)

n = 7 días de aforo

TPDS = 468,430 vehículos

Xmed = 3292/7 = 470,285714

Xi - Xmed = 521 - 470,285714 = 50,7142857

Tabla 3.24: Aplicación de estadísticas en conteo diario acumulado “El Trigal”

Días de la Semana	Total Vehículos = Tdi = Xi	Xmed	Xi - Xmed	(Xi - Xmed)^2
Martes 17/08/21	521	470,286	50,714	2571,939
Miércoles 18/08/22	476	470,286	5,714	32,653
Jueves 19/08/21	460	470,286	-10,286	105,796
Viernes 20/08/21	486	470,286	15,714	246,939
Sábado 21/08/21	480	470,286	9,714	94,367
Domingo 22/08/21	388	470,286	-82,286	6770,939
Lunes 23/08/21	481	470,286	10,714	114,796
TOTAL	3292			9937,429

Fuente: Elaboración propia

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TPi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{9937,428571}{7-1}}$$

$$s = 40,697$$

$$O' = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{(N - n)}{(N - 1)}}$$

$$O' = \frac{40,697}{\sqrt{7}} \times \sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}}$$

$$O' = 15,255$$









$$TPDA = TPDS \times (O' \times k^2)$$

$$TPDA = 468,430 - (15,255 \times 1,960)$$

$$TPDA = 438,53082 \text{ veh/día}$$

$$\mathbf{TPDA = 439 \text{ veh/día}}$$

Tabla 3.25: TPDA El Trigal AASHTO 93

TPDA									
	Tipos de vehículos						Total		
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión		Semitrailer	
			B2	B3	C2	C3		T2S1	
									
TPDS	380,000		74,000		0,000	12,000	2,000	0,430	468,430
TPDA por vehículo	356,000		68,000		0,000	11,000	2,000	1,000	438,000
% Vehículos	65,000		28,000		0,000	5,000	1,000	1,000	100,000

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.8. Barrio Tarijeño en Progreso Av. Gran Chaco

Datos:

Nivel de confianza al 90% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K1 = 1,645$$

Nivel de confianza al 95% (z%) de tabla 3.21:

z%	k
90	1,645
95	1,960
99	2,575

$$K2 = 1,960$$

N = 365 días (días del año)

n = 7 días de aforo

TPDS = 157 vehículos

Xmed = 1109/7 = 158,429

Xi - Xmed = 143 - 158,429 = -15,429

Tabla 3.26: Aplicación de estadísticas en conteo diario vehicular acumulado “Tarijeños en Progreso”

Días de la Semana	Total Vehículos = Tdi = Xi	Xmed	Xi - Xmed	(Xi - Xmed)^2
Miércoles 25/08/21	143	158,429	-15,429	238,041
Jueves 26/08/22	173	158,429	14,571	212,327
Viernes 27/08/21	162	158,429	3,571	12,755
Sábado 28/08/21	164	158,429	5,571	31,041
Domingo 29/08/21	168	158,429	9,571	91,612
Lunes 30/08/21	153	158,429	-5,429	29,469
Martes 31/08/21	146	158,429	-12,429	154,469
TOTAL	1109			769,714

Fuente: Elaboración propia

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TPI - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{769,7143}{7-1}}$$

$$s = 11,326$$

$$O' = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \left[\frac{\sqrt{(N - n)}}{(N - 1)} \right]$$

$$O' = \frac{11,326}{\sqrt{7}} \times \left[\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right]$$

$$O' = 4,246$$









$$TPDA = TPDS \times (O' \times k^2)$$

$$TPDA = 157 - (4,246 \times 1,960)$$

$$TPDA = 148,67878 \text{ veh/día}$$

$$\mathbf{TPDA = 149 \text{ veh/día}}$$

Tabla 3.27: TPDA Tarijeños en Progreso AASHTO 93

TPDA								Total
Tipos de vehículos								
Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión	Semitrailer	
		B2	B3	C2	C3	T2S1		
								
TPDS	79,000	58,000	0,000	19,000	1,000	0,000	157,000	
TPDA por vehículo	75,000	55,000	0,000	18,000	1,000	0,000	149,000	
% Vehículos	50,000	37,000	0,000	12,000	1,000	0,000	100,000	

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.9. Tasa anual de crecimiento

Para la determinación de la tasa de crecimiento anual del tránsito de las vías en estudio en nuestro país se tomó en cuenta el documento de análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040 presentado en la siguiente tabla:

Tabla 3.28: Tasa de crecimiento anual 2013 – 2016 de vehículos en Bolivia

Departamento	Parque Automotor	% Tc 2013 - 2016
La Paz	407,621	8,5
Chuquisaca	67,022	9,3
Cochabamba	363,603	10
Oruro	93,766	10,6
Potosí	61,056	9,4
Tarija	95,711	10
Santa Cruz	577,553	11,1
Beni	41,051	15,7
Pando	3,622	41,5

Fuente: base de datos del INE

Tasa de crecimiento para tramos (Tc) = 10%

3.3.6.1.10. Factor camión

Los factores camión pueden aplicarse a vehículos de un solo tipo o clase a un grupo de vehículos de diferentes tipos

3.3.6.1.10.1 Factor de equivalencia de carga

Por otro lado, con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje. En la siguiente tabla se muestra se muestra la configuración de ejes para cada clase de vehículo y la relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos

Tabla 3.29: Relación cargas de ejes equivalentes

Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos	
Tipos de eje	Eje Equivalente (EE 8,2 tn)
Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	$EEs1 = (P/6,6)^{4,1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	$EEs2 = (P/8,2)^{4,1}$
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje de rueda simple) (EEta1)	$EEta1 = (P/13,0)^{4,1}$
Eje Tándem (2 ejes de ruedas dobles) (EEta2)	$EEta2 = (P/13,3)^{4,1}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EEtr1)	$EEtr1 = (P/16,6)^{4,0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EEtr2)	$EEtr2 = (P/17,5)^{4,0}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 pavimento rígido, ejes equivalentes

3.3.6.1.10.2. Cálculo del factor camión

A continuación se muestra cuadros resumen del cálculo del factor camión en cada tramo de estudio:

- Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio

Las siguientes formulas se utilizaron con la aplicación de la figura 66 para ejes en pavimentos rígidos para determinar el factor camión de las siguientes tablas calculando el factor camión de los tramos de estudio

Peso en Toneladas P (tn) = 1 tn

$P^{4,1}$ para 4 toneladas de ruedas simples = 6,6

$$FCE = \left(\frac{P}{6,6}\right)^{4,1}$$

Factor camión para vehículos livianos (Autos y camionetas) es la sumatoria de

$$\Sigma = 0,000436 + 0,000436 = 0,0009$$

Peso en Toneladas P (tn) = 4 tn

$P^{4,1}$ para 4 toneladas de ruedas dobles = 8,2

$$FCE = \left(\frac{P}{8,2}\right)^{4,1}$$

Factor camión para vehículos B2 es la sumatoria de $\Sigma = 0,0004 + 0,053 = 0,0534$

Peso en Toneladas P (tn) = 7 tn

$P^{4,1}$ para 7 toneladas de ruedas dobles = 6,6

$$FCE = \left(\frac{P}{6,6}\right)^{4,1}$$

Factor camión para vehículos B3 es la sumatoria de $\Sigma = 0,007 + 0,459 = 0,467$

Peso en Toneladas P (tn) = 11 tn

$P^{4,1}$ para 11 toneladas para 2 ejes de ruedas dobles = 13,3

$$FCE = \left(\frac{P}{13,3}\right)^{4,1}$$









Factor camión para vehículos C2 es la sumatoria de $\Sigma = 1,273 + 0,459 = 1,732$

Factor camión C3 (pesos de 7 y 11 toneladas) sumatoria de $\Sigma = 0,523 + 0,459 = 0,982$

Factor camión T2S1 (pesos de 7, 11 toneladas por 2) sumatoria de $\Sigma = 1,273 + 0,459 + 0,459 = 2,191$

Tabla 3.30: Factor camión Aranjuez Norte, Tarijeños en Progreso y El Trigo AASHTO

93

		Factor camión							
		Tipos de vehículos							
		Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión	Semitrailer	
				B2	B3	C2	C3	T2S1	
									
P (tn)	EJE 1	1,000	1,000	2,000	7,000	7,000	7,000		
	EJE 2	1,000	4,000	11,000	11,000	11,000	11,000		
	EJE 3						11,000		
P1 ^4,1		6,600	6,600	6,600	6,600	8,200	6,600		
		6,600	8,200	13,300	13,300	13,300	13,300		
							13,300		
FCE = $\left(\frac{P}{P1}\right)^{4,1}$		0,000	0,000	0,007	1,273	0,523	1,273		
		0,000	0,053	0,459	0,459	0,459	0,459		
							0,459		
Factor camión (FC)		0,001	0,053	0,467	1,732	0,982	2,191		

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.11. Número de ejes equivalentes

Para el cálculo del ESAL se debe tener en cuenta el conteo vehicular, la conversión a ejes equivalentes y se debe afectar factores direccionales y de carril aplicando la siguiente ecuación:

$$W18 = DD \times DL \times w18$$

W18 = Número de ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de análisis en el carril de diseño

DD = Factor de distribución direccional

DL = Factor de distribución por carril

w18 = Tráfico total en ambas direcciones para el periodo de diseño

El DD generalmente es 0,5 (50%) para la mayoría de diseño de carreteras, en el presente proyecto, se asumirá un valor de DD = 0.5, debido a que el conteo de tráfico realizado y mostrado en el anexos, se hizo en forma general y los resultados del tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo han sido para ambos carriles.

Los factores de distribución por carril, DL, recomendados por AASHTO se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 3.31: Numero de esal's según dirección de carril

N° de carriles en una dirección	% de ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 pavimento rígido

$$DD = 100\% = 1; DL = 50\% = 0,5$$

3.3.6.1.11.1. Cálculo del factor de crecimiento (Fcr)

Se realiza con la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{(1 + r)^P - 1}{r}$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento

r = Tasa de crecimiento

P = Periodo o análisis de diseño

3.3.6.1.11.2. Periodo de diseño

Tabla 3.32: Factor de crecimiento según tipo de carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Análisis (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 pavimento rígido

$$FC = \frac{(1 + r)^P}{r} - 1$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento

r = Tasa de crecimiento

p = Periodo o análisis de diseño

Tabla 3.33: Factor de crecimiento (FC) y periodo de análisis en tramos de estudio

	Tasa de Crecimiento r (%)	Periodo de Análisis (años)	FC
Barrió Aranjuez Norte	10	30	164,494
Barrió El Trigal	10	20	57,272
Barrió Tarijeños en Progreso	10	20	57,272

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.1.11.3. Cálculo de ESAL's en tramos de estudio

Se considera los TPDA por vehículo, el factor camión, el factor de crecimiento, el factor de distribución direccional (DD) y el factor de distribución por carril (DL), a continuación se observara los ESAL's en cada tramo de estudio

- Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio

Datos:

TPDA de vehículos en tramo de estudio

Tabla 3.34: TPDA por vehículo y factor camión "Aranjuez Norte"

	Autos y Camionetas	Combis, Micros, Couters B2	Buses B3	Camión C2	Camión C3	Semitrailer T2S1
TPDA	508	109	0	28	8	2
FC	0,001	0,053	0,467	1,732	0,982	2,191

Fuente: Elaboración propia









DD = 100% = 1

DL = 50% = 0,5

Frc = 10%

ESAL's parcial = TPDA x FC x Fcr x DD x DL x 365

Tabla 3.35: Esal's de diseño Aranjuez Norte AASHTO 93

ESAL de diseño								
	Tipos de vehículos							
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión	Semitrailer	
			B2	B3	C2	C3	T2S1	
								
TPDA por vehículo	508,000		109,000	0,000	28,000	8,000	2,000	
Factor camión (FC)	0,001		0,053	0,467	1,732	0,982	2,191	
Factor de crecimiento (Fcr)	164,494		164,494	164,494	164,494	164,494	164,494	
DD	0,500		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
DL	1,000		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
ESAL parcial = TPDA x FC x Fcr x DD x DL x 365	13309,954		173872,164	0,000	1455812,074	235796,790	131551,784	
ESAL de diseño	2010342,766							
ESAL de diseño	2,01E+06							

Fuente: Elaboración propia

- **Barrio El Trigal Av. La Paz**

Datos:

TPDA de vehículos en tramo de estudio

Tabla 3.36: TPDA por vehículo y factor camión "El Trigal"

	Autos y Camionetas	Combis, Micros, Couters B2	Buses B3	Camión C2	Camión C3	Semitrailer T2S1
TPDA	356	109	0	11	2	1
FC	0,0009	0,053	0,467	1,732	0,982	2,191

Fuente: Elaboración propia








$$DD = 100\% = 1$$

$$DL = 50\% = 0,5$$

$$Frc = 10\%$$

$$ESAL's \text{ parcial} = TPDA \times FC \times Fcr \times DD \times DL \times 365$$

Tabla 3.37: ESAL's de diseño El Trigal AASHTO 93

ESAL de diseño							
	Tipos de Vehículos						
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión	Semitrailer
			B2	B3	C2	C3	T2S1
							
TPDA por vehículo	356,000		109,000	0,000	11,000	2,000	1,000
Factor camión (FC)	0,001		0,053	0,467	1,732	0,982	2,191
Factor de crecimiento (Fcr)	164,494		164,494	164,494	164,494	164,494	164,494
DD	0,500		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
DL	1,000		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ESAL parcial= TPDA x FC x Fcr x DD x DL x 365	9327,448		173872,164	0,000	571926,172	58949,197	65775,892
ESAL de diseño	879850,8739						
ESAL de diseño	8,80E+05						

Fuente: Elaboración propia

- **Barrio Tarijeño en Progreso Av. Gran Chaco**

Datos:

TPDA de vehículos en tramo de estudio

Tabla 3.38: TPDA por vehículo y factor camión "Tarijeños en Progreso"

	Autos y Camionetas	Combis, Micros, Couters B2	Buses B3	Camión C2	Camión C3	Semitrailer T2S1
TPDA	75	109	0	18	1	0
FC	0,001	0,053	0,467	1,732	0,982	2,191

Fuente: Elaboración propia







$$DD = 100\% = 1$$

$$DL = 50\% = 0,5$$

$$Frc = 10\%$$

$$\text{ESAL's parcial} = TPDA \times FC \times Fcr \times DD \times DL \times 365$$

Tabla 3.39: ESAL's de diseño Tarijeños en Progreso AASHTO 93

ESAL de diseño							
	Tipos de vehículos						
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers	Buses	Camión	Camión	Semitrailer
			B2	B3	C2	C3	T2S1
							
TPDA por vehículo	75,000	109,000	0,000	18,000	1,000	0,000	
Factor camión (FC)	0,001	0,053	0,467	1,732	0,982	2,191	
Factor de crecimiento (Fcr)	57,275	57,275	57,275	57,275	57,275	57,275	57,275
DD	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
DL	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
ESAL parcial = TPDA x FC x Fcr x DD x DL x 365	547,368	48432,292	0,000	260690,229	8210,184	0,000	
ESAL de diseño	317880,0726						
ESAL de diseño	3,18E+05						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.40: ESAL's de diseño en los tramos de estudio

	Barrió Aranjuez Norte Av. San Antonio	Barrió El Trigal Av. La Paz	Barrió Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco
ESAL's de diseño	2,01E+06	8,80E+05	3,18E+05

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.2. Tráfico según PCA

3.3.6.2.1. Cálculo de ESAL's por eje en cada tramo de estudio

- Barrió Aranjuez Norte Av. San Antonio









Tasa de crecimiento (Tc) = 10%

Periodo de diseño = 30 años

Nº Carriles = 2 carriles → DL = 1

% de vehículos comerciales

Tabla 3.41: % Vehículos y TPDS según PCA Barrio Aranjuez Norte

TPDA									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
TPDS	554,000		76,000		0,000	31,000	9,000	2,000	672,000
TPDA por vehículo	508,000		69,000		0,000	28,000	8,000	2,000	615,000
% Vehículos	83,000		11,000		0,000	4,000	1,000	1,000	100,000

Fuente: Elaboración Propia

% de vehículos comerciales = 11 + 4 + 1 + 1 = 17

% de vehículos comerciales = 17%

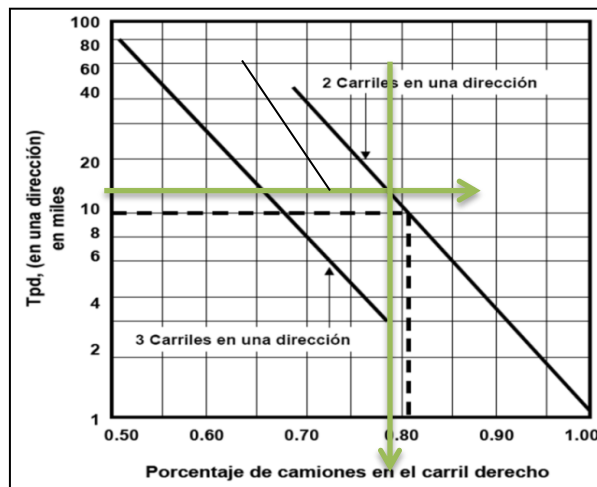
$$TPDA_{DISEÑO} = TPDA \times DL$$

TPD inicial = 5359 Veh

$$\text{Factor Proyeccion (Fp)} = \left(1 + \frac{tc}{2}\right)^n$$

Factor Proyección (Fp) = 4,322

Figura 3.42: % de camiones “Aranjuez Norte”











Fuente: Elaboración propia

$TPDPD = (TPD \text{ inicial} \times Fp) = 23161,3$
 $TPDPD = TPDPD/50\% = 50\% = 2$
 $TPDPD = 11580,645$
 $TPDPD \times (\% \text{ Veh Com}/100) = 1968,710$
 $\% \text{ Camiones carril derecho (fc)} = 0,79$ (figura 16)
 $Tacumulado \times 365 \times fc = 567677,40$

- Barrio El Trigal Av. La Paz

$Tc = 10\%$
 Periodo de diseño = 20 años
 $N^\circ \text{ Carriles} = 2 \text{ carriles} \rightarrow DL = 1$
 $\% \text{ de vehículos comerciales}$

Tabla 3.42: TPDA % de vehículos comerciales

TPDA									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2		B3	C2	C3		T2S1
									
TPDS	380,000		74,000		0,000	12,000	2,000	0,430	468,430
TPDA por vehículo	356,000		68,000		0,000	11,000	2,000	1,000	438,000
% Vehículos	65,000		28,000		0,000	5,000	1,000	1,000	100,000

Fuente: Elaboración propia

$\% \text{ de vehículos comerciales} = 28 + 5 + 1 + 1 = 35$

$\% \text{ de vehículos comerciales} = 35\%$

$$TPDA_{\text{DISEÑO}} = TPDA \times DL$$

TPD inicial = 3292 Veh

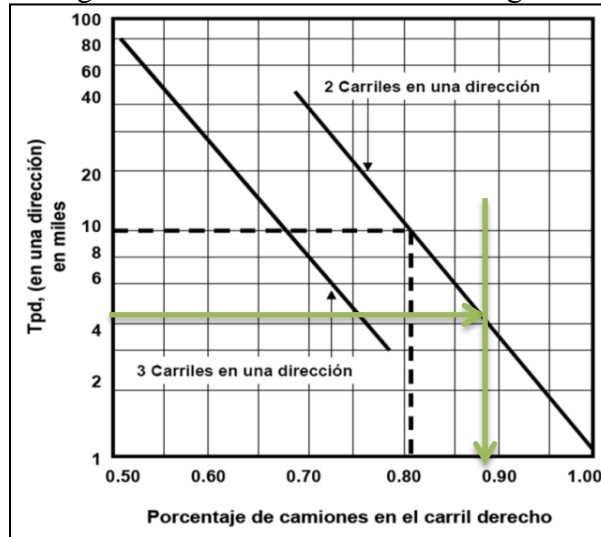
$$\text{Factor Proyeccion} = \left(1 + \frac{tc}{2}\right)^n$$

Factor Proyección (Fp) = 2,653

$TPDPD = (TPD \text{ inicial} \times Fp) = 8734,656$

$$TPDPD = TPDPD/50\% = 50\% = 2$$

Figura 3.43: % de camiones “El Trigal”



Fuente: Elaboración propia

$$TPDPD = 4367,328$$

$$TPDPD \times (\% \text{ Veh Com}/100) = 1528,565$$

$$\% \text{ Camiones carril derecho (fc)} = 0,89 \text{ (figura 16)}$$

$$\text{Tacumulado} \times 365 \times fc = 496554,340$$

- Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco

$$Tc = 10\%$$

Periodo de diseño = 20 años

$$N^{\circ} \text{ Carriles} = 2 \text{ carriles} \rightarrow DL = 1$$

Tabla 3.43: % Vehículos y TPDS según PCA Barrio Tarijeños en Progreso

TPDA									
	Tipos de vehículos							Total	
	Autos y Camionetas		Combis, Micros, Custers		Buses	Camión	Camión		Semitrailer
			B2	B3	C2	C3	T2S1		
TPDS	79,000		58,000		0,000	19,000	1,000	0,000	157,000
TPDA por vehículo	75,000		55,000		0,000	18,000	1,000	0,000	149,000
% Vehículos	50,000		37,000		0,000	12,000	1,000	0,000	100,000

Fuente: Elaboración propia

% de vehículos comerciales = $37 + 12 + 1 = 50$

% de vehículos comerciales = 50

$$TPDA_{DISEÑO} = TPDA \times DL$$

TPD inicial = 1109 Veh

$$\text{Factor Proyeccion} = \left(1 + \frac{tc}{2}\right)^n$$

Factor Proyección (Fp) = 2,653

TPDPD = (TPD inicial x Fp) = 2942,507

TPDPD = TPDPD/50% = 50% = 2

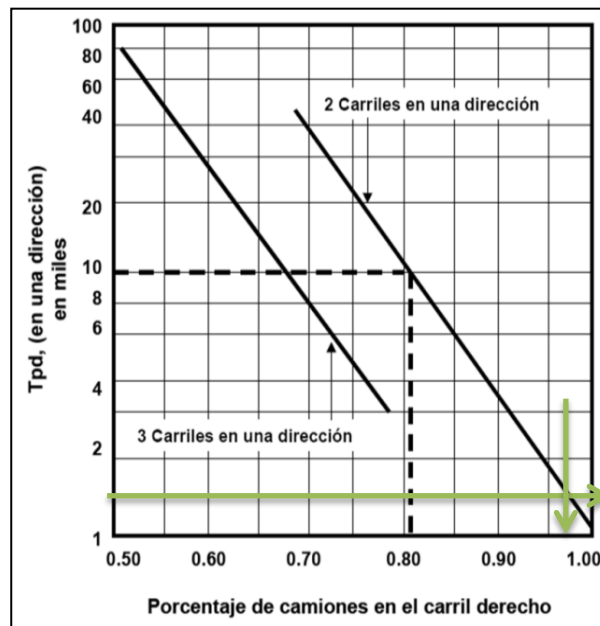
TPDPD = 1471,254

TPDPD x (% Veh Com/100) = 720,914

%Camiones carril derecho (fc) = 0,97 (Figura 16)

Tacumulado x 365 x fc = 255239,602

Figura 3.44: % camiones “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Elaboración propia

3.3.6.3. Tráfico según método Mecanicista

3.3.6.3.1. Cálculo de ESAL's por eje en cada tramo de estudio

Los datos considerados para el cálculo del ESAL's en los tramos de estudio son los siguientes:

Tasa de crecimiento (r)

Periodo de diseño (n)

Factor de crecimiento (C)

$$C = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Tipo de tránsito y el Coeficiente de agresividad CAM de la siguiente tabla 2.24:

Clasificación del tránsito a partir del número de vehículos					
Clasificación del tránsito		Numero acumulado de Vehículos			
T1		Menor a 500			
T2		Entre 500 y 1500			
T3		Entre 1500 y 4000			
T4		Entre 4000 y 10000			
T5		Entre 10000 y 20000			
Valores de CAM según el trafico					
Clase	T1	T2	T3	T4	T5
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Numero de ejes equivalentes (NE):

$$NE = N \times CAM$$

- Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio

$$r = 0,1$$

$$n = 30$$

$$C = 164,494$$

$$N = 44564062,65$$

$$CAM = 0,8$$

$$NE (N \times CAM) = 35651250,121$$

$$NE = 3,57 \times 10E+07$$

- Barrio El Trigal Av. La Paz

$$r = 0,1$$

$$n = 20$$

$$C = 98,347$$

$$N = 16455429,98$$

$$CAM = 0,7$$

$$NE (N \times CAM) = 11,518800,99$$

$$NE = 1,15 \times 10^7$$

- Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco

$$r = 0,1$$

$$n = 20$$

$$C = 57,275$$

$$N = 3201214,272$$

$$CAM = 0,5$$

$$NE (N \times CAM) = 1600607,136$$

$$NE = 1,60 \times 10^6$$

CAPÍTULO IV
DISEÑO DE ESPESORES
DE PAVIMENTO RÍGIDO
Y ANÁLISIS
COMPARATIVO DE
METODOLOGÍAS

CAPITULO IV
DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO RÍGIDO Y ANÁLISIS
COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS

A continuación en este capítulo se mostraran los espesores de pavimento rígido con la ayuda del microsoft Excel, ábacos, catálogos empleados de espesor de pavimento rígido y análisis comparativo de variables según metodologías propuestas

4.1. Diseño de espesor de pavimento rígido ASHTO 93 “El Trigal”

4.1.1. Clasificación del tráfico Barrio “El Trigal”

TPD = 3292 veh

ESAL's (W18) = 8,80E+05

Tabla 4.1: Clasificación del tráfico promedio “El Trigal”

Clasificación tráfico Promedio diario	
Vehículos/día	TPD
< 2941	Bajo
2942 - 5254	Medio
> 5255	Alto

Fuente: Modelo de evaluación de la calidad en la infraestructura vial (RODA 2009)

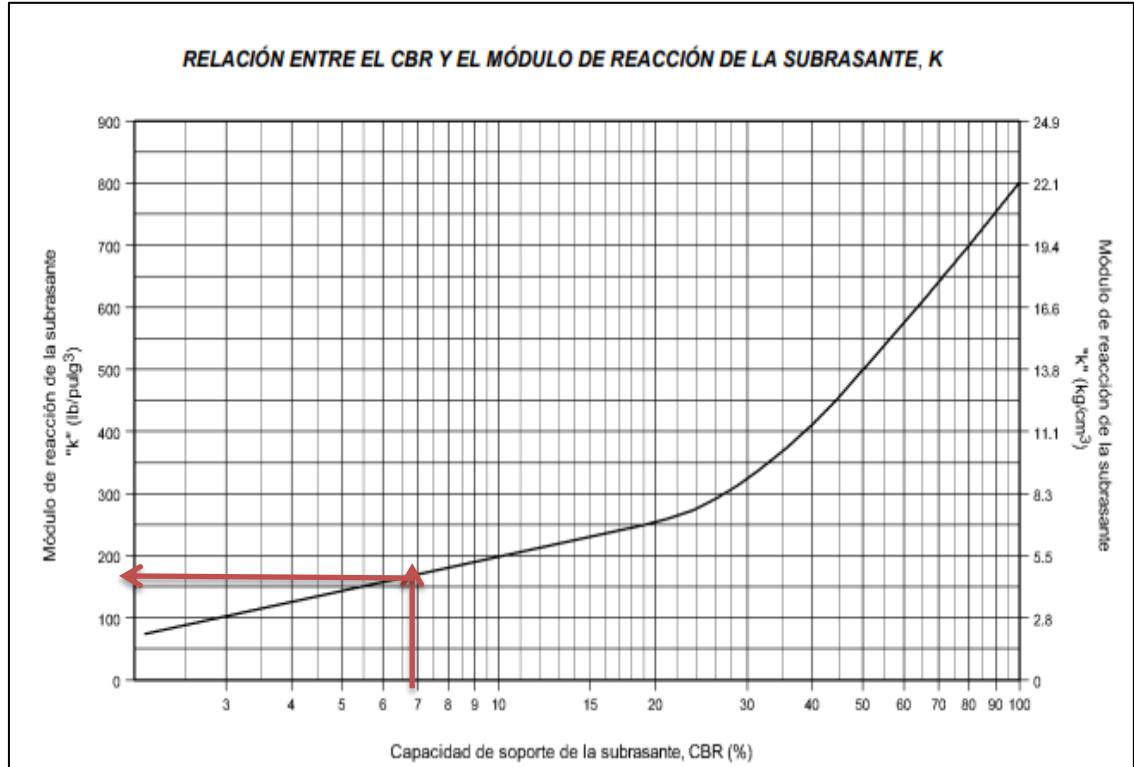
TPD = Medio

4.1.2. Módulo de reacción de la subrasante “K”

CBR tramo = 6,869 %

Para el módulo de la subrasante se empleó la siguiente figura:

Figura 4.1: Relación entre el CBR y el módulo de la subrasante “El Trigoal”



Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 estructuras de pavimento

Interpolando:

CBR (%)

5,5 → 150

6,869 → X1

10 → 200

$$K = \frac{(150 - 200) \times (6,869 - 10)}{(5,5 - 10)} + 200$$

Ksubrasante = 165,211 Psi

4.1.3. Confiabilidad R (%) y desviación estándar (Zr):

Se determina mediante la tabla 2.8 que se muestra a continuación la confiabilidad:

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Caminos vecinales = 50 – 80

Nivel de confianza R (%) = 70%

Mediante la tabla 2.9 que se muestra a continuación se determina la desviación estándar (Zr):

Confiabilidad	Zr	Confiabilidad	Zr
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Zr = -0,524

4.1.4. Error estándar combinado

Para pavimentos rígidos $0,30 < S_o < 0,40$

S_o = 0,35

4.1.5. Serviciabilidad

Índice de servicio inicial para pavimentos rígidos $P_o = 4,2$ a $4,5$

P_o = 4,5

Índice de servicio final para Carreteras de mayor tránsito un valor de $P_t > 2,5$

P_t = 2,5

$\Delta PSI = P_o - P_t$

$$\Delta\text{PSI} = 2,0$$

4.1.6 Modulo de Ruptura del hormigón (S'c)

El módulo de ruptura del hormigón es el dato del ensayo a compresión promedio a los 28 días de probetas cilíndricas en el laboratorio de tecnología del hormigón en Psi

$$F'c = 37,49 \text{ MPa} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'c = 2 \sqrt{F'c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$S'c = 2 \times \sqrt{374,9}$$

$$S'c = 38,725 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'c = 550,793 \text{ Psi}$$

4.1.7. Coeficiente de drenaje (Cd)

Para el coeficiente de drenaje se debe considerar los meses de lluvia en nuestra región, se estima que los meses de noviembre, diciembre y enero son los meses de mayor precipitación, siendo estos 3 meses de lluvia

Para el cálculo del tiempo total que tarda el agua en evacuar (X) se aplicara la siguiente fórmula:

$$X = \frac{\text{Meses de Lluvia en la region}}{12 \text{ meses del año}} \times 100\%$$

Donde:

X = % de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación

$$X = \frac{3}{12} \times 100 = 25\%$$

De la tabla 2.11 se determina el Coeficiente de drenaje (Cd)

Capacidad de drenaje	% de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más del 25%
Excelente	1,4 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

$$Cd = 1,00$$

4.1.8. Módulo de Elasticidad del Hormigón (Ec)

Para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón considera la resistencia a la compresión simple del Hormigón (F'c) a los 28 días en psi

$$F'c = 37,49 \text{ MPa} = 5332,315 \text{ Psi}$$

$$Ec = 57000 \times (F'c)^{0,5}$$

$$Ec = 57000 \times (5332,315)^{0,5}$$

$$Ec = 4162294,08 \text{ Psi}$$

4.1.9. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Se determina mediante la tabla 2.12:

Banquina	Concreto	Asfáltico	Hormigón vinculado a calzada	
Elementos (barras) de transferencia de cargas	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento				
Hormigón simple o Armado c/juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Hormigón armado Continuo	2,9 - 3,2	-----	2,3 - 2,9	-----

$$J = 3,2$$

Aplicación de la ecuación AASHTO 93 para diseño de pavimento rígido:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) * \log_{10} \left[\frac{S'_c * C_d * D^{0.75} - 1.132}{215.63J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right]$$

$$\text{Log (W18)} = \text{Log (8,80E+05)}$$

$$\text{Log (W18)} = 5,944$$

$$\text{Log } (\Delta PSI)/4,5 - 1,5 \rightarrow \text{Log (2)/4,5 - 1,5} = 0,13264667$$

$$4,22 - 0,32 \text{ Pt} \rightarrow 4,22 - 0,32 \times (2) = 3,58$$

$$S'_c \times C_d = 550,793 \times 1$$

$$S'_c \times C_d = 550,793$$

Para la igualación de la ecuación del AASHTO 93 y realizar el proceso de iteración para poder encontrar el espesor del pavimento rígido mediante este método, se aplicará la herramienta solver, que nos ofrece Microsoft Excel, solver es una herramienta o complemento de Excel que nos permite realizar cálculos para alcanzar un resultado, es decir podemos encontrar objetivos optimizados para modelos lineales y no lineales, Mediante el uso del Microsoft Excel de buscar objetivo e igualando la ecuación al Log (W18) teniendo como incógnita el espesor de losa en pulgadas, se tiene:

$$\text{Log (W18)} = 5,944 = 5,9442$$

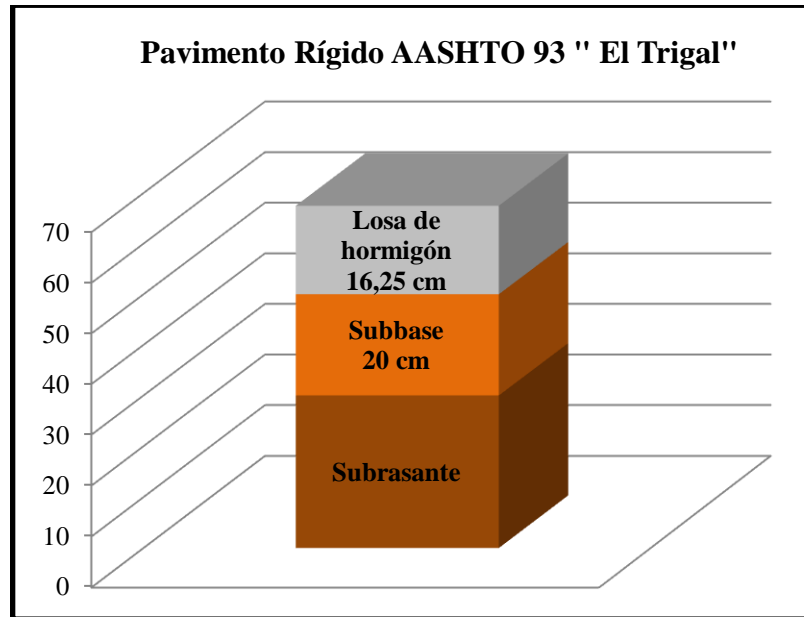
$$\rightarrow \text{Espesor de losa (D)} = 6,302 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dadopt)} = 6,50 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dlosa)} = 16,25 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (Dsubbase)} = 20 \text{ cm}$$

Figura 4.2: Espesor de pavimento rígido “El Trigal”



Fuente: Elaboración propia

4.1.10. Aplicación del software AASHTO 93 “El Trigal”

Figura 4.3: Software AASHTO 93

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 70 % $Z_r = -0.524$ So: 0.39 Ayuda

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2.0 Ayuda

Tránsito de diseño: W18: 880000

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 165.211 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4162294.1 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 550.793

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coefficiente de drenaje - Cd: 1.1 Cd

Espesor de losa D (plg): 6.16

D redondeado (plg): 6.50

W18 real: 1.27E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg): D: W18:

Quitar el control de variables

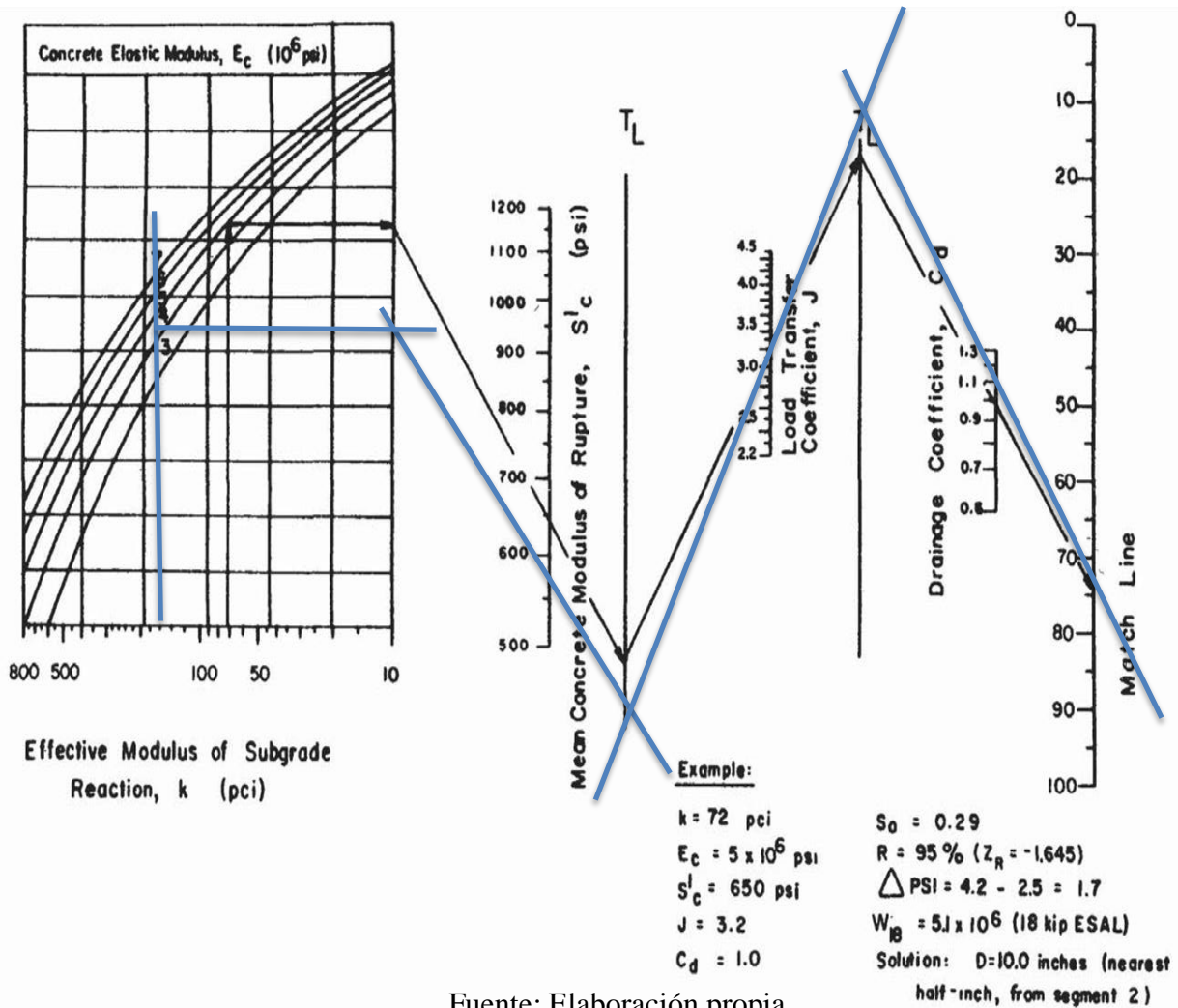
Diseñar Ver informe Salir

Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa redondeado (Dred) = 6,50 plg

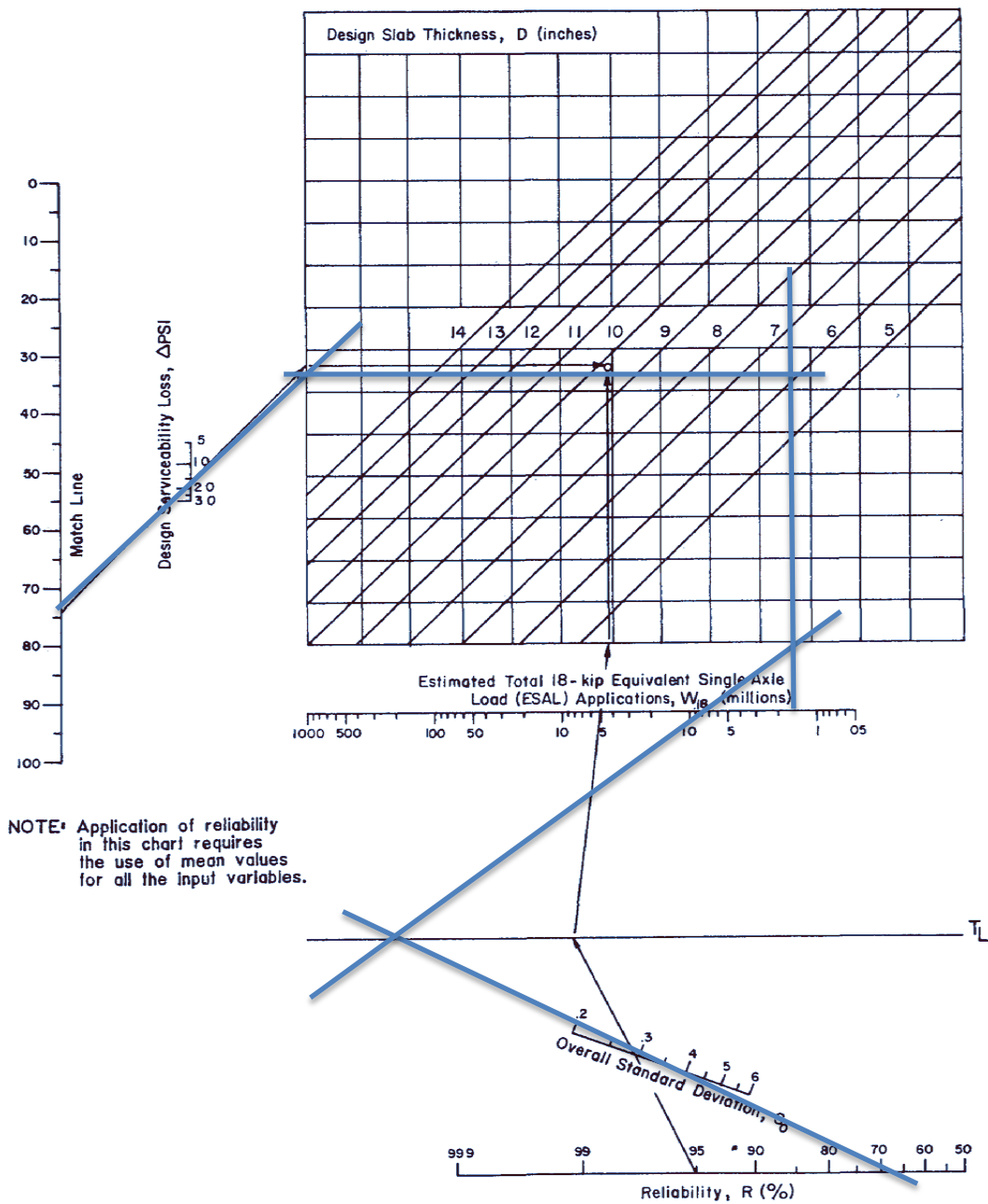
4.1.10.1. Aplicación de nomogramas pavimento rígido “El Trigal”

Figura 4.4: Nomogramas pavimento rígido primera parte “El Trigal”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Nomogramas pavimento rígido segunda parte “El Trigoal”



Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa (D) = 6,20 plg

Espesor de losa adoptado (Dre) = 6,50 plg = 16,25 cm

4.1.11. Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “El Trigal” AASHTO 93

4.1.11.1. Diseño de juntas longitudinales

Ancho de calzada = 7,30 m

Ancho del carril (a) = 3,650 m

4.2.11.2. Diseño de pasadores y juntas de hormigón

4.2.11.2.1. Relación de lados de la losa

$$\frac{a}{L} \cong 0,6$$

$$L = \frac{a}{0,6}$$

$$L = 6,10 \text{ m}$$

4.2.11.2.2. Esfuerzo de tensión del hormigón

$$y = 2,4 \text{ tn/m}^3$$

$$f = 2$$

$$L = \frac{S_2}{y \times f}$$

$$S_2 = L \times y \times f$$

$$S_2 = 29,28 \text{ tn/m}^2$$

Tabla 4.2: Requisitos mínimo para pasadores de acero en junta de pavimento

Requisito mínimos para pasadores de acero en juntas de pavimento			
Espesor de pavimento (cm)	Diámetro del pasador (plg)	Longitud total (cm)	Separación (cm)
10	1/2"	25	30
11. - 13	5/8"	30	30
14 - 15	3/4"	35	30
16 - 18	7/8"	35	30
19 - 20	1"	35	30
21 - 23	1 1/8"	40	30
24 - 25	1 1/4"	45	30
26 - 28	1 3/8"	45	30
29 - 30	1 1/2"	50	30

Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 pavimento rígido

Espesor de pavimento = 16,25 cm

Diámetro = 7/8" diámetro no comerciable

Diámetro del pasador adoptado = 5/8" = 16 mm (propuesto)

Separación entre pasadores

$$l_1 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times a \times h \times y \times f}$$

$$l_1 = \frac{\pi \times (1,6)^2 \times 2500}{4 \times 3,65 \times 0,1625 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_1 = 176,556 \text{ cm}$$

$$l_1 = 1,70 \text{ m}$$

Separación entre pasajuntas

$$l_2 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times L \times h \times y \times f}$$

$$l_2 = \frac{\pi \times (1,6)^2 \times 2500}{4 \times 6,1 \times 0,1625 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_2 = 105,644 \text{ cm}$$

$$l_2 = 1,00 \text{ m}$$

Longitud de pasadores y pasajuntas

$$U = 0,9 \times \sqrt{f_{cd}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_{cd} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$U = 17,426 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times \pi \times d \times y \times U}$$

$$b = \frac{\pi \times 1,6^2 \times 2500}{4 \times \pi \times 1,6 \times 2,4 \times 17,426}$$

$$b = 1,20 \text{ cm}$$

4.2.11.2.3 Planilla de fierro

Planilla de fierro para una losa de pavimento rígido del tramo de estudio

Tabla 4.3: Planilla de fierro por losa de hormigón “El Trigal”

	Nº	Diámetro (mm)	Cantidad	Longitud	
				Largo Unitario	Long. Total
Transversales	1	16	6	1,2	7,2
Longitudinales	2	16	6	1,2	7,2
Σ					14,4

Fuente: Elaboración propia

Peso específico del acero = 7850 kg/m²

Nº	Área de la Sección (mm ²)	Área de la Sección (m ²)
1--2	201,062	2,011

$$P_T = \gamma_{\text{acero}} \times (\text{Área de la sección } (\varnothing)) / 100^2 \times L_{\text{Total}}$$

$$PT = 22,728 \text{ kg}$$

4.2. Diseño de espesor de pavimento rígido AASHTO 93 Barrio Tarijeños en Progreso

4.2.1. Clasificación del tráfico Barrio Tarijeños en Progreso

TPD = 1109 veh

ESAL's (W18) = 3,18E+05

Tabla 4.4: Clasificación del tráfico promedio “Tarijeños en Progreso”

Clasificación tráfico Promedio diario	
Vehículos/día	TPD
< 2941	Bajo
2942 - 5254	Medio
> 5255	Alto

Fuente: Modelo de evaluación de la calidad en la infraestructura vial (ROAD 2009)

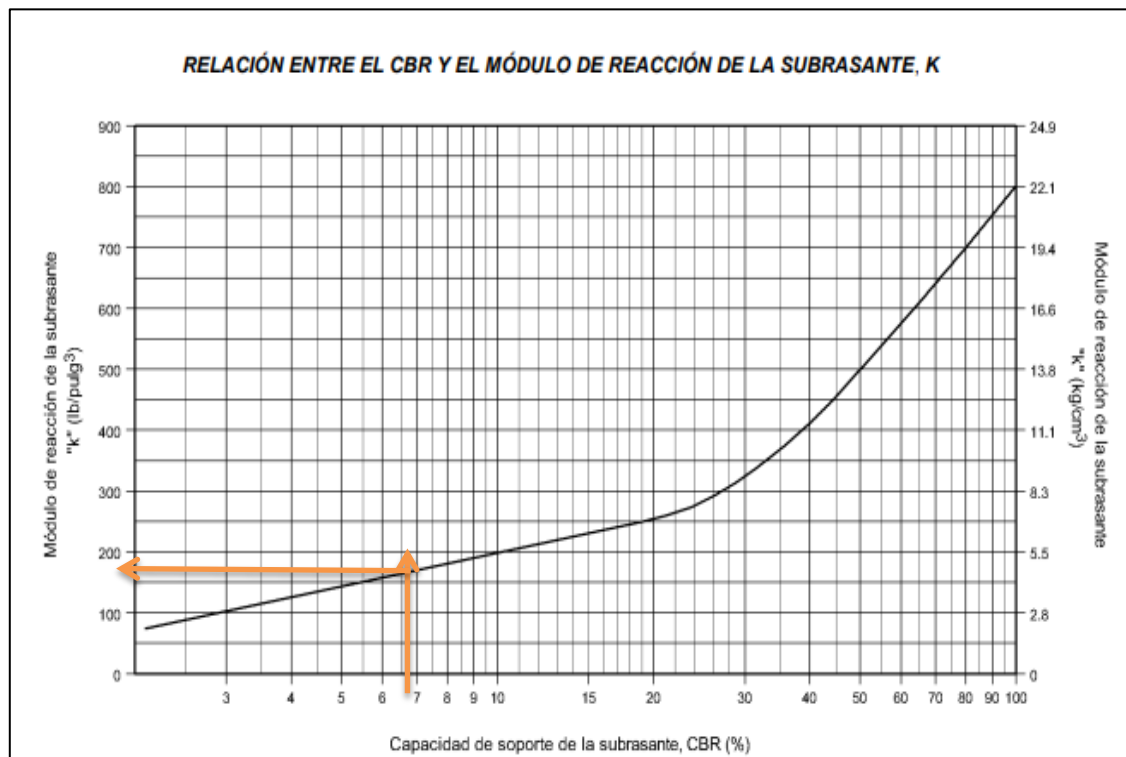
TPD = Bajo

4.2.2. Módulo de reacción de la subrasante “K”

CBR tramo = 6,806 %

Para el módulo de la subrasante se empleó la siguiente figura:

Figura 4.6: Relación entre el CBR y el módulo de la subrasante “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 estructuras de pavimento

Interpolando:

CBR (%)

5,5 → 150

6,806 → X1

10 → 200

$$K = \frac{(150 - 200) \times (6,806 - 10)}{(5,5 - 10)} + 200$$

Ksubrasante = 164,511 Psi

4.2.3. Confiabilidad R (%) y desviación estándar (Zr):

Se determina mediante la tabla 2.8 que se muestra a continuación la confiabilidad:

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Caminos vecinales = 50 – 80

Nivel de confianza R (%) = 60%

Mediante la tabla 2.9 que se muestra a continuación se determina la desviación estándar (Zr):

Confiabilidad	Zr	Confiabilidad	Zr
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Zr = -0,253

4.2.4. Error estándar combinado

Para pavimentos rígidos $0,30 < S_o < 0,40$

$$S_o = 0,35$$

4.2.5. Serviciabilidad

Índice de servicio inicial para pavimentos rígidos $P_o = 4,2$ a $4,5$

$$P_o = 4,5$$

Índice de servicio final para Carreteras de mayor tránsito un valor de $P_t > 2,5$

$$P_t = 2,5$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2,0$$

4.2.6 Modulo de Ruptura del hormigón (S'_c)

El módulo de ruptura del hormigón es el dato del ensayo a compresión promedio a los 28 días de probetas cilíndricas en el laboratorio de tecnología del hormigón en Psi

$$F'_c = 37,49 \text{ MPa} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'_c = 2 \sqrt{F'_c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$S'_c = 2 \times \sqrt{374,9}$$

$$S'_c = 38,725 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'_c = 550,793 \text{ Psi}$$

4.2.7. Coeficiente de drenaje (Cd)

Para el coeficiente de drenaje se debe considerar los meses de lluvia en nuestra región, se estima que los meses de noviembre, diciembre y enero son los meses de mayor precipitación, siendo estos 3 meses de lluvia

Para el cálculo del tiempo total que tarda el agua en evacuar (X) se aplicara la siguiente fórmula, donde X es % de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación:

:

$$X = \frac{\text{Meses de Lluvia}}{12 \text{ meses del año}} \times 100\%$$

$$X = \frac{3}{12} \times 100 = 25\%$$

De la tabla 2.11 se determina el Coeficiente de drenaje (Cd)

Capacidad de drenaje	% de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más del 25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

$$Cd = 1,00$$

4.2.8. Módulo de Elasticidad del Hormigón (Ec)

Para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón considera la resistencia a la compresión simple del Hormigón (F'c) a los 28 días

$$F'c = 37,49 \text{ MPa} = 5332,315 \text{ Psi}$$

$$Ec = 57000 \times (F'c)^{0,5}$$

$$Ec = 57000 \times (5332,315)^{0,5}$$

$$Ec = 4162294,08 \text{ Psi}$$

4.2.9. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Se determina mediante la tabla 2.12:

Banquina	Concreto	Asfáltico	Hormigón vinculado a calzada	
Elementos (barras) de transferencia de cargas	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento				
Hormigón simple o Armado c/juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Hormigón armado Continuo	2,9 - 3,2	-----	2,3 - 2,9	-----

$$J = 3,2$$

Aplicación de la ecuación AASHTO 93 para diseño de pavimento rígido:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32Pt) * \log_{10} \left[\frac{S'_c * C_d * D^{0.75} - 1.132}{215.63J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right]$$

$$\text{Log (W18)} = \text{Log (3,18E+05)}$$

$$\text{Log (W18)} = 5,502$$

$$\text{Log } (\Delta PSI)/4,5 - 1,5 \rightarrow \text{Log (2)/4,5 - 1,5} = 0,13264667$$

$$4,22 - 0,32 Pt \rightarrow 4,22 - 0,32 \times (2) = 3,58$$

$$S'_c \times C_d = 550,793 \times 1$$

$$S'_c \times C_d = 550,793$$

Se utilizará la herramienta o complemento del Microsoft Excel conocido como solver, ya aplicado el en diseño anteriormente del tamo de estudio “El Trigal”. Mediante el uso de solver de buscar objetivo e igualando la ecuación al Log (W18) teniendo como incógnita el espesor de losa en pulgadas, se tiene:

$$\text{Log (W18)} = 5,502 = 5,5023$$

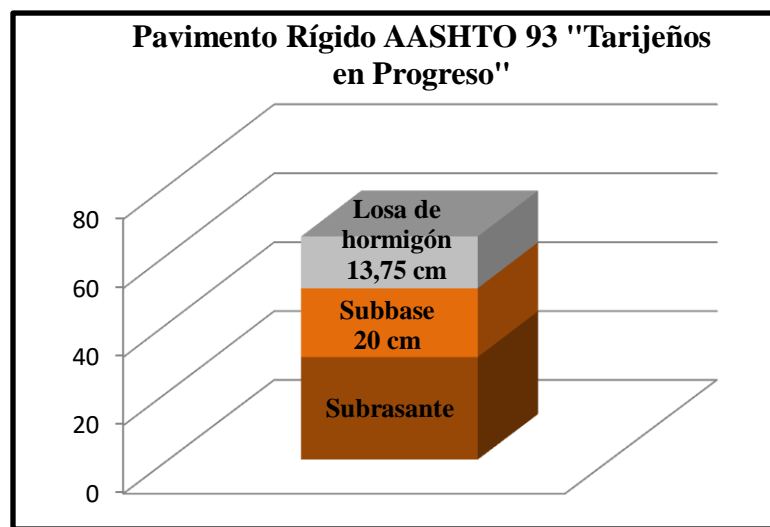
$$\rightarrow \text{Espesor de losa (D)} = 5,068 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dadopt)} = 5,50 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dlosa)} = 13,75 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (Dsubbase)} = 20 \text{ cm}$$

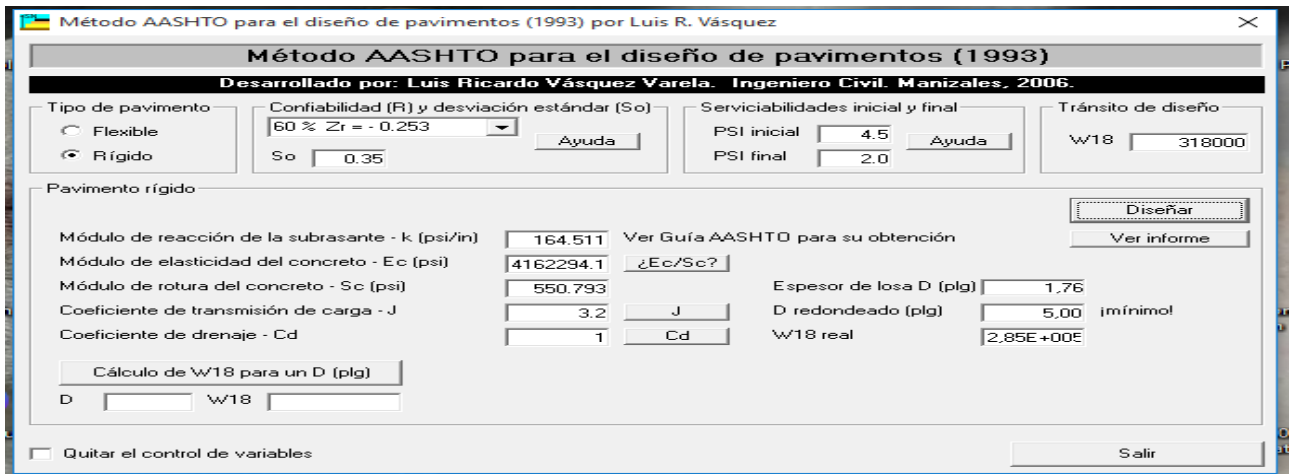
Figura 4.7: Pavimento rígido AASHTO 93 “Tarijeño en Progreso”



Fuente: Elaboración propia

4.2.10. Aplicación del software AASHTO 93 “Tarijeños en Progreso”

Figura 4.8: Software AAHTO 93 “Tarijeños en Progreso”

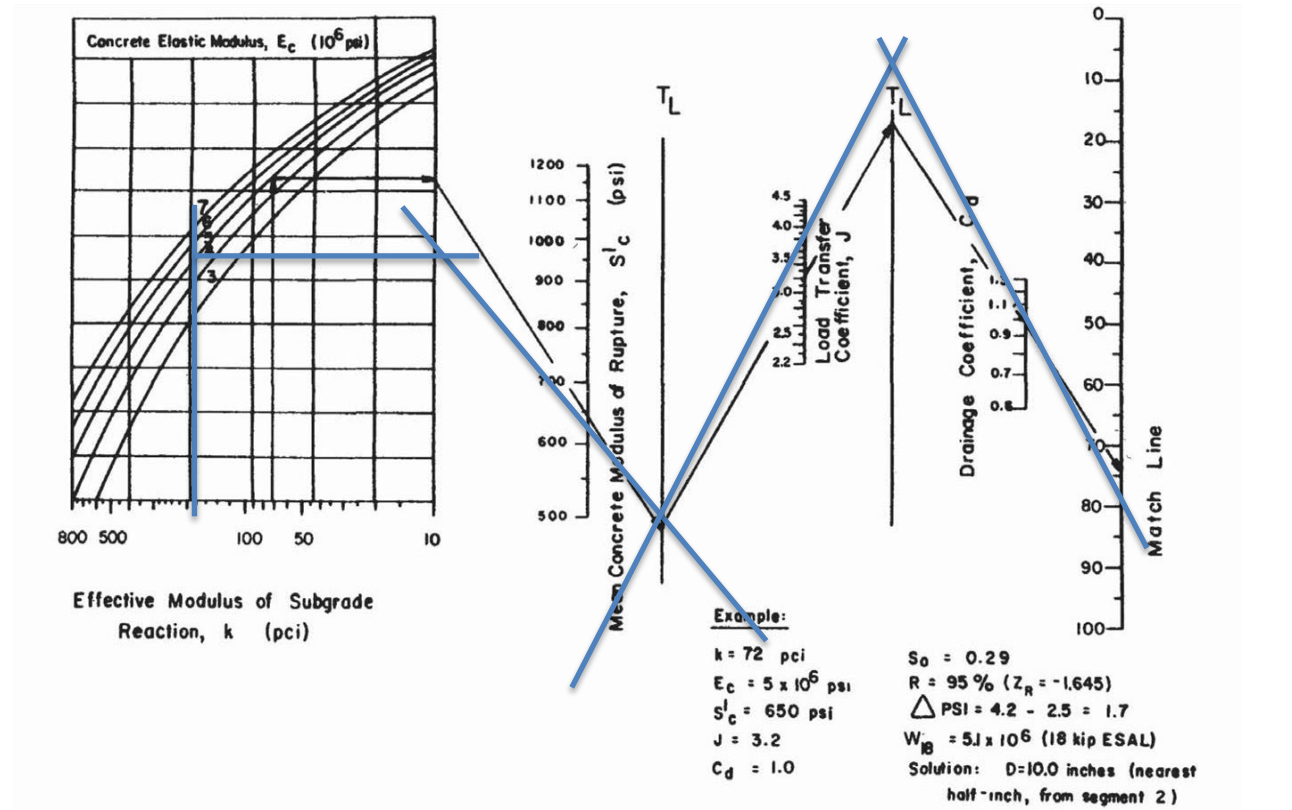


Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa adoptado (D_{re}) = 5 plg = 12,5 cm

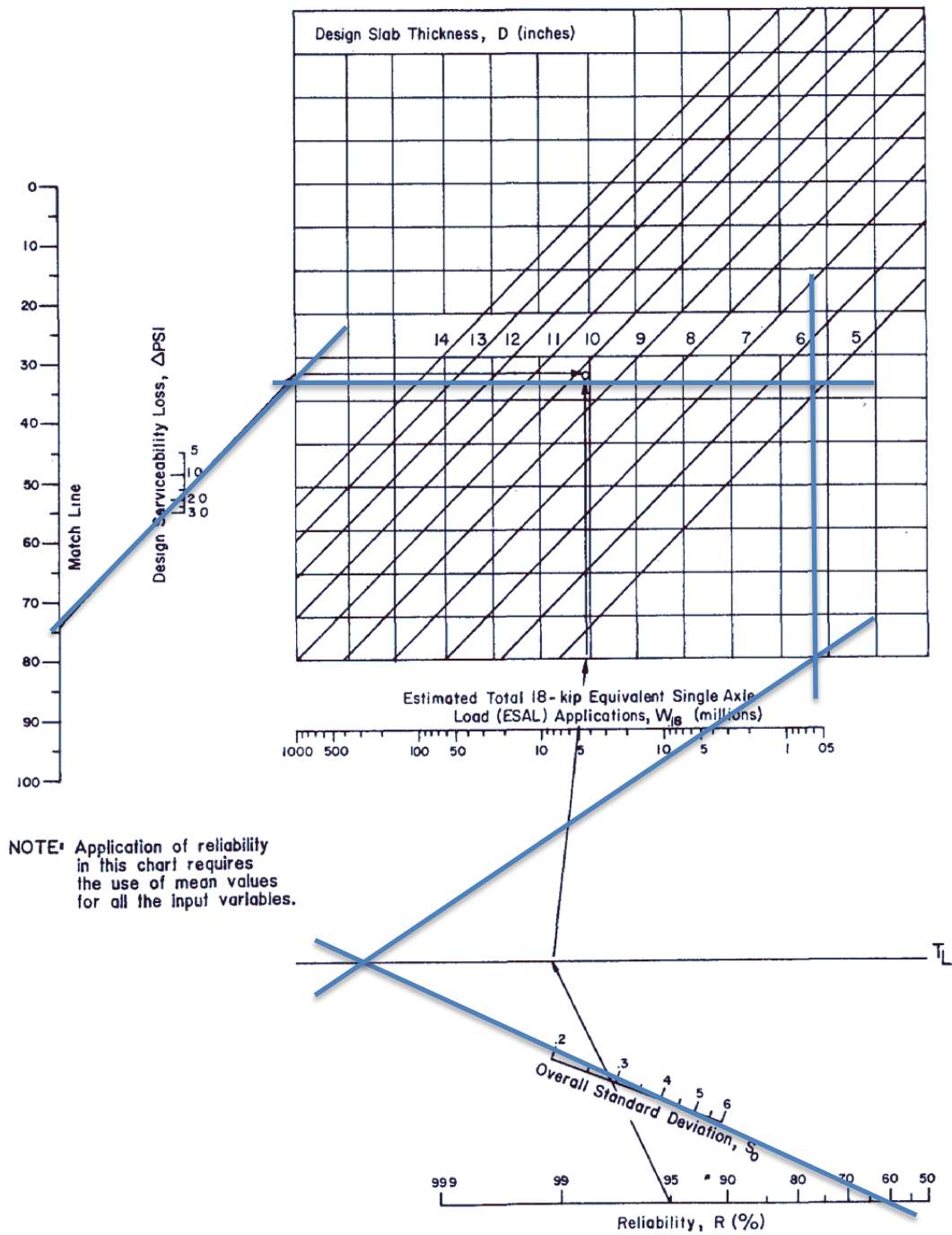
4.2.11. Aplicación de nomogramas pavimento rígido “Tarijeños en Progreso”

Figura 4.9: Nomogramas de pavimento rígido primera parte “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10: Nomogramas de pavimento rígido segunda parte “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa (D) = 5,5 plg = 13,75 cm

4.2.12. Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “Tarijeños en Progreso”

AASHTO 93

4.2.12.1. Datos de la losa de hormigón

Ancho de calzada = 7,000 m

Ancho del carril (a) = 3,500 m

4.2.12.2. Diseño de pasadores y juntas de hormigón

4.2.12.2.1. Relación de lados de la losa

$$\frac{a}{L} \cong 0,6$$

$$L = \frac{a}{0,6}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

4.2.12.2.2. Esfuerzo de tensión del hormigón

$$y = 2,4 \text{ tn/m}^3$$

$$f = 2$$

$$L = \frac{S_2}{y \times f}$$

$$S_2 = L \times y \times f$$

$$S_2 = 28,8 \text{ tn/m}^2$$

De la tabla 4.2 se determina el requisito mínimo para pasadores de acero en juntas del pavimento rígido para “Tarijeños en Progreso”

Requisito mínimos para pasadores de acero en juntas de pavimento			
Espesor de pavimento (cm)	Diámetro del pasador (plg)	Longitud total (cm)	Separación (cm)
10	1/2"	25	30
11. - 13	5/8"	30	30
14 - 15	3/4"	35	30
16 - 18	7/8"	35	30
19 - 20	1"	35	30
21 - 23	1 1/8"	40	30
24 - 25	1 1/4"	45	30
26 - 28	1 3/8"	45	30
29 - 30	1 1/2"	50	30

Espesor de pavimento = 13,75 cm

Diámetro del pasador = 1/2" = 12 mm (propuesto)

Separación entre pasadores

$$l_1 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times a \times h \times y \times f}$$

$$l_1 = \frac{\pi \times (1,2)^2 \times 2500}{4 \times 3,5 \times 0,1375 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_1 = 80,50 \text{ cm}$$

$$l_1 = 0,85 \text{ m}$$

Separación entre pasajuntas

$$l_2 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times L \times h \times y \times f}$$

$$l_2 = \frac{\pi \times (1,2)^2 \times 2500}{4 \times 6,0 \times 0,1375 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_2 = 49,583 \text{ cm}$$

$$l_2 = 0,50 \text{ m}$$

Longitud de pasadores y pasajuntas

$$U = 0,9 \times \sqrt{f_{cd}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_{cd} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$U = 17,426 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times \pi \times d \times y \times U}$$

$$b = \frac{\pi \times 1,2^2 \times 2500}{4 \times \pi \times 1,2 \times 2,4 \times 17,426}$$

$$b = 0,90 \text{ cm}$$

4.2.12.2.3 Planilla de fierro

Planilla de fierro para una losa de pavimento rígido del tramo de estudio

Tabla 4.5: Planilla de fierro por losa de hormigón “Tarijeños en Progreso”

	N°	Diámetro (mm)	Cantidad	Longitud	
				Largo Unitario	Long. Total
Transversales	1	12	12	0,9	10,8
Longitudinales	2	12	12	0,9	10,8
				Σ	21,6

Fuente: Elaboración propia

Peso específico del acero = 7850 kg/m³

N°	Área de la Sección (mm ²)	Área de la Sección (m ²)
1 – 2	113,097	1,131

$$P_T = y_{\text{acero}} \times (\text{Area de la seccion } (\varnothing)) / 100^2 \times L_{\text{Total}}$$

$$PT = 19,177 \text{ kg}$$

4.3. Diseño de espesor de pavimento rígido AASHTO 93 Barrio Aranjuez Norte

4.3.1. Clasificación del tráfico Barrió Aranjuez Norte

TPD = 5359 veh

ESAL's (W18) = 2,01E+06

Tabla 4.6: Clasificación del tráfico promedio “Aranjuez Norte”

Clasificación tráfico Promedio diario	
Vehículos/día	TPD
< 2941	Bajo
2942 - 5254	Medio
> 5255	Alto

Fuente: Modelo de evaluación de la calidad en la infraestructura vial (RODA 2009)

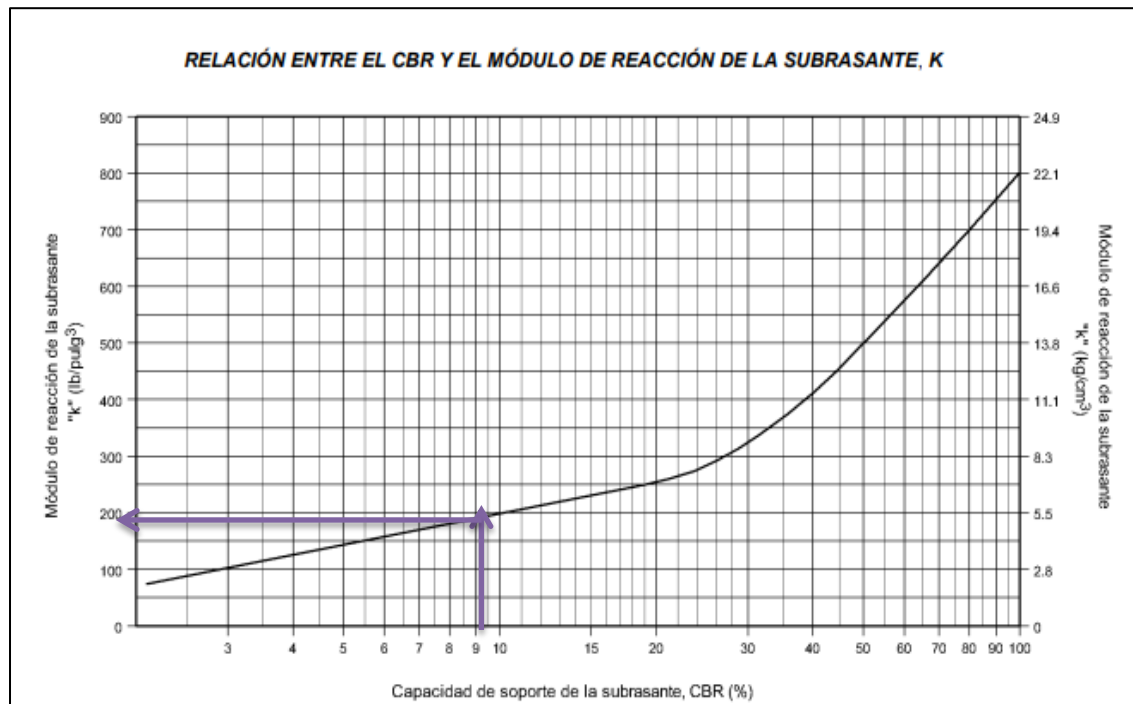
TPD = Alto

4.3.2. Módulo de reacción de la subrasante “K”

CBR tramo = 9,415 %

Para el módulo de la subrasante se empleó la siguiente figura:

Figura 4.11: Relación entre el CBR y el módulo de la subrasante “Aranjuez Norte”:



Fuente: Guía de diseño AASHTO 93 estructuras de pavimentos

Interpolando:

CBR (%)

5,5 → 150

9,415 → X1

10 → 200

$$K = \frac{(150 - 200) \times (9,415 - 10)}{(5,5 - 10)} + 200$$

Ksubrasante = 193,500 Psi

4.3.3. Confiabilidad R (%) y desviación estándar (Zr):

Se determina mediante la tabla 2.8 que se muestra a continuación la confiabilidad:

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Caminos vecinales = 50 – 80

Nivel de confianza R (%) = 80%

Mediante la tabla 2.9 que se muestra a continuación se determina la desviación estándar (Zr):

Confiabilidad	Zr	Confiabilidad	Zr
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Zr = -0,841

4.3.4. Error estándar combinado

Para pavimentos rígidos $0,30 < S_o < 0,40$

$$S_o = 0,35$$

4.3.5. Serviciabilidad

Índice de servicio inicial para pavimentos rígidos $P_o = 4,2$ a $4,5$

$$P_o = 4,5$$

Índice de servicio final para Carreteras de mayor tránsito un valor de $P_t > 2,5$

$$P_t = 2,5$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2,0$$

4.3.6 Modulo de Ruptura del hormigón (S'_c)

El módulo de ruptura del hormigón es el dato del ensayo a compresión promedio a los 28 días de probetas cilíndricas en el laboratorio de tecnología del hormigón en Psi

$$F'_c = 37,49 \text{ MPa} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'_c = 2 \sqrt{F'_c \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$S'_c = 2 \times \sqrt{374,9}$$

$$S'_c = 38,725 \text{ kg/cm}^2$$

$$S'_c = 550,793 \text{ Psi}$$

4.3.7. Coeficiente de drenaje (C_d)

Para el coeficiente de drenaje se debe considerar los meses de lluvia en nuestra región, se estima que los meses de noviembre, diciembre y enero son los meses de mayor precipitación, siendo estos 3 meses de lluvia

Para el cálculo del tiempo total que tarda el agua en evacuar (X) se aplicara la siguiente fórmula:

$$X = \frac{\text{Meses de Lluvia}}{12 \text{ meses del año}} \times 100\%$$

Donde:

X = % de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación

$$X = \frac{3}{12} \times 100 = 25\%$$

De la tabla 2.11 se determina el Coeficiente de drenaje (Cd)

Capacidad de drenaje	% de tiempos en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más del 25%
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

$$Cd = 1,00$$

4.3.8. Módulo de Elasticidad del Hormigón (Ec)

Para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón considera la resistencia a la compresión simple del Hormigón (F'c) a los 28 días en psi

$$F'c = 37,49 \text{ MPa} = 5332,315 \text{ Psi}$$

$$Ec = 57000 \times (F'c)^{0,5}$$

$$Ec = 57000 \times (5332,315)^{0,5}$$

$$Ec = 4162294,08 \text{ Psi}$$

4.3.9. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Se determina mediante la tabla 2.12:

Banquina	Concreto	Asfáltico	Hormigón vinculado a calzada	
Elementos (barras) de transferencia de cargas	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento				
Hormigón simple o Armado c/juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Hormigón armado Continuo	2,9 - 3,2	-----	2,3 - 2,9	-----

$$J = 3,2$$

Aplicación de la ecuación AASHTO 93 para diseño de pavimento rígido:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32Pt) * \log_{10} \left[\frac{S'_c * C_d * D^{0.75} - 1.132}{215.63J(D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right]$$

$$\text{Log (W18)} = \text{Log (2,01E+06)}$$

$$\text{Log (W18)} = 6,303$$

$$\text{Log } (\Delta PSI)/4,5 - 1,5 \rightarrow \text{Log (2)/4,5 - 1,5} = 0,13264667$$

$$4,22 - 0,32 Pt \rightarrow 4,22 - 0,32 \times (2) = 3,58$$

$$S'_c \times C_d = 550,793 \times 1$$

$$S'_c \times C_d = 550,793$$

Mediante el uso del microsoft Excel utilizando la herramienta solver, ya aplicado en los anteriores diseños de los tramos de estudio, con buscar objetivo e igualando la ecuación al Log (W18) teniendo como incógnita el espesor de losa en pulgadas, se tiene:

$$\text{Log (W18)} = 6,303 = 6,3031$$

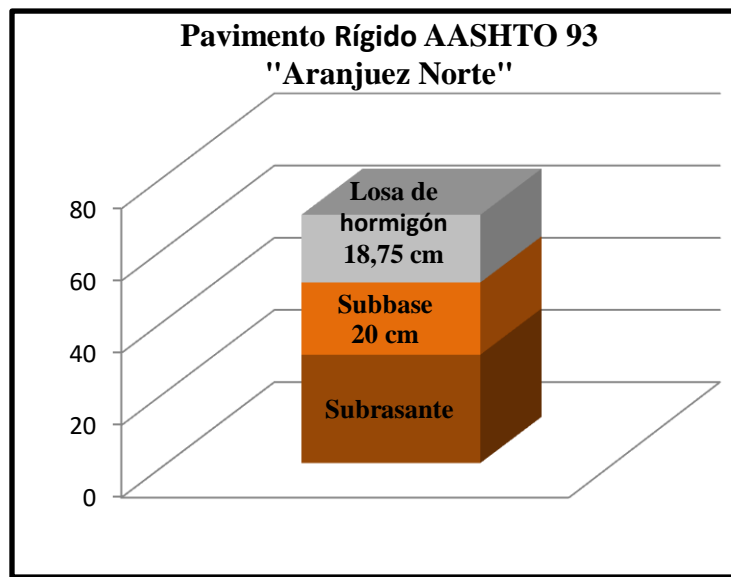
$$\rightarrow \text{Espesor de losa (D)} = 7,465 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dadopt)} = 7,50 \text{ plg}$$

$$\text{Espesor de losa adoptado (Dlosa)} = 18,75 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (Dsubbase)} = 20 \text{ cm}$$

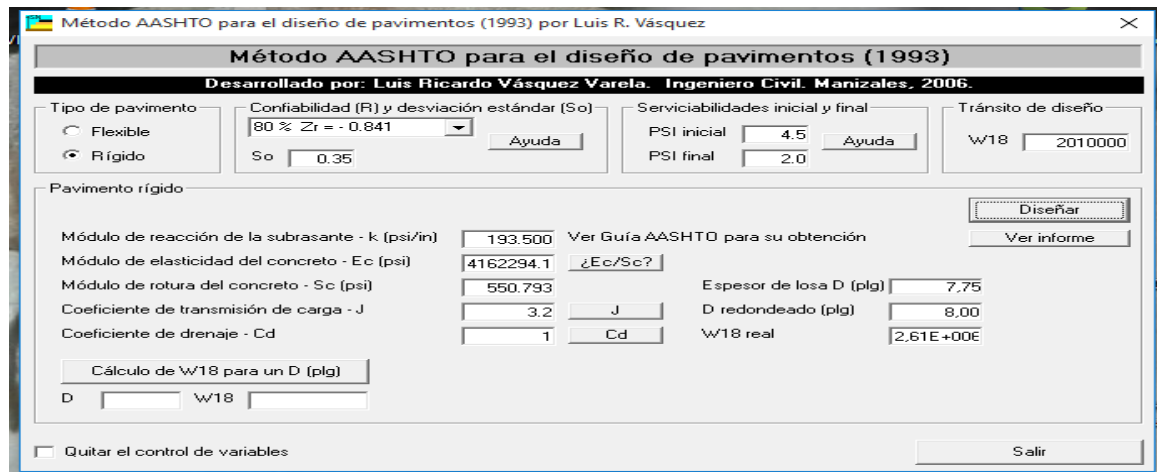
Figura 4.12: Pavimento rígido AASHTO 93 “Aranjuez Norte”



Fuente: Elaboración propia

4.3.10. Aplicación del software AASHTO 93 “Aranjuez Norte”

Figura 4.13: Software AASHTO 93 “Aranjuez norte”

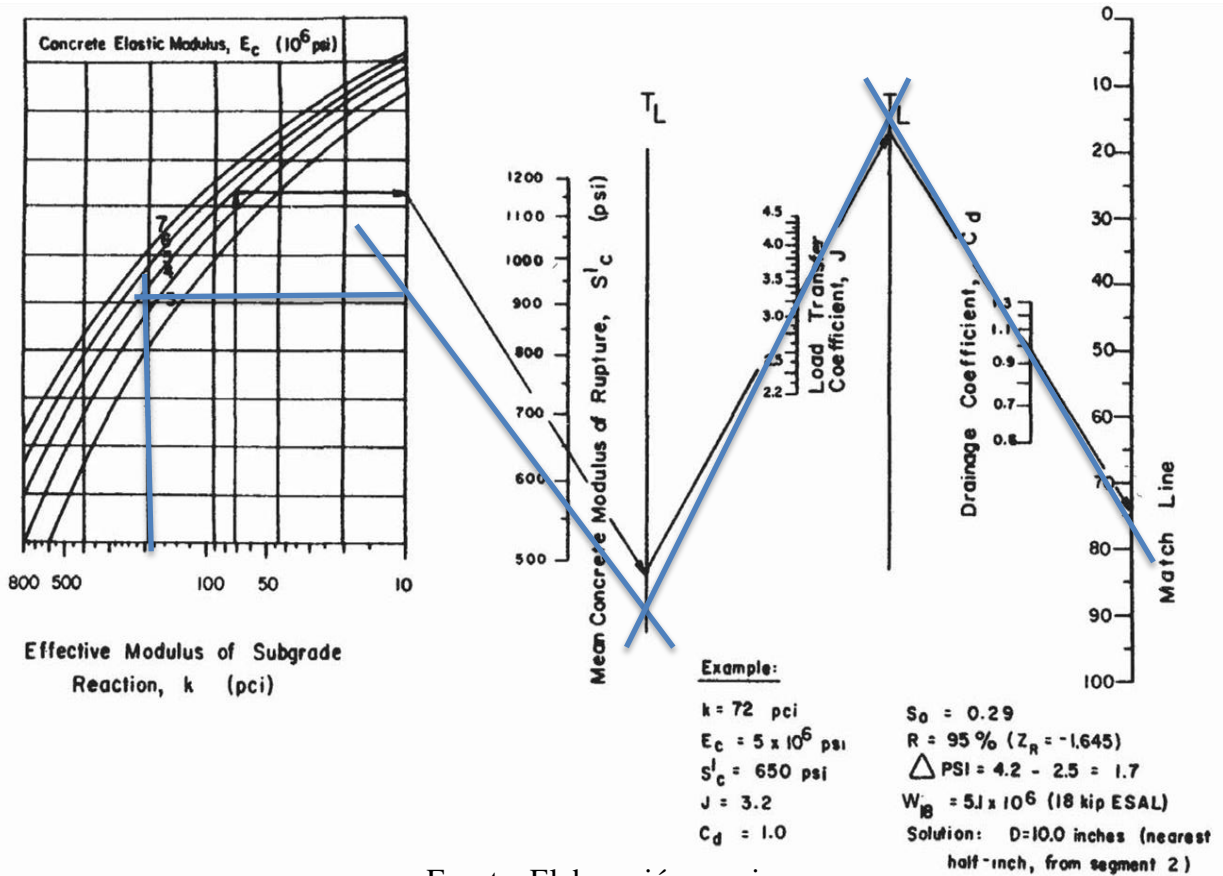


Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa adoptado (D_{re}) = 8 plg = 20 cm

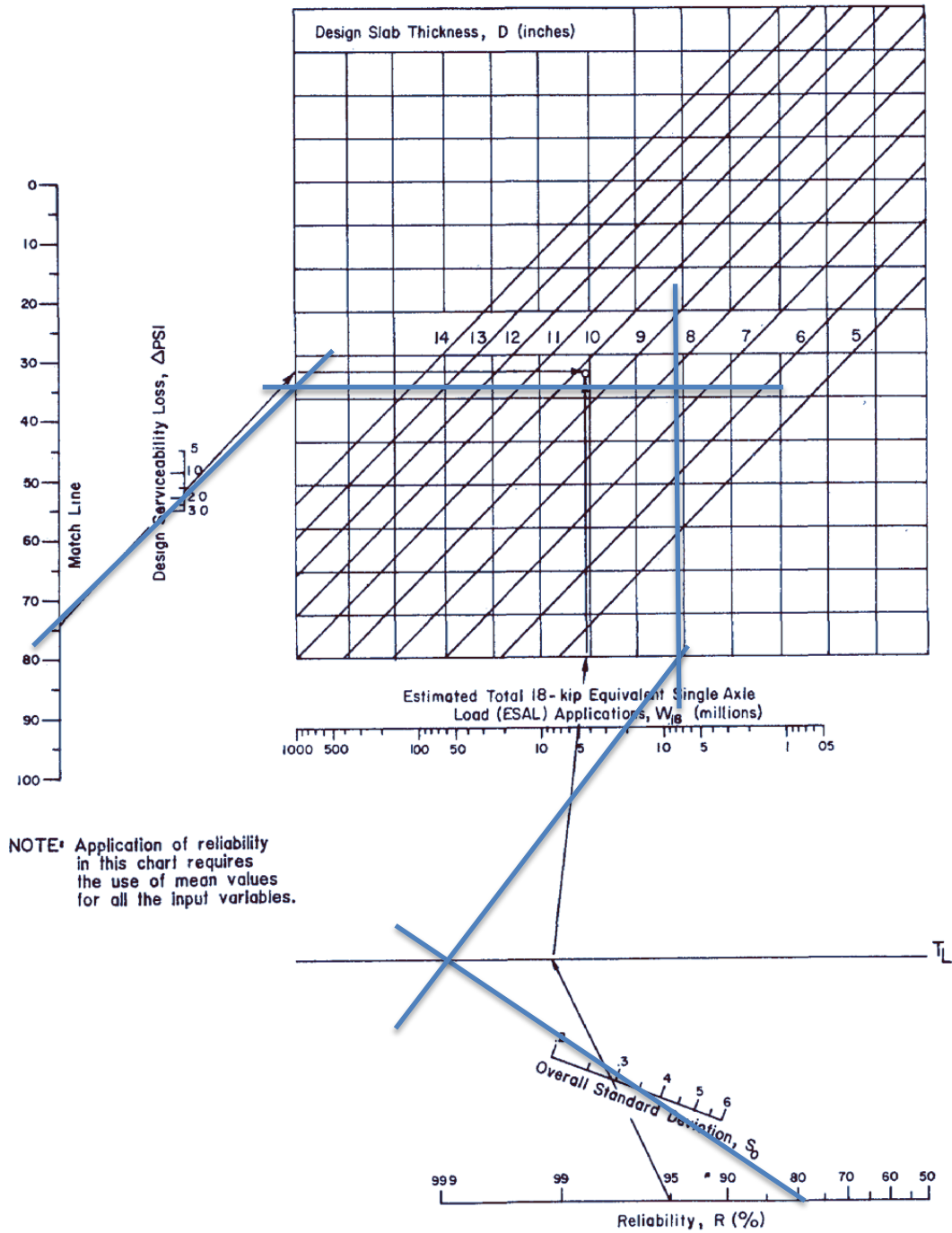
4.3.11. Aplicación de nomogramas de pavimento rígido “Aranjuez Norte”

Figura 4.14: Nomogramas de pavimento rígido primera parte “Aranjuez Norte”



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15: Nomogramas de pavimento rígido segunda parte “Aranjuez Norte”



Fuente: Elaboración propia

Espesor de losa (D) = 7,6 plg

Espesor de losa adoptado (Dre) = 8 plg = 20 cm

4.3.12. Diseño de espaciamiento entre juntas y pasadores “Aranjuez Norte”

AASHTO 93

4.3.12.1. Diseño de juntas longitudinales

Ancho de calzada = 6,400 m

Ancho del carril (a) = 3,200 m

4.3.12.2. Diseño de pasadores y juntas de hormigón

4.3.12.2.1. Relación de lados de la losa

$$\frac{a}{L} \cong 0,6$$

$$L = \frac{a}{0,6}$$

$$L = 5,5 \text{ m}$$

4.3.12.2.2. Esfuerzo de tensión del hormigón

$$y = 2,4 \text{ tn/m}^3$$

$$f = 2$$

$$L = \frac{S_2}{y \times f}$$

$$S_2 = L \times y \times f$$

$$S_2 = 26,40 \text{ tn/m}^2$$

De la tabla 4.2 se determina el requisito mínimo para pasadores de acero en juntas del pavimento rígido para “Aranjuez Norte”

Requisito mínimos para pasadores de acero en juntas de pavimento			
Espesor de pavimento (cm)	Diámetro del pasador (plg)	Longitud total (cm)	Separación (cm)
10	1/2"	25	30
11. - 13	5/8"	30	30
14 - 15	3/4"	35	30
16 - 18	7/8"	35	30
19 - 20	1"	35	30
21 - 23	1 1/8"	40	30
24 - 25	1 1/4"	45	30
26 - 28	1 3/8"	45	30
29 - 30	1 1/2"	50	30

Espesor de pavimento = 18,75 cm

Diámetro del pasador = 7/8" no comerciable

Diámetro del pasador adoptado = 3/4" (propuesto)

Separación entre pasadores

$$l_1 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times a \times h \times y \times f}$$

$$l_1 = \frac{\pi \times (2,0)^2 \times 2500}{4 \times 3,2 \times 0,1875 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_1 = 272,708 \text{ cm}$$

$$l_1 = 2,75 \text{ m}$$

Separación entre pasajuntas

$$l_2 = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times L \times h \times y \times f}$$

$$l_2 = \frac{\pi \times (2,0)^2 \times 2500}{4 \times 5,5 \times 0,1875 \times 2,4 \times 2}$$

$$l_2 = 158,666 \text{ cm}$$

$$l_2 = 1,50 \text{ m}$$

Longitud de pasadores y pasajuntas

$$U = 0,9 \times \sqrt{f_{cd}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_{cd} = 374,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$U = 17,426 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times fs}{4 \times \pi \times d \times y \times U}$$

$$b = \frac{\pi \times 2,0^2 \times 2500}{4 \times \pi \times 2,0 \times 2,4 \times 17,426}$$

$$b = 1,50 \text{ cm}$$

4.3.12.2.3 Planilla de fierro

Planilla de fierro para una losa de pavimento rígido del tramo de estudio

Tabla 4.7: Planilla de fierro por losa de hormigón “Aranjuez Norte”

	N°	Diámetro (mm)	Cantidad	Longitud	
				Largo Unitario	Long. Total
Transversales	1	20	2	1,5	3
Longitudinales	2	20	1	1,5	1,5
				Σ	4,5

Fuente: Elaboración propia

Peso específico del acero = 7850 kg/m³

N°	Área de la Sección (mm ²)	Área de la Sección (m ²)
1 – 2	314,159	3,142

$$P_T = \gamma_{\text{acero}} \times (\text{Área de la sección } (\varnothing)) / 100^2 \times L_{\text{Total}}$$

$$PT = 11,098 \text{ kg}$$

4.4. Diseño de espesor de pavimento rígido método PCA Barrio “El Trigal”

4.4.1. Módulo de reacción de la subrasante

$$\text{CBR} = 6,869\%$$

$$K_o = 52,9791 \times (\text{CBR})^{0,58262}$$

$$K_{\text{subrasante}} = 162,815 \text{ psi}$$

4.4.2. Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase

$$E_{\text{subbase}} = 8 \text{ plg} = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

Tabla 4.8: Valor de K de subbase “El Trigal”

Valor de K para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm.		150 mm.		225 mm.		300 mm.	
Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³
20	73	23	85	26	96	35	38	38	140
40	127	45	165	49	180	57	66	66	245
60	220	64	235	66	245	76	90	90	330
80	295	87	320	90	330	100	117	117	430

Fuente: Guía de diseño PCA

Interpolando	150	200	225
127 →	180	X1	66
162,815 →	X2	X3	X4
220 →	245	X5	90

$$X1 = 104 \text{ psi}$$

$$X2 = 205,032 \text{ psi}$$

$$X3 = 118,506 \text{ psi} \rightarrow k_{\text{combinado}}$$

$$X4 = 75,243 \text{ psi}$$

$$X5 = 141,667 \text{ psi}$$

$$K_{\text{comb}} = 118,506 \text{ psi}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 8 \text{ plg (espesor propuesta, material granular)}$$

$$\text{Espesor de Losa (E losa)} = 15,00 \text{ cm (propuesto)}$$

$$\text{Espesor de Losa (E losa)} = 6,00 \text{ plg}$$

$$\text{Juntas de pasadores} = \text{No}$$

$$\text{Bermas de hormigón} = \text{No}$$

$$\text{Periodo de diseño} = 20 \text{ años}$$

FSC = 1,1

Resistencia a la flexo tracción (Ec) = 4,252 MPa

$$S'c = 43,5 \times \frac{Ec}{10^6} + 488,5 \text{ (psi)}$$

Módulo de ruptura del hormigón (S'c) = 494,598 Psi

Tabla 4.9: Esfuerzo equivalente, sin berma de hormigón (ejes simples y ejes tándem)
“El Trigal”

Espesor de losa (pulg.)	Esfuerzo Equivalente - sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)						
	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4,5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5,5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6,5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7,5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8,5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9,5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10,5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11,5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12,5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13,5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Fuente: Diseño de pavimentos rígidos PCA 84

E losa = 6 plg

Kcombinado = 118,506 psi

Elosa (plg)	100		118,506		150	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
6	411	348	X1	X2	382	316

Interpolando:

X1 = 400, 266 Eje Simple

X2 = 370,459 Eje Tándem

Tabla 4.10: Factor de erosión, para pavimentos sin pasadores y sin apoyo lateral (eje simple, y ejes tándem) “El Trigal”

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Trabazón de Agregado, sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,94/4,03	3,91/3,95	3,88/3,89	3,86/3,86	3,82/3,83	3,77/3,80
4,5	3,79/3,91	3,76/3,82	3,73/3,75	3,71/3,72	3,68/3,68	3,64/3,65
5	3,66/3,81	3,63/3,72	3,60/3,64	3,58/3,60	3,55/3,55	3,52/3,52
5,5	3,54/3,72	3,51/3,62	3,48/3,53	3,46/3,49	3,43/3,44	3,41/3,40
6	3,44/3,64	3,40/3,53	3,37/3,44	3,35/3,40	3,32/3,34	3,30/3,30
6,5	3,34/3,56	3,30/3,46	3,26/3,36	3,25/3,31	3,22/3,25	3,20/3,21
7	3,26/3,49	3,21/3,39	3,17/3,29	3,15/3,24	3,13/3,17	3,11/3,13
7,5	3,18/3,43	3,13/3,32	3,09/3,22	3,07/3,17	3,04/3,10	3,02/3,06
8	3,11/3,37	3,05/3,26	3,01/3,16	2,99/3,10	2,96/3,03	2,94/2,99
8,5	3,04/3,32	2,98/3,21	2,93/3,10	2,91/3,04	2,88/2,97	2,87/2,93
9	2,98/3,27	2,91/3,16	2,86/3,05	2,84/2,99	2,81/2,92	2,79/2,87
9,5	2,92/3,22	2,85/3,11	2,80/3,00	2,77/2,94	2,75/2,86	2,73/2,81
10	2,86/3,18	2,79/3,06	2,74/2,95	2,71/2,89	2,68/2,81	2,66/2,76
10,5	2,81/3,14	2,74/3,02	2,68/2,91	2,65/2,84	2,62/2,76	2,60/2,72
11	2,77/3,10	2,69/2,98	2,63/2,86	2,60/2,80	2,57/2,72	2,54/2,67
11,5	2,72/3,06	2,64/2,94	2,58/2,82	2,55/2,76	2,51/2,68	2,49/2,63
12	2,68/3,03	2,60/2,90	2,53/2,78	2,50/2,72	2,46/2,64	2,44/2,59
12,5	2,64/2,99	2,55/2,87	2,48/2,75	2,45/2,68	2,41/2,60	2,39/2,55
13	2,60/2,96	2,51/2,83	2,44/2,71	2,40/2,65	2,36/2,56	2,34/2,51
13,5	2,56/2,93	2,47/2,80	2,40/2,68	2,36/2,61	2,32/2,53	2,30/2,48
14	2,53/2,90	2,44/2,77	2,36/2,65	2,32/2,58	2,28/2,50	2,25/2,44

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Elosa (plg)	100		118,506		200	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
6	3,40	3,53	X6	X7	3,37	3,44

Interpolando:

X6 = 3,394 Eje Simple

X7 = 3,836 Eje Tándem

4.4.3. Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión

Esfuerzos para ejes sencillos

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X1 = 400,267

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{400,267}{494,598} = 0,809$$

Factor de erosión = X6 = 3,394

Esfuerzos para ejes tándem

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X2 = 370,459

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{370,459}{494,598} = 0,749$$

Factor de erosión = X8 = 3,836

Tabla 4.11: Análisis por fatiga y erosión “El Trigal”

			Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
1	2	3	4	5	6	7
Carga por eje (KN)	Carga por eje x FSC (KN)	Repeticiones esperadas	Rep. Permitidas	% Fatiga	Rep. Permitidas	% de Daño

Esf. Equivalente = 400,267

Fact. Erosión = 3,394

Factor de relación de esf.= 0,809

Ejes Sencillos						
133	146,3	288,00148	Indeterminado	0	14000	0,021
125	137,5	670,34828	Indeterminado	0	18000	0,037
115	126,5	1375,4553	Indeterminado	0	30000	0,046
107	117,7	2939,6013	Indeterminado	0	45000	0,065
97,8	107,58	4881,1286	Indeterminado	0	74000	0,066
88,8	97,68	10760,331	Indeterminado	0	130000	0,083
80	88	1422,693	Indeterminado	0	220000	0,064
71,1	78,21	19281,203	335	57,5558	420000	0,046
62,2	68,42	26784,138	3480	7,69659	900000	0,03
53	58,3	83843,19	25590	3,2764	2200000	0,038

Esf. Equivalente = 370,459

Fact. Erosión = 3,836

Factor de relación de esf.= 0,749

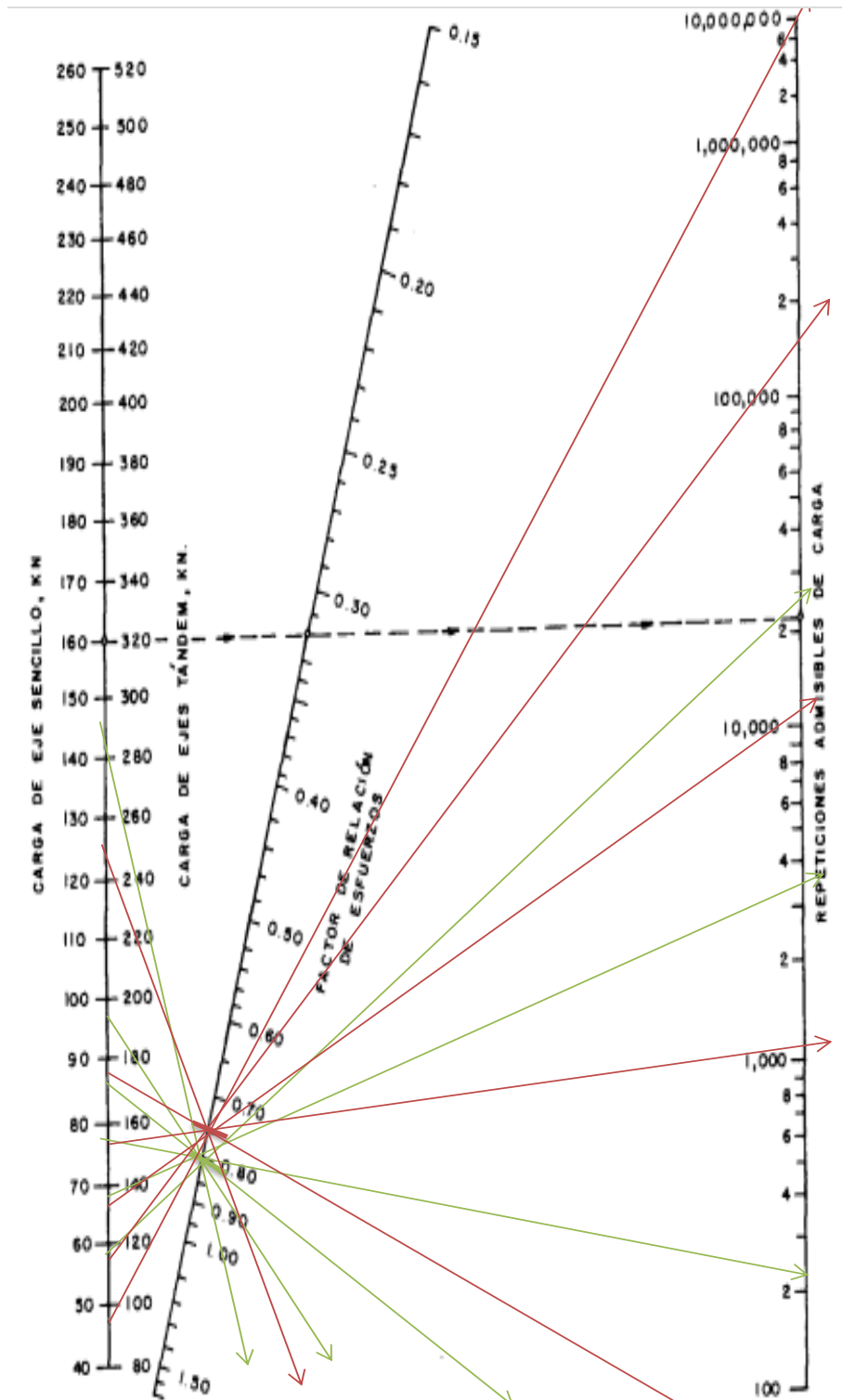
Ejes Tándem						
231	254,1	973,2463846	Indeterminado	0	2000	0,487
213	234,3	1956,423855	Indeterminado	0	3300	0,593
195	214,5	5948,720249	Indeterminado	0	5200	1,144
178	195,8	17016,9151	Indeterminado	0	8300	2,05
160	176	40429,4493	Indeterminado	0	16000	2,527
142	156,2	42475,25293	1710	19,3172632	34000	1,249
125	137,5	75590,45772	14590	3,98306945	60000	1,26
107	117,7	44948,09323	150000	0,22894909	160000	0,281
88,8	97,68	56016,28809	10000000	0,0042799	430000	0,13
71,1	78,21	61915,3529	Indeterminado	0	Indeterminado	0

Σ **98,854**

Σ **10,16**

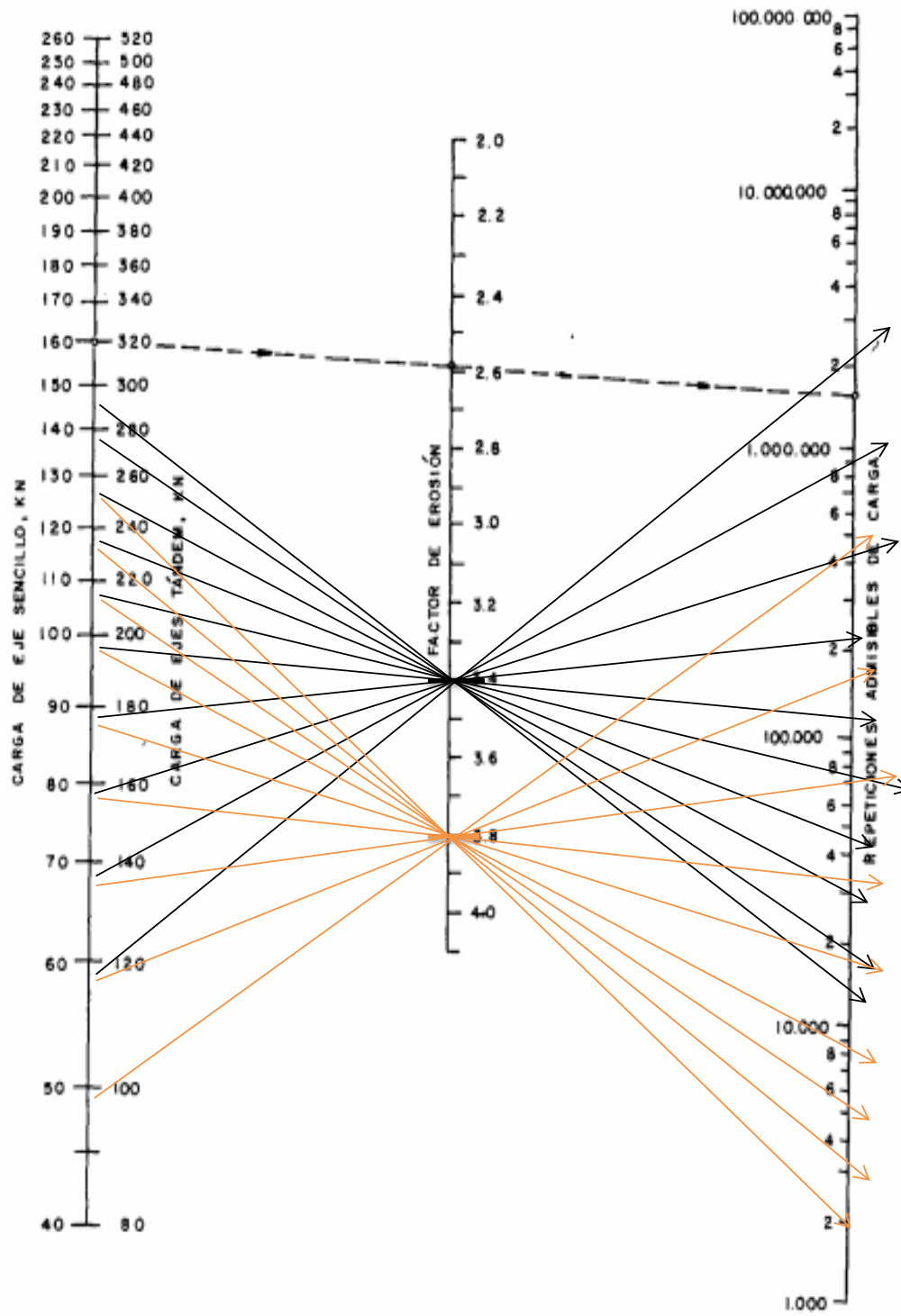
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por fatiga “El Trigoal”



Fuente: Ábaco por fatiga PCA

Figura 4.17: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por erosión “El Trigal”



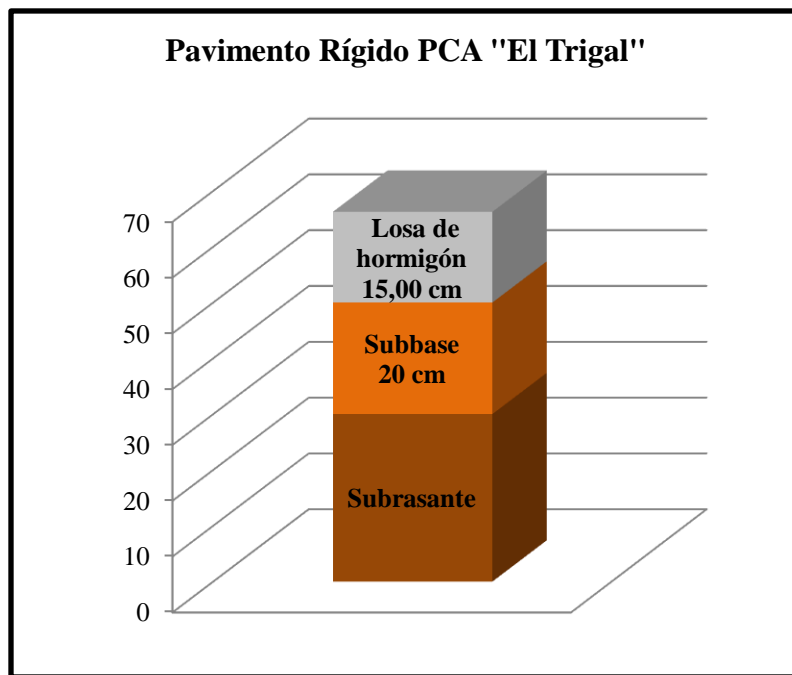
Fuente: Ábaco por erosión PCA

En el siguiente cuadro se puede observar que los análisis de fatiga y de erosión cumplen, siendo estos menores a 100%

% <	100%
98,854	100
10,160	100

E losa=	15	cm
E losa=	6	plg
E subbase=	20	cm
E subbase=	8	plg

Figura 4.18: Pavimento rígido PCA "El Trigal"



Fuente: Elaboración propia

4.5. Diseño de Espeso de pavimento rígido PCA Barrio Tarijeños en Progreso

4.5.1. Módulo de reacción de la subrasante

$$\text{CBR} = 6,806\%$$

$$K_o = 52,9791 \times (\text{CBR})^{0,58262}$$

$$K_{\text{subrasante}} = 161,940 \text{ psi}$$

4.5.2. Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase

$$E_{\text{subbase}} = 8 \text{ plg} = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

Tabla 4.12: Valor de K de subbase “Tarijeños en Progreso”

Valor de K para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm.		150 mm.		225 mm.		300 mm.	
Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³
20	73	23	85	26	96	35	38	38	140
40	127	45	165	49	180	57	66	66	245
60	220	64	235	66	245	76	90	90	330
80	295	87	320	90	330	100	117	117	430

Fuente: Guía de diseño PCA

Interpolando	150	200	225
127 →	180	X1	66
161,94 →	X2	X3	X4
220 →	245	X5	90

$$X1 = 104 \text{ psi}$$

$$X2 = 204,423 \text{ psi}$$

$$X3 = 118,153 \text{ psi} \rightarrow k_{\text{combinado}}$$

$$X4 = 75,0177 \text{ psi}$$

$$X5 = 141,667 \text{ psi}$$

$$K_{\text{comb}} = 118,153 \text{ psi}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 8 \text{ plg (espesor propuesta, material granular)}$$

$$\text{Espesor de Losa (E losa)} = 12,50 \text{ cm (propuesto)}$$

$$\text{Espesor de Losa (E losa)} = 5,00 \text{ plg}$$

$$\text{Juntas de pasadores} = \text{No}$$

$$\text{Bermas de hormigón} = \text{No}$$

Periodo de diseño = 20 años

FSC = 1

Resistencia a la flexo tracción (E_c) = 4,252 MPa

$$S'c = 43,5 \times \frac{E_c}{10^6} + 488,5 \text{ (psi)}$$

Módulo de ruptura del hormigón ($S'c$) = 494,598 Psi

Tabla 4.13: Esfuerzo equivalente, sin berma de hormigón (eje simple, y ejes tándem)

“Tarijeños en Progreso”

Espesor de losa (pulg.)	Esfuerzo Equivalente - sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)						
	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4,5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5,5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6,5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7,5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8,5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9,5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10,5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11,5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12,5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13,5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

E losa = 5 plg

Kcombinado = 118,153

Elosa (plg)	100		118,153		150	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
5	531	436	X1	X2	493	399

Interpolando

X1 = 517,204 Eje Simple

X2= 463,912 Eje Tándem

Tabla 4.14: Factor de erosión, para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo Lateral (eje simple, y ejes tándem) “Tarijeños en Progreso”

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Trabazón de Agregado, sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,94/4,03	3,91/3,95	3,88/3,89	3,86/3,86	3,82/3,83	3,77/3,80
4,5	3,79/3,91	3,76/3,82	3,73/3,75	3,71/3,72	3,68/3,68	3,64/3,65
5	3,66/3,81	3,63/3,72	3,60/3,64	3,58/3,60	3,55/3,55	3,52/3,52
5,5	3,54/3,72	3,51/3,62	3,48/3,53	3,46/3,49	3,43/3,44	3,41/3,40
6	3,44/3,64	3,40/3,53	3,37/3,44	3,35/3,40	3,32/3,34	3,30/3,30
6,5	3,34/3,56	3,30/3,46	3,26/3,36	3,25/3,31	3,22/3,25	3,20/3,21
7	3,26/3,49	3,21/3,39	3,17/3,29	3,15/3,24	3,13/3,17	3,11/3,13
7,5	3,18/3,43	3,13/3,32	3,09/3,22	3,07/3,17	3,04/3,10	3,02/3,06
8	3,11/3,37	3,05/3,26	3,01/3,16	2,99/3,10	2,96/3,03	2,94/2,99
8,5	3,04/3,32	2,98/3,21	2,93/3,10	2,91/3,04	2,88/2,97	2,87/2,93
9	2,98/3,27	2,91/3,16	2,86/3,05	2,84/2,99	2,81/2,92	2,79/2,87
9,5	2,92/3,22	2,85/3,11	2,80/3,00	2,77/2,94	2,75/2,86	2,73/2,81
10	2,86/3,18	2,79/3,06	2,74/2,95	2,71/2,89	2,68/2,81	2,66/2,76
10,5	2,81/3,14	2,74/3,02	2,68/2,91	2,65/2,84	2,62/2,76	2,60/2,72
11	2,77/3,10	2,69/2,98	2,63/2,86	2,60/2,80	2,57/2,72	2,54/2,67
11,5	2,72/3,06	2,64/2,94	2,58/2,82	2,55/2,76	2,51/2,68	2,49/2,63
12	2,68/3,03	2,60/2,90	2,53/2,78	2,50/2,72	2,46/2,64	2,44/2,59
12,5	2,64/2,99	2,55/2,87	2,48/2,75	2,45/2,68	2,41/2,60	2,39/2,55
13	2,60/2,96	2,51/2,83	2,44/2,71	2,40/2,65	2,36/2,56	2,34/2,51
13,5	2,56/2,93	2,47/2,80	2,40/2,68	2,36/2,61	2,32/2,53	2,30/2,48
14	2,53/2,90	2,44/2,77	2,36/2,65	2,32/2,58	2,28/2,50	2,25/2,44

Fuente: Guía de diseño de pavimento rígidos PCA 84

Elosa (plg)	100		118,153		200	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
5	3,63	3,72	X1	X2	3,6	3,64

Interpolando

X6 = 3,625 Eje Simple

X7= 4,001 Eje Tándem

4.5.3. Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión

Esfuerzos para ejes sencillos

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X1 = 517,204

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{517,204}{494,598} = 1,046$$

Factor de erosión = X6 = 3,625

Esfuerzos para ejes tándem

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X2 = 463,912

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{463,912}{494,598} = 0,938$$

Factor de erosión = X7 = 4,001

Tabla 4.15: Análisis por fatiga y erosión “Tarijeños en Progreso”

			Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
1	2	3	4	5	6	7
Carga por eje (KN)	Carga por eje x FSC (KN)	Repeticiones esperadas	Rep. Permitidas	% Fatiga	Rep. Permitidas	% de Daño

Esf. Equivalente = **517,204**

Fact. Erosión = **3,625**

Factor de relación de esf.= **1,046**

Ejes Sencillos						
133	133	148,039	Indeterminado	0	6100	0,024
125	125	344,574	Indeterminado	0	8900	0,038
115	115	707,014	Indeterminado	0	14000	0,0505
107	107	1511,02	Indeterminado	0	22000	0,069
97,8	97,8	2509,01	Indeterminado	0	34000	0,073
88,8	88,8	5531,04	Indeterminado	0	61000	0,091
80	80	7207,97	Indeterminado	0	120000	0,06
71,1	71,1	9910,96	Indeterminado	0	210000	0,047
62,2	62,2	13767,6	Indeterminado	0	500000	0,028
53	53	43097,2	3800	11,341	1400000	0,031

Esf. Equivalente = **463,912**

Fact. Erosión = **4,001**

Factor de relación de esf.= **0,938**

Ejes Tándem						
231	231	500,27	Indeterminado	0	1000	0,5
213	213	1005,64	Indeterminado	0	1500	0,67
195	195	3057,77	Indeterminado	0	2300	1,329
178	178	8747,06	Indeterminado	0	4300	2,034
160	160	20781,6	Indeterminado	0	8000	2,597
142	142	21833,2	Indeterminado	0	16000	1,365
125	125	38855,1	800	48,569	18900	2,056
107	107	23104,3	9000	2,567	80000	0,289
88,8	88,8	28793,6	195000	0,148	150000	0,192
71,1	71,1	31825,8	Indeterminado	0	Indeterminado	0

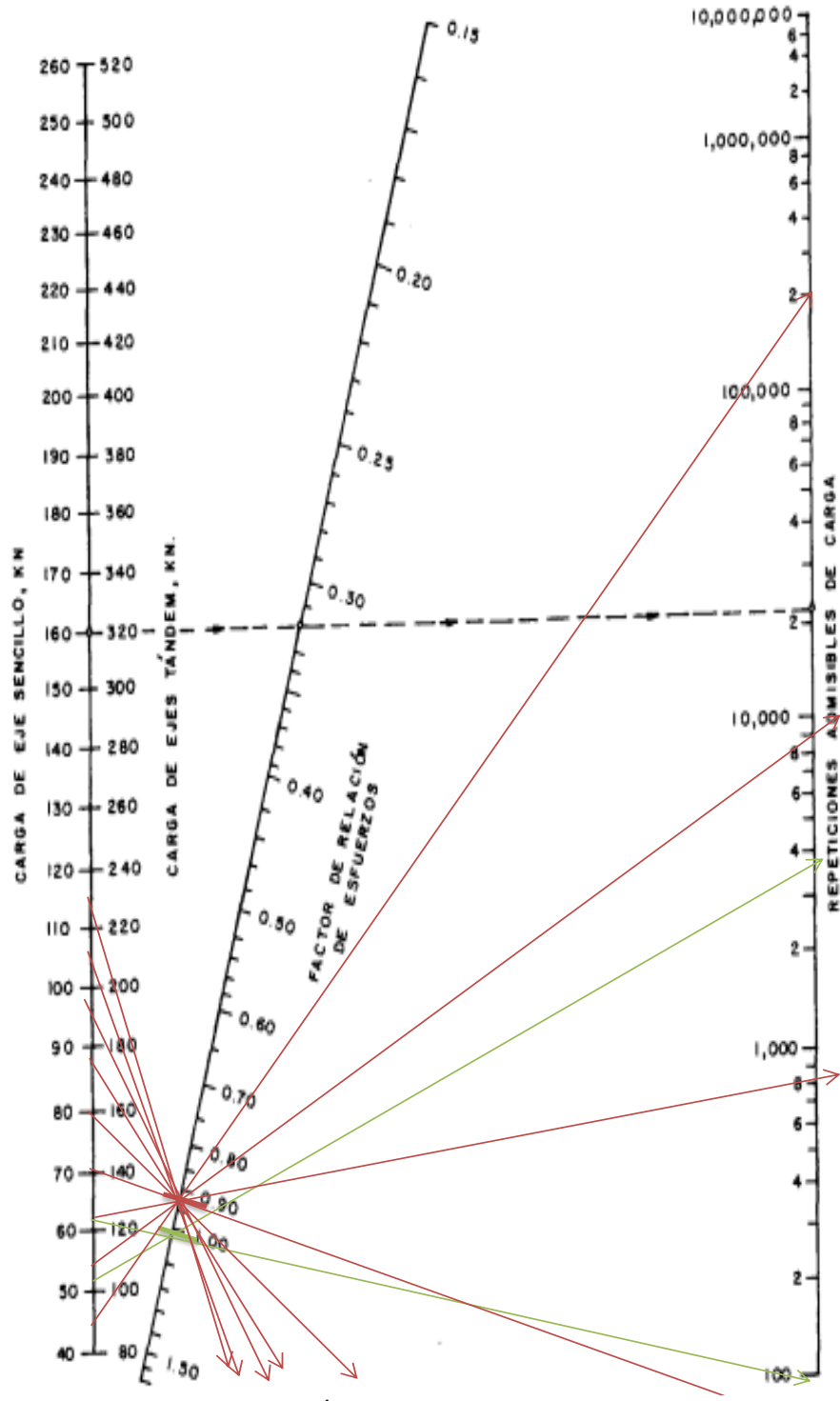
Σ 62,625

Σ

11,483

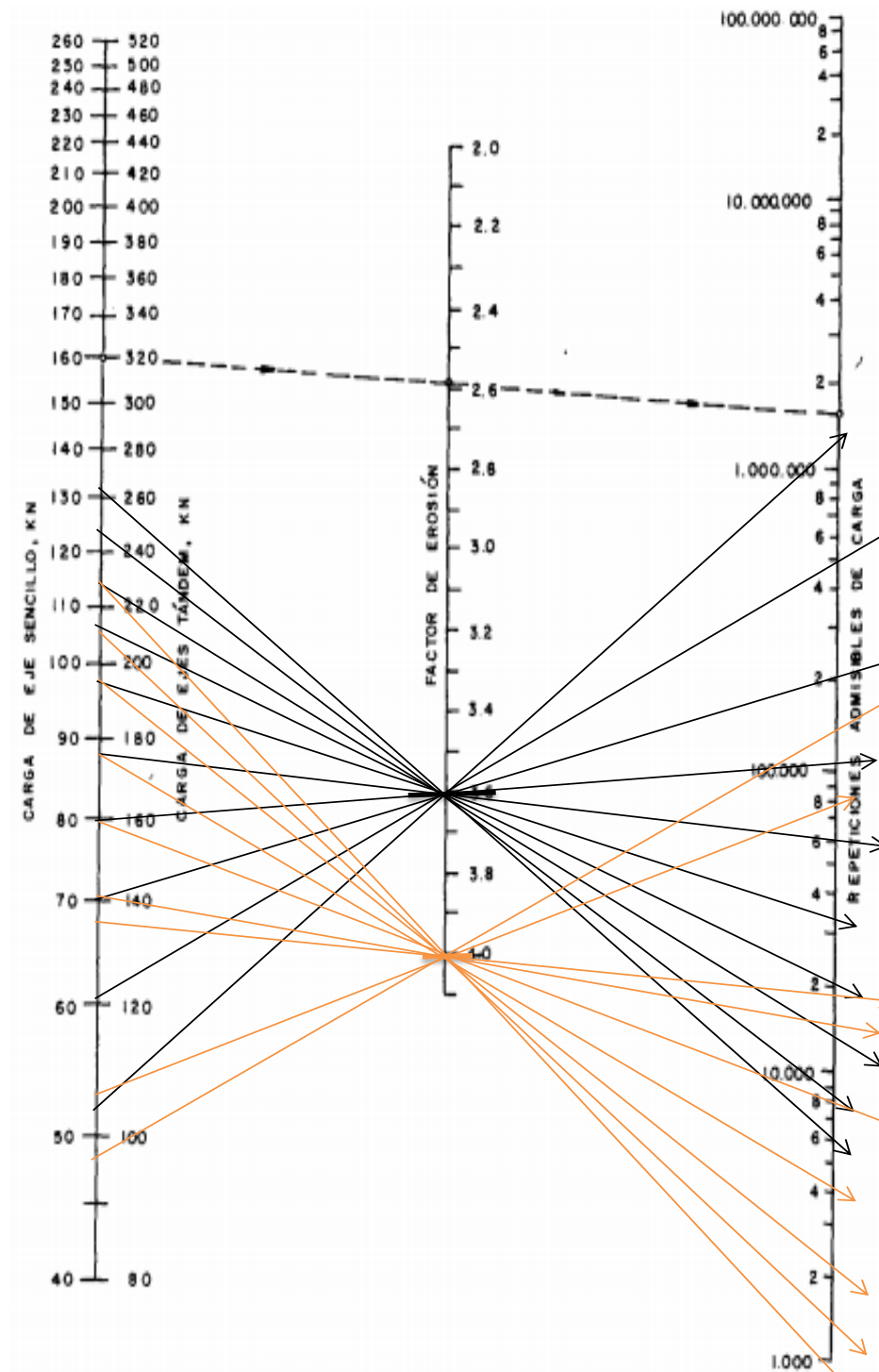
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por fatiga “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Ábaco por fatiga PCA

Figura 4.20: Determinación de cargas permisibles por ábaco PCA por erosión “Tarijeños en Progreso”



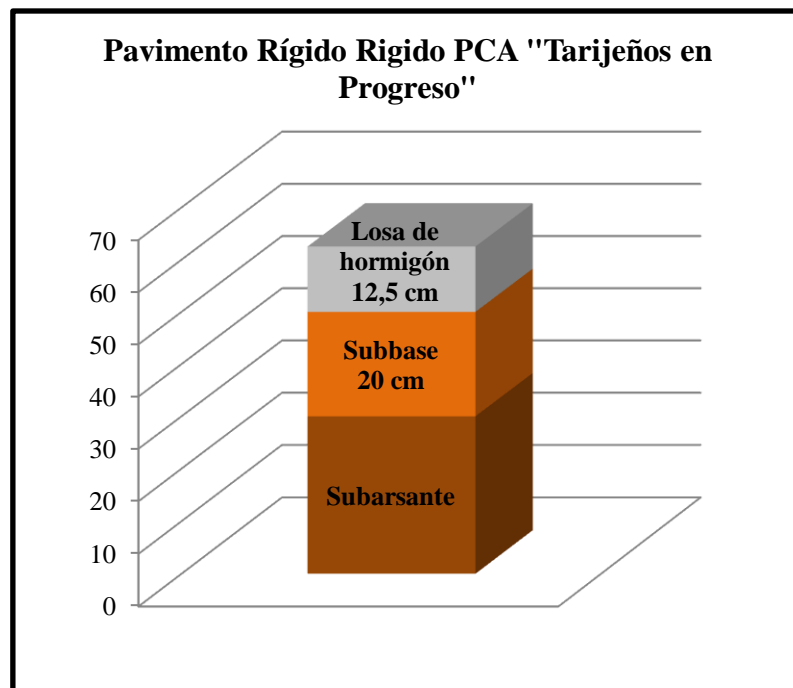
Fuente: Ábaco por fatiga PCA

En el siguiente cuadro se muestra que el espesor propuesto por el método PCA para tarijeños en progreso cumple los análisis de fatiga y erosión, siendo estos menores al 100%

% <	100%
62,625	100
11,483	100

E losa=	12,5	cm
E losa=	5	plg
E subbase=	20	cm
E subbase=	8	plg

Figura 4.21: Pavimento rígido método PCA "Tarijeños en Progreso"



Fuente: Elaboración propia

4.6. Diseño de espesor de pavimento rígido PCA Barrio “Aranjuez Norte”

4.6.1. Módulo de reacción de la subrasante

$$\text{CBR} = 9,415\%$$

$$K_o = 52,9791 \times (\text{CBR})^{0,58262}$$

$$K_{\text{subrasante}} = 195,646 \text{ psi}$$

4.6.2 Cálculo del módulo de reacción combinado de subrasante y subbase

$$E_{\text{subbase}} = 8 \text{ plg} = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

Tabla 4.16: Valor de K de subbase “Aranjuez Norte”

Valor de K para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm.		150 mm.		225 mm.		300 mm.	
Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³	Mpa./m	lb./plg ³
20	73	23	85	26	96	35	38	38	140
40	127	45	165	49	180	57	66	66	245
60	220	64	235	66	245	76	90	90	330
80	295	87	320	90	330	100	117	117	430

Fuente: Guía de diseño PCA

Interpolando	150	200	225
127 →	180	X1	66
195,646361 →	X2	X3	X4
220 →	245	X5	90

$$X1 = 104 \text{ psi}$$

$$X2 = 227,98 \text{ psi}$$

$$X3 = 131,803 \text{ psi}$$

$$X4 = 83,715 \text{ psi}$$

$$X5 = 141,667 \text{ psi}$$

$$K_{\text{combinado}} = 131,803 \text{ psi}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de subbase (E subbase)} = 8 \text{ plg (espesor propuesto, material granular)}$$

$$\text{Espesor de losa (E losa)} = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de los (E losa)} = 7 \text{ plg}$$

$$\text{Juntas de pasadores} = \text{No}$$

$$\text{Bermas de hormigón} = \text{No}$$

$$\text{Periodo de diseño} = 20 \text{ años}$$

FSC = 1,2

Resistencia a la flexo tracción (Ec) = 4,252 Mpa

$$S'c = 43,5 \times \frac{Ec}{10^6} + 488,5 \text{ (psi)}$$

Módulo de ruptura del hormigón = 494,598 Psi

Tabla 4.17: Esfuerzos equivalentes – sin berma de hormigón (eje simple y eje tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Esfuerzo Equivalente - sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)						
	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4,5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5,5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6,5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7,5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8,5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9,5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10,5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11,5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12,5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13,5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Elosa (plg)	100		131,803		150	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
7	331	290	X1	X2	307	262

Interpolando

X1 = 315,735 Eje Simple

X2 = 278,021 Eje Tándem

Tabla 4.18: Factor de erosión, para pavimentos sin pasadores y sin apoyo lateral
(Eje simple y eje tándem)

Espesor de losa (pulg.)	Factor de Erosión - Juntas con Trabazón de Agregado, sin Berma de Concreto (Eje Simple/Eje Tándem)					
	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3,94/4,03	3,91/3,95	3,88/3,89	3,86/3,86	3,82/3,83	3,77/3,80
4,5	3,79/3,91	3,76/3,82	3,73/3,75	3,71/3,72	3,68/3,68	3,64/3,65
5	3,66/3,81	3,63/3,72	3,60/3,64	3,58/3,60	3,55/3,55	3,52/3,52
5,5	3,54/3,72	3,51/3,62	3,48/3,53	3,46/3,49	3,43/3,44	3,41/3,40
6	3,44/3,64	3,40/3,53	3,37/3,44	3,35/3,40	3,32/3,34	3,30/3,30
6,5	3,34/3,56	3,30/3,46	3,26/3,36	3,25/3,31	3,22/3,25	3,20/3,21
7	3,26/3,49	3,21/3,39	3,17/3,29	3,15/3,24	3,13/3,17	3,11/3,13
7,5	3,18/3,43	3,13/3,32	3,09/3,22	3,07/3,17	3,04/3,10	3,02/3,06
8	3,11/3,37	3,05/3,26	3,01/3,16	2,99/3,10	2,96/3,03	2,94/2,99
8,5	3,04/3,32	2,98/3,21	2,93/3,10	2,91/3,04	2,88/2,97	2,87/2,93
9	2,98/3,27	2,91/3,16	2,86/3,05	2,84/2,99	2,81/2,92	2,79/2,87
9,5	2,92/3,22	2,85/3,11	2,80/3,00	2,77/2,94	2,75/2,86	2,73/2,81
10	2,86/3,18	2,79/3,06	2,74/2,95	2,71/2,89	2,68/2,81	2,66/2,76
10,5	2,81/3,14	2,74/3,02	2,68/2,91	2,65/2,84	2,62/2,76	2,60/2,72
11	2,77/3,10	2,69/2,98	2,63/2,86	2,60/2,80	2,57/2,72	2,54/2,67
11,5	2,72/3,06	2,64/2,94	2,58/2,82	2,55/2,76	2,51/2,68	2,49/2,63
12	2,68/3,03	2,60/2,90	2,53/2,78	2,50/2,72	2,46/2,64	2,44/2,59
12,5	2,64/2,99	2,55/2,87	2,48/2,75	2,45/2,68	2,41/2,60	2,39/2,55
13	2,60/2,96	2,51/2,83	2,44/2,71	2,40/2,65	2,36/2,56	2,34/2,51
13,5	2,56/2,93	2,47/2,80	2,40/2,68	2,36/2,61	2,32/2,53	2,30/2,48
14	2,53/2,90	2,44/2,77	2,36/2,65	2,32/2,58	2,28/2,50	2,25/2,44

Fuente: Guía de diseño de pavimentos rígidos PCA 84

Elosa (plg)	100		131,803		200	
	ES	ET	ES	ET	ES	ET
7	3,21	3,39	X1	X2	3,17	3,29

Interpolando

X6 = 3,197 Eje Simple

X7 = 3,504 Eje Tándem

4.6.3. Cálculo de esfuerzos para fatiga y factores de erosión

Esfuerzos para ejes sencillos

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X1 = 315,735

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{315,735}{494,598} = 0,638$$

Factor de erosión = X6 = 3,197

Esfuerzos para ejes tándem

Esfuerzo equivalente (Esf. equivalente) = X2 = 278,021

$$\text{Factor de relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esf equivalente}}{\text{Modulo de ruptura del Hormigon (S'c)}} = \frac{278,021}{494,598} = 0,562$$

Factor de erosión = X7 = 3,504

Tabla 4.19: Análisis por fatiga y erosión “Aranjuez Norte”

			Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
1	2	3	4	5	6	7
Carga por eje (KN)	Carga por eje x FSC (KN)	Repeticiones esperadas	Rep. Permitidas	%Fatiga	Rep. Permitidas	% de Daño

Esf. Equivalente = 315,735

Fact. Erosión = 3,197

Factor de relación de esf.= 0,638

Ejes Sencillos						
133	159,6	329,253	Indeterminado	0	29000	0,0113535
125	150	766,365	Indeterminado	0	44000	0,0174174
115	138	1572,47	Indeterminado	0	70000	0,0224638
107	128,4	3360,65	Indeterminado	0	120000	0,0280054
97,8	117,36	5580,27	Indeterminado	0	170000	0,0328251
88,8	106,56	12301,6	Indeterminado	0	300000	0,0410052
80	96	16031,2	330	48,579	490000	0,0327168
71,1	85,32	22042,9	3900	5,652	1000000	0,0220429
62,2	74,64	30620,5	36000	0,8506	2400000	0,0127585
53	63,6	95852,3	760000	0,1261	7000000	0,0136932

Esf. Equivalente = 278,021

Fact. Erosión = 3,504

Factor de relación de esf.= 0,562

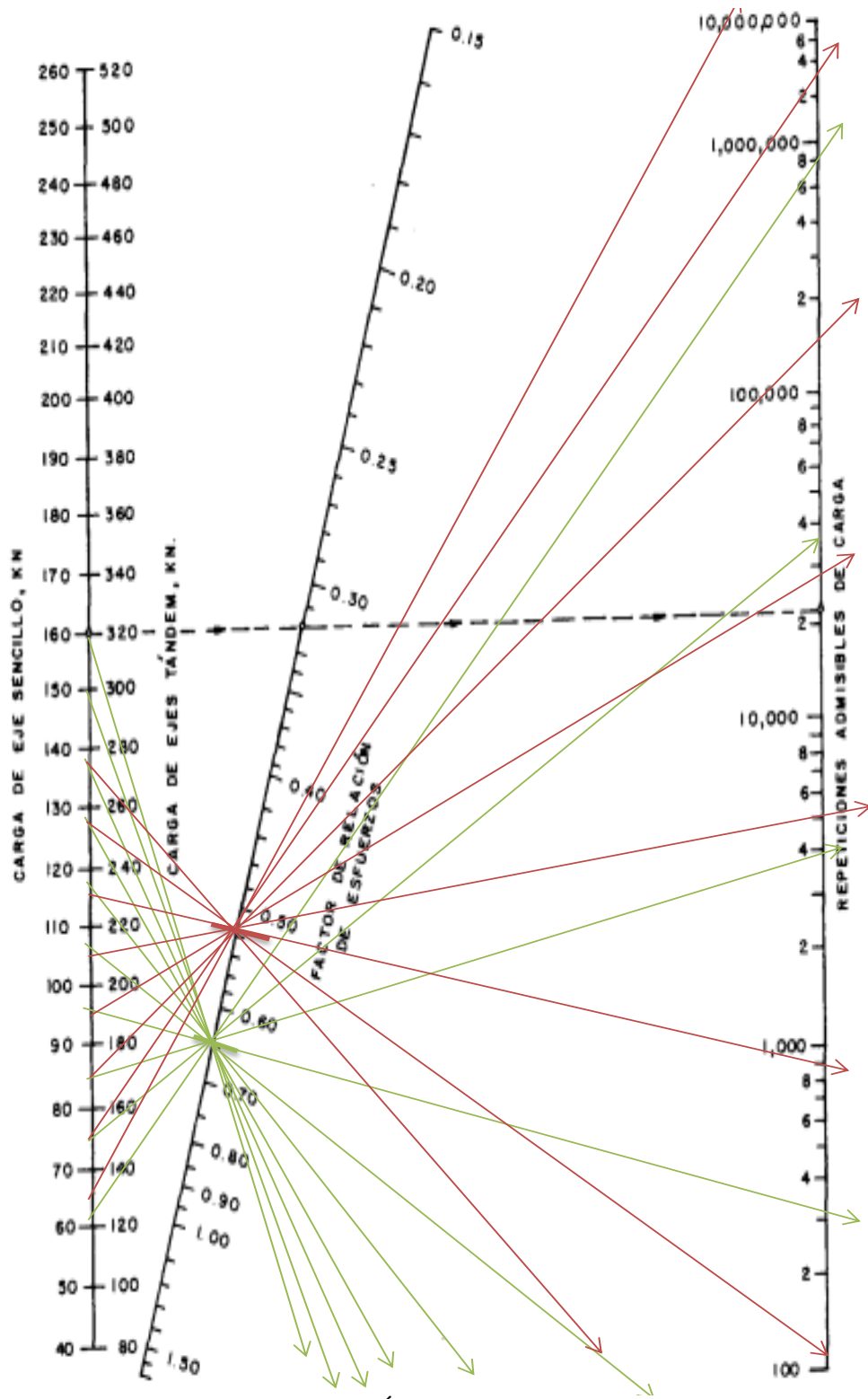
Ejes Tándem						
231	277,2	1112,65	Indeterminado	0	10000	0,1112648
213	255,6	2236,65	130	17,205	17000	0,1315676
195	234	6800,78	900	7,5564	27000	0,2518806
178	213,6	19454,3	5000	3,8909	45000	0,4323179
160	192	46220,3	28000	1,6507	71000	0,6509901
142	170,4	48559,1	150000	0,3237	150000	0,3237275
125	150	86417,5	3000000	0,0288	640000	0,1350274
107	128,4	51386,2	Indeterminado	0	1400000	0,0367044
88,8	106,56	64039,7	Indeterminado	0	2100000	0,0304951
71,1	85,32	70783,7	Indeterminado	0	6900000	0,0102585

Σ 85,864

Σ 2,32

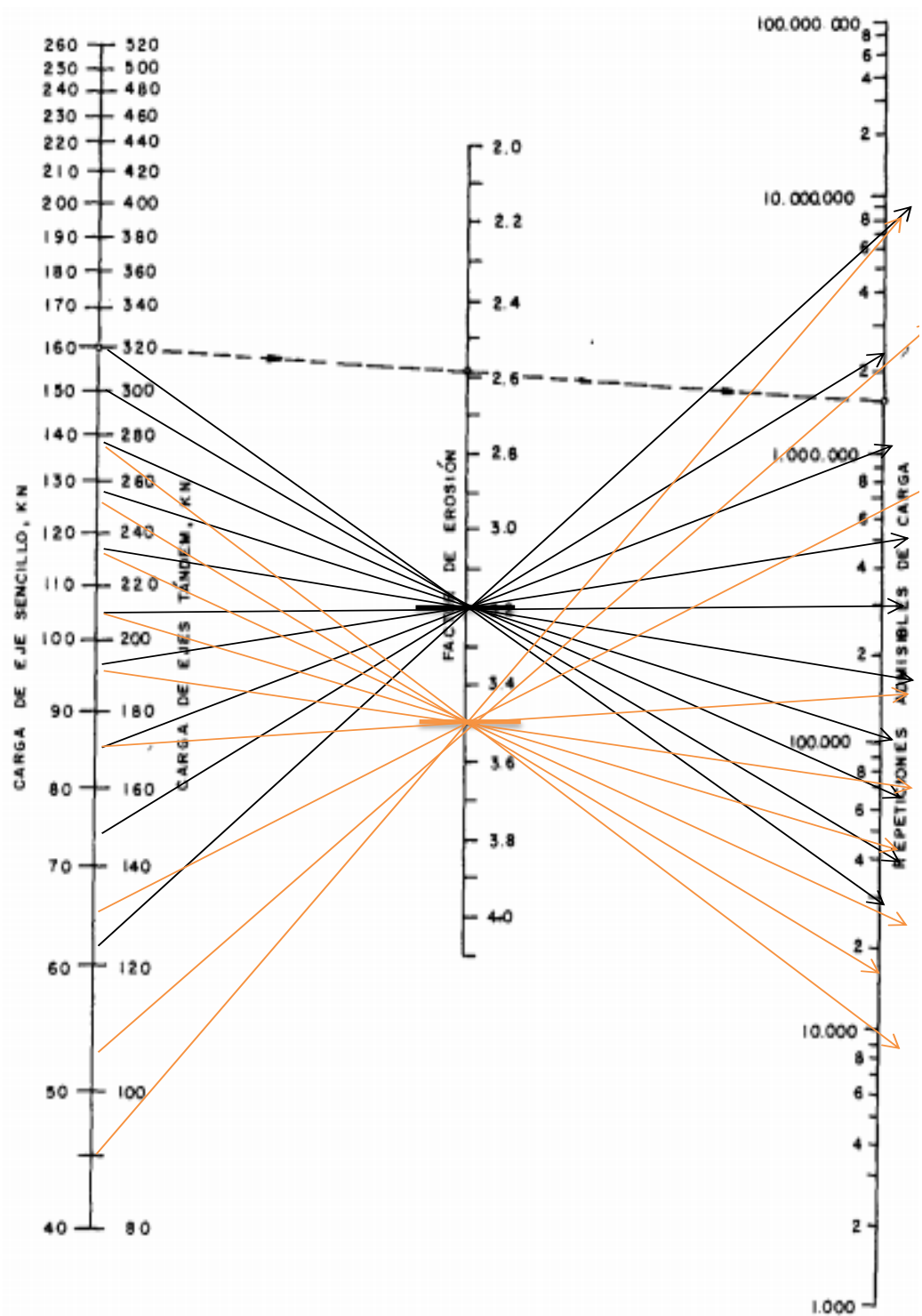
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22: Determinación de carga permisible por ábaco PCA por fatiga “Aranjuez Norte”



Fuente: Ábaco por fatiga PCA

Figura 4.23: Determinación de carga permisible por ábaco PCA por erosión
 “Aranjuez Norte”



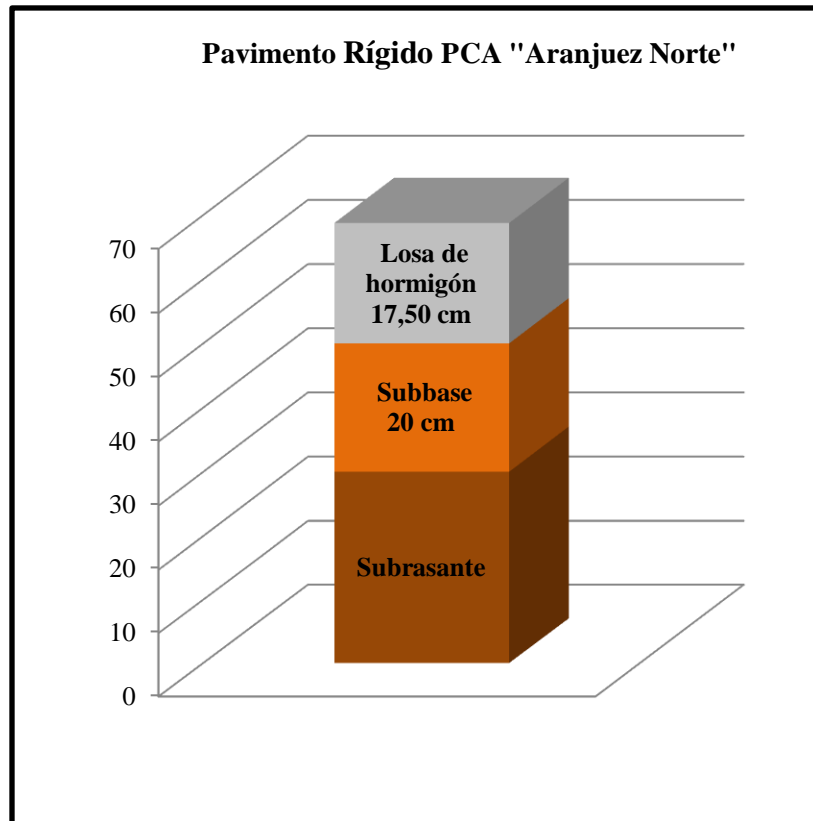
Fuente: Ábaco por fatiga PCA

En el siguiente cuadro se muestra que los análisis tanto de fatiga como de erosión son menores al 100% cumpliendo las exigencias de repeticiones permisibles en el barrio Aranjuez Norte

% <	100%
85,864	100
2,320	100

E losa=	17,5	cm
E losa=	7	plg
E subbase=	20	cm
E subbase=	8	plg

Figura 4.24: Pavimento rígido método PCA "Aranjuez Norte"



Fuente: Elaboración propia

4.7. Método mecanicista Barrio “El Trigal”

4.7.1. Subrasante

$$Mr = 5 \times \text{CBR (MPa)}$$

$$\text{CBR (95\%)} = 6,869$$

$$Mr (\text{Mpa}) = 34,345$$

$$Mr (\text{Psi}) = 165,211$$

4.7.2 Tipo de Estructura: estructura de calzada de concreto (BC5)

4.7.3. Tipo de Subrasante

De la siguiente tabla 2.29 del capítulo II que se muestra a continuación se determina la clase de plataforma y su módulo de elasticidad

4.7.4. Tipo de Plataforma: PF1

Determinado de la tabla 2.29 del capítulo II

Tipos de plataformas soporte		
Clases de plataforma	Módulo de elasticidad (MPa)	
PF1	20 a 50	
PF2	50 a 120	
PF3	120 a 200	
Clasificación de los suelos según los valores de CBR		
Tipo de Subrasante	CBR	Módulo de elasticidad (MPa)
S1	CBR < 5	25
S2	5 < CBR < 10	50
S3	10 < CBR < 15	75
S4	15 < CBR < 30	150
S5	CBR > 30	300

$$5 < \text{CBR} < 10 \rightarrow \text{S2} \rightarrow \text{Modulo (E)} = 50 \text{ MPa}$$

4.7.5. Cálculo y clasificación del tránsito de diseño (Número de Ejes)

De la tabla 2.24 se analiza y se determina la clasificación de tránsito y el coeficiente de agresividad CAM:

Clasificación del tránsito a partir del número de vehículos					
Clasificación del tránsito		Número acumulado de Vehículos			
T1		Menor a 500			
T2		Entre 500 y 1500			
T3		Entre 1500 y 4000			
T4		Entre 4000 y 10000			
T5		Entre 10000 y 20000			
Valores de CAM según el tráfico					
Clase	T1	T2	T3	T4	T5
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Nº vehículos por día = 3292 → T3 (tabla 2.24)

$C = 98,35$

$N = 16455430$

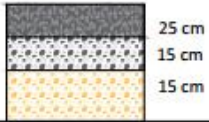
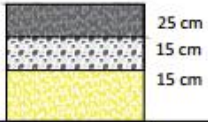
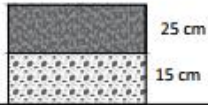
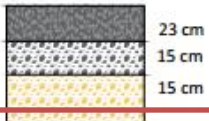
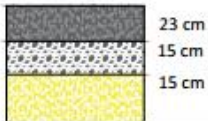
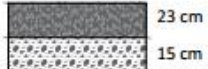
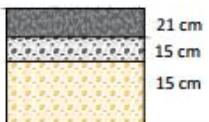


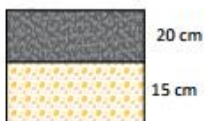
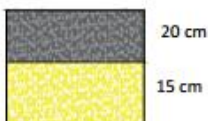

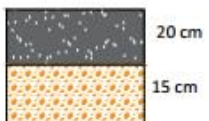
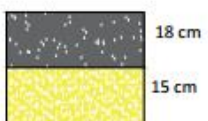

$CAM = 0,7$ (T3) Tránsito medio

$NE = (N \times CAM) = 11518800,99$

$NE = 1,15 \times 10^7$

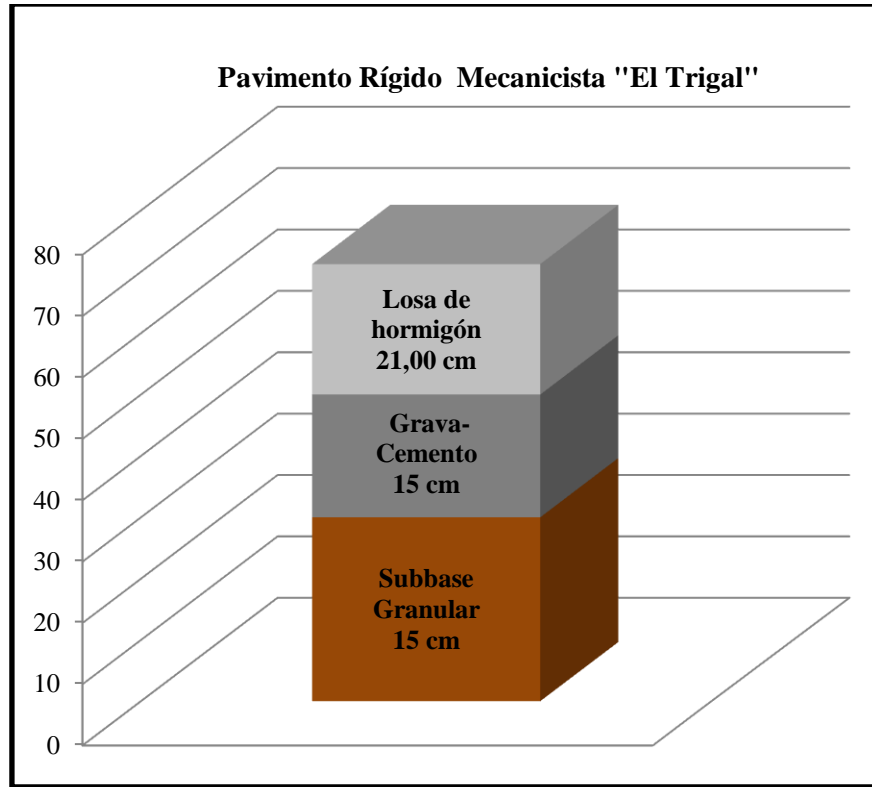
4.7.6. Aplicación del catálogo según el tránsito

De la Figura 2.17 determinamos por catálogo espesor de pavimento rígido “El Trigal”

	PF1	PF2	PF3
T5			
T4			
T3			
T2			
T1			

Fuente: Reyes Freddy “método racional de pavimentos”

Figura 4.25: Pavimento rígido método mecanicista “El Trigal”



Fuente: Elaboración propia

Valor Límite en la Capa Subbase

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t \times (NE) \times k_r \times k_d \times k_c$$

Cálculo de variables

De la siguiente tabla se determina las variables de cálculo para capa base de hormigón

Tabla 4.20: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de subbase “El Trigal”

Materiales en comportamiento en fatiga					
Características del hormigón en fatiga					
Clase de Hormigón	Esfuerzo al millón de repeticiones (MPa)	Pendiente de ley de fatiga -1/b	SN	Coefficiente Sh	Coefficiente de ajuste Kc
BC 5	2,15	16	1	2	1,5
BC 4	1,95	15	1	2	1,5
BC 3	1,63	15	1	2	1,5
BC 2	1,37	14	1	2	1,5

Fuente: Reyes Lizcano Freddy, “método racional de pavimentos”

$$O_6 = 2,15$$

$$b = -1/16$$

$$SN = 1$$

$$SH = 0,02$$

$$K_c = 1,5$$

Cálculo del Kd

De la tabla 2.28 se determina la variable Kd

Kd	Tipo
1/1,47	Losas con pasadores
1/1,70	Losas sin pasadores

$$K_d = 1/1,70$$

Cálculo de Kr

$$K_r = 10^{-u \cdot b \cdot S}$$

Cálculo de u tomando como riesgo en la capa subbase, sugiriendo un riesgo de 5% de la tabla 2.26 se toma los valores de u de acuerdo al riesgo sugerido

Valores probalísticos de la ley normal					
Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,710	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,6	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0,000

$$u = -1,645$$

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_H^2 \times \left(\frac{0,02}{b}\right)^2}$$

$$S_N = 1$$

Dispersión sobre los espesores de capas \rightarrow **SH = 1 cm** para la capa de base o subbase

$$S = \sqrt{1^2 + 1^2 \times \left(\frac{0,02}{-1/16}\right)^2}$$

$$S = 1,000$$

$$K_r = 10^{-(-1,645) \times \left(-\frac{1}{16}\right) \times (1)}$$

$$K_r = 1,267$$

$$O_6 \times NE = 2,15 \times 1,15^{-\frac{1}{16}}$$

$$O_6 \times NE = 2,131$$

$$O_{t,ad} = 2,131 \times 1,5 \times 1,267 \times 0,588$$

$$O_{t,ad} = 2,381 \text{ MPa}$$

Valor límite en la Capa de Fundación

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t \times (NE) \times k_r \times k_c \times k_s$$

Cálculo de variables

De la siguiente tabla se determina las variables de cálculo para capa base de hormigón

Tabla 4.21: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de fundación “El Trigal”

Materiales en comportamiento en fatiga					
Características del hormigón en fatiga					
Clase de Hormigón	Esfuerzo al millón de repeticiones (MPa)	Pendiente de ley de fatiga - 1/b	SN	Coefficiente Sh	Coefficiente de ajuste Kc
BC 5	2,15	16	1	2	1,5
BC 4	1,95	15	1	2	1,5
BC 3	1,63	15	1	2	1,5
BC 2	1,37	14	1	2	1,5

Fuente: Reyes Lizcano Freddy, “método racional de pavimentos”

$$O_6 = 2,15$$

$$b = -1/16$$

$$SN = 1$$

$$SH = 0,02$$

$$Kc = 1,5$$

Cálculo del Ks

De la tabla 2.27 se determina la variable Ks

Ks	Rigidez de la Plataforma (MPa)
1,0	> 120
1/1,1	50 - 120
1/1,2	< 50

$$Ks = 1/1,10$$

Cálculo de Kr

$$K_r = 10^{-u_b S}$$

Cálculo de u tomando como riesgo en la capa de fundación, sugiriendo un riesgo de 50% de la tabla 2.26 se toma los valores de u de acuerdo al riesgo sugerido

Valores probalísticos de la ley normal					
Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,710	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,6	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0,000

$$u = 0$$

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_H^2 \times \left(\frac{0,02}{b}\right)^2}$$

$$S_N = 1$$

Dispersión sobre los espesores de capas \rightarrow **SH = 3 cm** para la capa de fundación

$$S = \sqrt{1^2 + 1^2 \times \left(\frac{0,02}{-1/16}\right)^2}$$

$$S = 0,031$$

$$K_r = 10^{-(-1,645) \times \left(-\frac{1}{16}\right) \times (0,031)}$$

$$K_r = 1$$

$$O_6 \times NE = 2,15 \times 1,15^{-\frac{1}{16}}$$

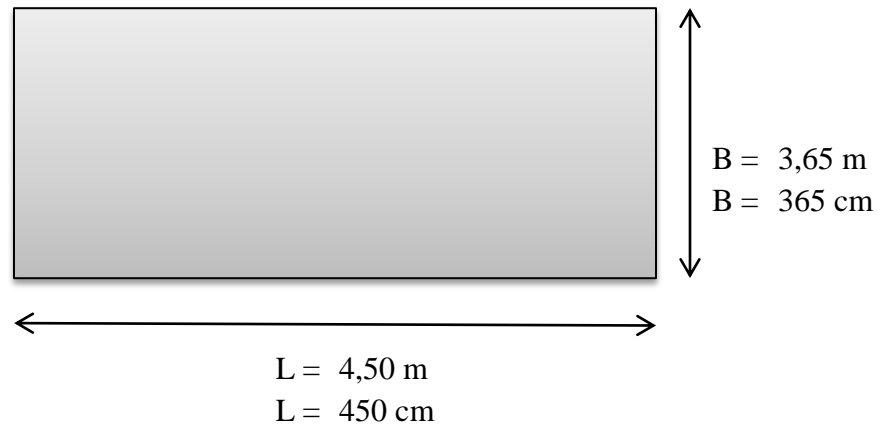
$$O_6 \times NE = 2,131$$

$$O_t, ad = 2,131 \times 1,5 \times 1,00 \times 0,909$$

$$O_t, ad = 2,906 \text{ MPa}$$

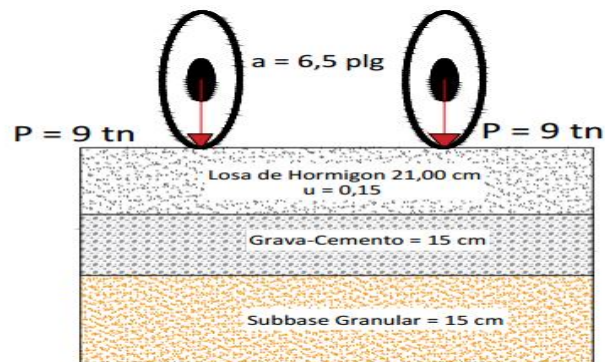
4.7.7. Cálculo de esfuerzos en la losa

Módulo de rotura del hormigón = 37,49 MPa



Módulo de ruptura del hormigón a compresión a los 28 días $M_r = 37,49 \text{ MPa}$

Figura 4.26: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la rigidez relativa (Westergaard)

$$I = \sqrt[4]{\frac{E \times H^3}{12 \times (1 - u^2)}}$$

Dónde:

I = Rigidez relativa

E = Modulo elástico del Hormigón = 4162294,1 Psi

u = Coeficiente de poisson = 0,15

$$H = 8,5 \text{ Plg}$$

$$I = \sqrt[4]{\frac{4162294,1 \times 8,4^3}{12 \times (1 - 0,15^2)}}$$

$$I = 120,425$$

De las siguientes ecuaciones se determina los esfuerzos en las localizaciones de la losa

$$\text{Interior} \rightarrow \sigma_i = \frac{0,3162 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 1,069 \right]$$

$$\text{Borde} \rightarrow \sigma_b = \frac{0,572 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 0,359 \right]$$

$$\text{Esquina} \rightarrow \sigma_e = \frac{3 \times P}{h^2} \times \left[1 - \log\left(\frac{a \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right]$$

P = Considerando un eje de 9 toneladas como el más crítico = 9 + 9 = 18 = 39682,8 Lb

b = Radio de la sección resistente = $\sqrt{1,6 a^2 + H^2} - 0,675H = 6,088 \text{ plg}$

a = Radio del área cargada = 6,5 plg

Esfuerzo en el interior de la losa

$$\sigma_i = \frac{0,3162 \times 39682,8}{8,4^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{120,425}{6,088}\right) + 1,069 \right] = 1112,145 \text{ Psi} = 7,785 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en el borde de la losa

$$\sigma_b = \frac{0,572 \times 39682,8}{8,4^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{120,425}{6,088}\right) + 0,359 \right] = 1783,448 \text{ Psi} = 12,484 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en la esquina de la losa

$$\sigma_e = \frac{3 \times 39682,8}{8,4^2} \times \left[1 - \left(\frac{6,5 \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right] = 4698,705 \text{ Psi} = 32,891 \text{ MPa}$$

4.7.8. Cuadro resumen de esfuerzo en la losa

	Mr
Esfuerzos en el interior de la losa =	7,785 < 37,49
Esfuerzos en el borde de la losa =	12,484 < 37,49
Esfuerzos en la esquina de la losa =	32,891 < 37,49

4.8. Método mecanicista Barrio “Tarijeños en Progreso”

4.8.1. Subrasante

$$Mr = 5 \times \text{CBR (MPa)}$$

$$\text{CBR (95\%)} = 6,806$$

$$Mr \text{ (Mpa)} = 34,030$$

$$Mr \text{ (Psi)} = 164,511$$

4.8.2 Tipo de Estructura: estructura de calzada de concreto (BC5)

4.8.3. Tipo de Subrasante

De la siguiente tabla 2.29 que se muestra a continuación se determina la clase de plataforma y su módulo de elasticidad

4.8.4. Tipo de Plataforma: PF1

Se determina de la tabla 2.29 del capítulo II

Tipos de plataformas soporte		
Clases de plataforma	Módulo de elasticidad (MPa)	
PF1	20 a 50	
PF2	50 a 120	
PF3	120 a 200	
Clasificación de los suelos según los valores de CBR		
Tipo de Subrasante	CBR	Módulo de elasticidad (MPa)
S1	$\text{CBR} < 5$	25
S2	$5 < \text{CBR} < 10$	50
S3	$10 < \text{CBR} < 15$	75
S4	$15 < \text{CBR} < 30$	150
S5	$\text{CBR} > 30$	300

$$5 < \text{CBR} < 10 \rightarrow \text{S2} \rightarrow \text{Modulo (E)} = 50 \text{ MPa}$$

4.8.5. Cálculo y clasificación del tránsito de diseño (Número de Ejes)

De la tabla 2.24 se analiza y se determina la clasificación de tránsito y el coeficiente de agresividad CAM:

Clasificación del tránsito a partir del número de vehículos					
Clasificación del tránsito	Número acumulado de Vehículos				
T1	Menor a 500				
T2	Entre 500 y 1500				
T3	Entre 1500 y 4000				
T4	Entre 4000 y 10000				
T5	Entre 10000 y 20000				
Valores de CAM según el tráfico					
Clase	T1	T2	T3	T4	T5
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Nº vehículos por día = 1109 → T2 (tabla 26)

$$C = 57,275$$

$$N = 3201214,3$$

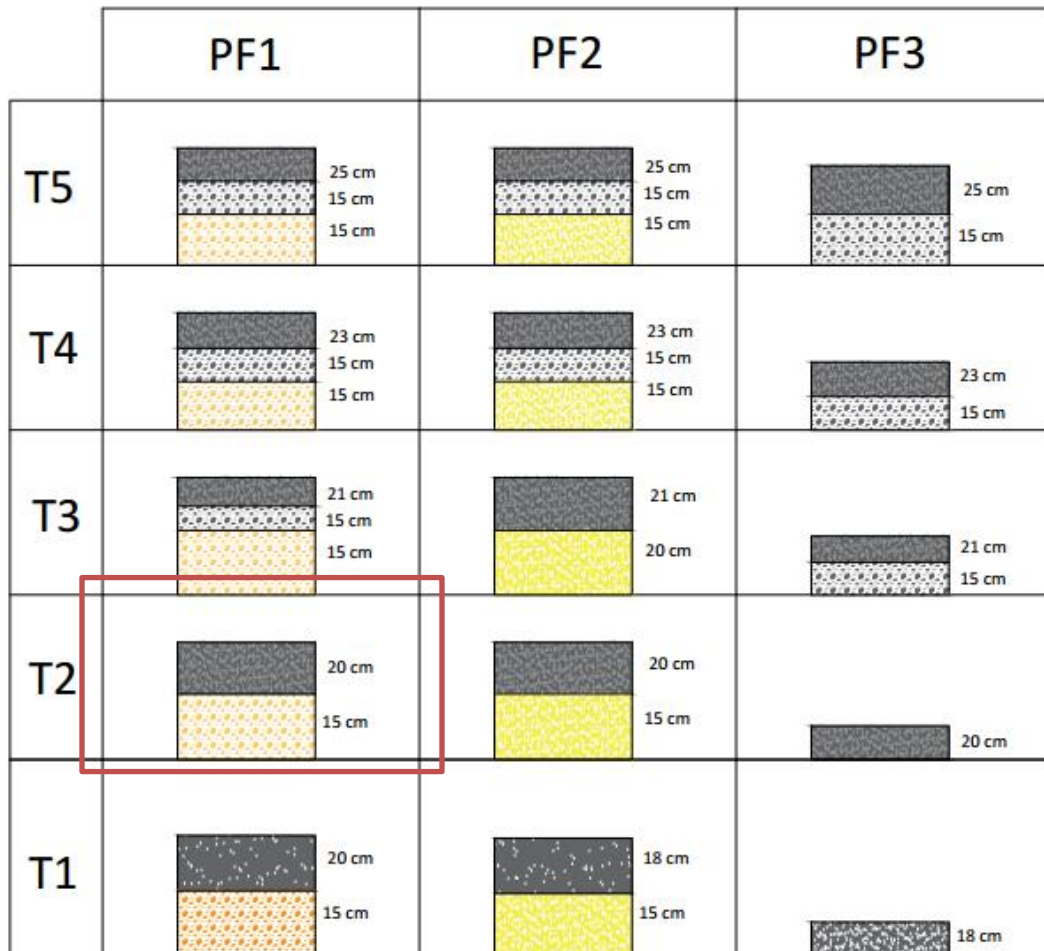
$$CAM = 0,5 \text{ (T2) Tránsito bajo}$$

$$NE = (N \times CAM) = 1600607,136$$

$$NE = 1,60 \times 10^6$$

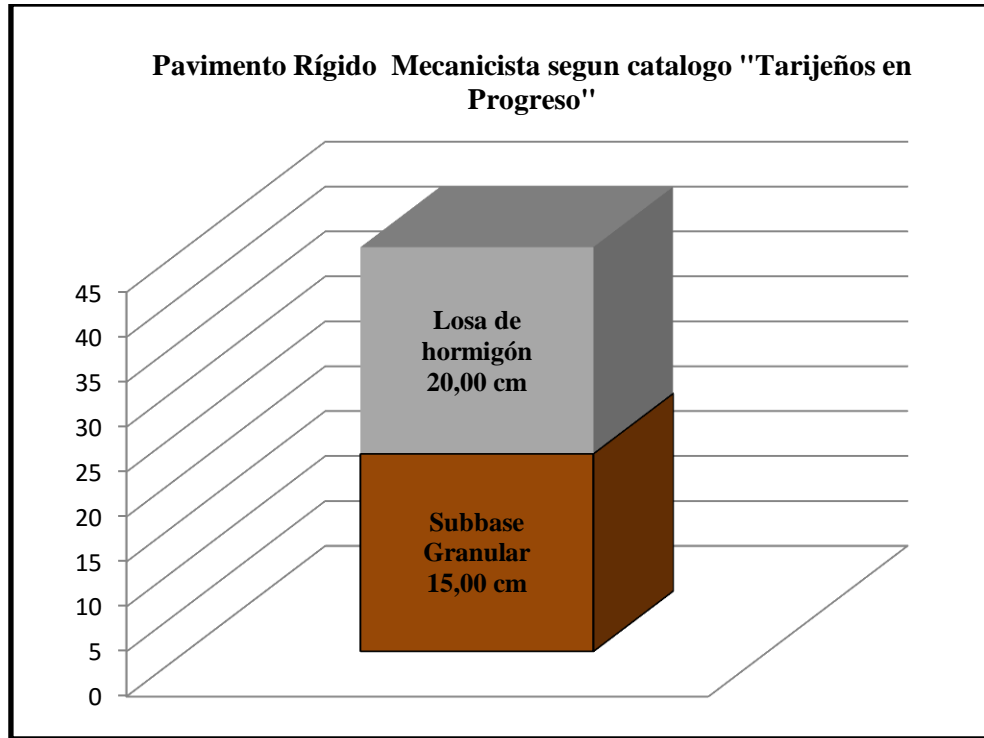
4.8.6. Aplicación del ábaco para determinar la capa estructural para tránsito bajo

De la figura 2.17 mediante ábaco método mecanicista para “Tarijeños en Progreso” se determina el espesor de losa de hormigón



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27: Pavimento rígido método mecanicista “Tarijeños en Progreso”



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de variables

De la siguiente tabla se determina las variables de cálculo para capa base de hormigón

Tabla 4.22: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa subbase “Tarijeños en Porgreso”

Materiales en comportamiento en fatiga					
Características del hormigón en fatiga					
Clase de Hormigón	Esfuerzo al millón de repeticiones (MPa)	Pendiente de ley de fatiga -1/b	SN	Coefficiente Sh	Coefficiente de ajuste Kc
BC 5	2,15	16	1	2	1,5
BC 4	1,95	15	1	2	1,5
BC 3	1,63	15	1	2	1,5
BC 2	1,37	14	1	2	1,5

Fuente: Reyes Lizcano Freddy, “método racional de pavimentos”

$$O6 = 1,95$$

$$b = -1/15$$

$$SN = 1$$

$$SH = 0,02$$

$$Kc = 1,5$$

Cálculo del Kd

De la tabla 2.28 se determina la variable Kd

Kd	Tipo
1/1,47	Losas con pasadores
1/1,70	Losas sin pasadores

$$Kd = 1/1,70$$

Cálculo de Kr

$$Kr = 10^{-ubS}$$

Calculo de u tomando como riesgo en la capa subbase, sugiriendo un riesgo de 5% de la tabla 2.26 se toma los valores de u de acuerdo al riesgo sugerido

Valores probalisticos de la ley normal					
Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,710	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,6	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0,000

$$u = -1,645$$

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_H^2 \times \left(\frac{0,02}{b}\right)^2}$$

$$SN = 1$$

Dispersión sobre los espesores de capas → **SH = 1 cm** para la capa de base o subbase

$$S = \sqrt{1^2 + 1^2 \times \left(\frac{0,02}{-1/15}\right)^2}$$

$$S = 1,044$$

$$K_r = 10^{-(-1,645) \times \left(-\frac{1}{15}\right) \times (1,044)}$$

$$K_r = 0,768$$

$$O_6 \times NE = 1,95 \times 1,15^{-\frac{1}{16}}$$

$$O_6 \times NE = 1,967$$

$$O_{t,ad} = 1,967 \times 1,5 \times 0,768 \times 0,588$$

$$\mathbf{O_{t,ad} = 1,332 \text{ MPa}}$$

Valor límite en la Capa de Fundación

$$\sigma_{t,ad} = \sigma_t \times (NE) \times k_r \times k_c \times k_s$$

Cálculo de variables

De la siguiente tabla se determina las variables de cálculo para capa base de hormigón

Tabla 4.23: Materiales tratados en comportamiento en fatiga en capa de fundación
“Tarijeños en Progreso”

Materiales en comportamiento en fatiga					
Características del hormigón en fatiga					
Clase de Hormigón	Esfuerzo al millón de repeticiones (MPa)	Pendiente de ley de fatiga -1/b	SN	Coefficiente Sh	Coefficiente de ajuste Kc
BC 5	2,15	16	1	2	1,5
BC 4	1,95	15	1	2	1,5
BC 3	1,63	15	1	2	1,5
BC 2	1,37	14	1	2	1,5

Fuente: Reyes Lizcano Freddy, “método racional de pavimentos”

$$O6 = 1,63$$

$$b = -1/15$$

$$SN = 1$$

$$SH = 0,02$$

$$Kc = 1,5$$

Cálculo del Ks

De la tabla 2.27 se determina la variable Ks

Ks	Rigidez de la Plataforma (MPa)
1,0	> 120
1/1,1	50 - 120
1/1,2	< 50

$$Ks = 1/1,20$$

Cálculo de Kr

$$Kr = 10^{-ubS}$$

Calculo de u tomando como riesgo en la capa de fundación, sugiriendo un riesgo de 50% de la tabla 2.26 se toma los valores de u de acuerdo al riesgo sugerido

Valores probalísticos de la ley normal					
Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u	Riesgo (%)	u
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,710	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,6	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0,000

$$u = 0$$

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_H^2 \times \left(\frac{0,02}{b}\right)^2}$$

$$SN = 1$$

Dispersión sobre los espesores de capas → **SH = 3 cm** para la capa de fundación

$$S = \sqrt{1^2 + 0,03^2 \times \left(\frac{0,02}{-1/15}\right)^2}$$

$$S = 1,000$$

$$K_r = 10^{-(-1,645) \times \left(-\frac{1}{15}\right) \times (1,00)}$$

$$K_r = 0,777$$

$$O_6 \times NE = 1,63 \times 1,15^{-\frac{1}{16}}$$

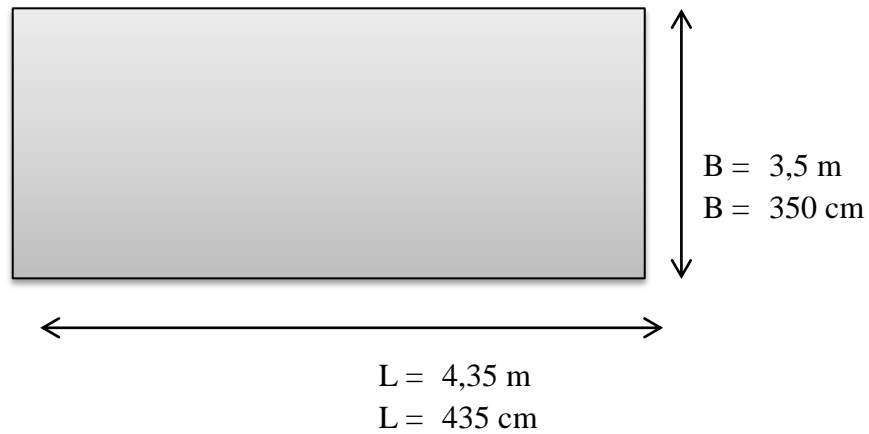
$$O_6 \times NE = 1,615$$

$$O_{t, ad} = 1,615 \times 1,5 \times 0,777 \times 0,833$$

$$\mathbf{O_{t, ad} = 1,568 \text{ MPa}}$$

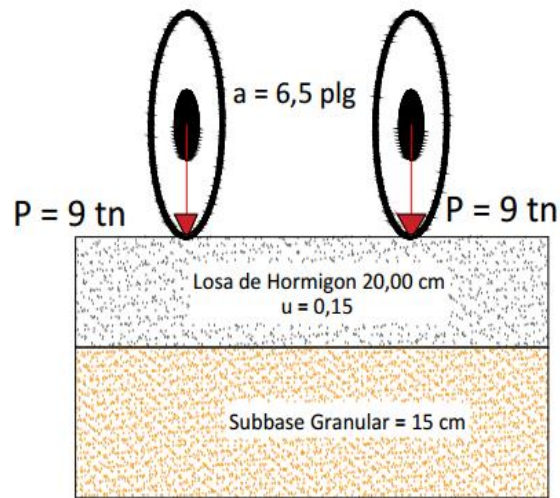
4.8.7. Cálculo de esfuerzos en la losa

Módulo de rotura del Hormigón = 37,49MPa



Módulo de ruptura del hormigón a compresión a los 28 días $M_r = 37,49 \text{ MPa}$

Figura 4.28: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la rigidez relativa (Westergaard)

$$I = \sqrt[4]{\frac{E \times H^3}{12 \times (1 - u^2)}}$$

Dónde:

I = Rigidez relativa

E = Módulo elástico del Hormigón = 4162294,1 Psi

u = Coeficiente de poisson = 0,15

H = 8,00 Plg

$$I = \sqrt[4]{\frac{4162294,1 \times 8,0^3}{12 \times (1 - 0,15^2)}}$$

$$I = 120,226$$

De las siguientes ecuaciones se determina los esfuerzos en las localizaciones de la losa

$$\text{Interior} \rightarrow \sigma_i = \frac{0,3162 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 1,069 \right]$$

$$\text{Borde} \rightarrow \sigma_b = \frac{0,572 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 0,359 \right]$$

$$\text{Esquina} \rightarrow \sigma_b = \frac{3 \times P}{h^2} \times \left[1 - \log\left(\frac{a \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right]$$

P = Considerando un eje 9 toneladas como el más crítico = 9 + 9 = 18 = 39682,8 Lb

b = Radio de la sección resistente = $\sqrt{1,6 a^2 + H^2} - 0,675H = 6,072$ plg

a = Radio del área cargada = 6,5 plg

Esfuerzo en el interior de la losa

$$\sigma_i = \frac{0,3162 \times 39682,8}{8,0^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{120,226}{6,088}\right) + 1,069 \right] = 1226,472 \text{ Psi} = 8,585 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en el borde de la losa

$$\sigma_b = \frac{0,572 \times 39682,8}{8,0^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{120,226}{6,088}\right) + 0,359 \right] = 1965,233 \text{ Psi} = 13,757 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en la esquina de la losa

$$\sigma_e = \frac{3 \times 39682,8}{8,0^2} \times \left[1 - \left(\frac{6,5 \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right] = 4589,491 \text{ Psi} = 36,262 \text{ MPa}$$

4.8.8 Cuadro resumen de esfuerzo en la losa

	Mr
Esfuerzos en el interior de la losa =	8,579 < 37,49
Esfuerzos en el borde de la losa =	13,757 < 37,49
Esfuerzos en la esquina de la losa =	36,262 < 37,49

4.9. Método mecanicista Barrio “Aranjuez Norte”

4.9.1. Subrasante

$$Mr = 5 \times \text{CBR (MPa)}$$

$$\text{CBR (95\%)} = 9,415$$

$$Mr \text{ (Mpa)} = 47,075$$

$$Mr \text{ (Psi)} = 193,500$$

4.9.2 Tipo de Estructura: estructura de calzada de concreto (BC5)

4.9.3. Tipo de Subrasante

De la siguiente tabla 2.29 que se muestra a continuación se determina la clase de plataforma y su módulo de elasticidad

4.9.4. Tipo de Plataforma: PF1

Se determina de la tabla 2.29:

Tipos de plataformas soporte		
Clases de plataforma	Módulo de elasticidad (MPa)	
PF1	20 a 50	
PF2	50 a 120	
PF3	120 a 200	
Clasificación de los suelos según los valores de CBR		
Tipo de Subrasante	CBR	Módulo de elasticidad (MPa)
S1	$\text{CBR} < 5$	25
S2	$5 < \text{CBR} < 10$	50
S3	$10 < \text{CBR} < 15$	75
S4	$15 < \text{CBR} < 30$	150
S5	$\text{CBR} > 30$	300

$$5 < \text{CBR} < 10 \rightarrow \text{S2} \rightarrow \text{Modulo (E)} = 50 \text{ MPa}$$

4.9.5. Cálculo y clasificación del tránsito de diseño (Número de Ejes)

De la tabla 2.24 se analiza, se determina la clasificación de tránsito y el coeficiente de agresividad CAM:

Clasificación del tránsito a partir del número de vehículos					
Clasificación del tránsito	Número acumulado de Vehículos				
T1	Menor a 500				
T2	Entre 500 y 1500				
T3	Entre 1500 y 4000				
T4	Entre 4000 y 10000				
T5	Entre 10000 y 20000				
Valores de CAM según el tráfico					
Clase	T1	T2	T3	T4	T5
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8	1

Nº vehículos por día = 5359 → T4 (tabla 26)

$$C = 164,494$$

$$N = 44564062,651$$

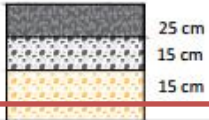
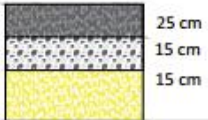
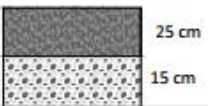
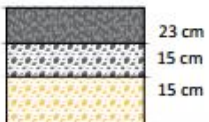


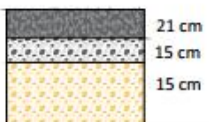
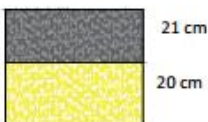

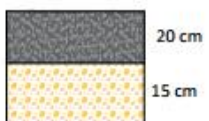
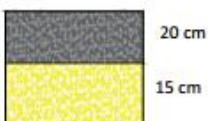

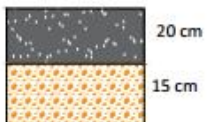
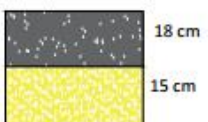

$$\text{CAM} = 0,8 \text{ (T4) Tránsito alto}$$

$$\text{NE} = (N \times \text{CAM}) = 35651250,121$$

$$\text{NE} = 3,57 \times 10^7$$

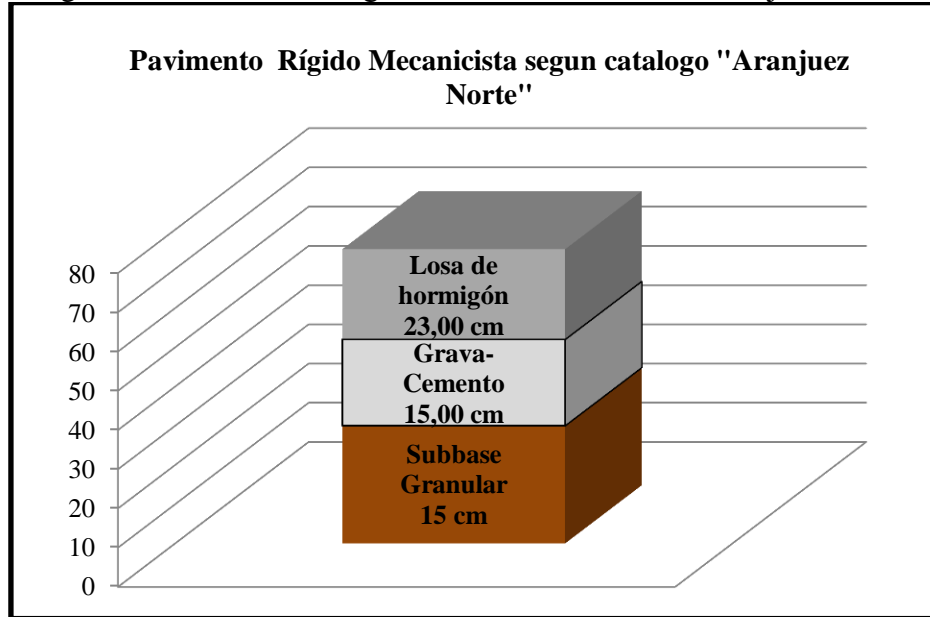
4.9.6. Aplicación del catálogo según el tránsito pesado

De la Figura 2.17 se determinara por catálogo el espesor de pavimento rígido “Aranjuez Norte”

	PF1	PF2	PF3
T5	 25 cm 15 cm 15 cm	 25 cm 15 cm 15 cm	 25 cm 15 cm
T4	 23 cm 15 cm 15 cm	 23 cm 15 cm 15 cm	 23 cm 15 cm
T3	 21 cm 15 cm 15 cm	 21 cm 20 cm	 21 cm 15 cm
T2	 20 cm 15 cm	 20 cm 15 cm	 20 cm
T1	 20 cm 15 cm	 18 cm 15 cm	 18 cm

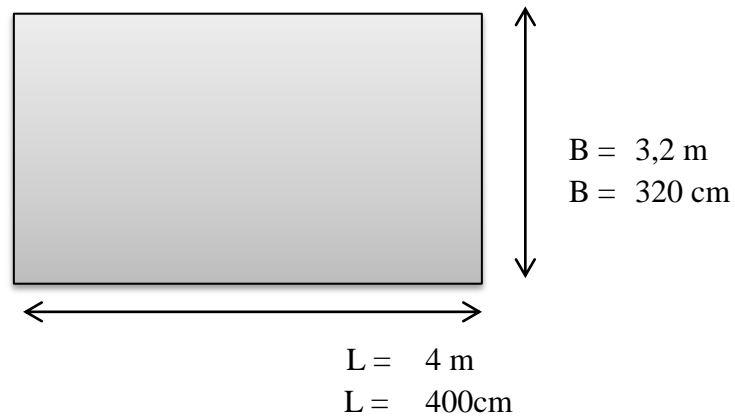
Fuente: Reyes Freddy “método racional de pavimentos”

Figura 4.29: Pavimento rígido método mecanicista "Aranjuez Norte"



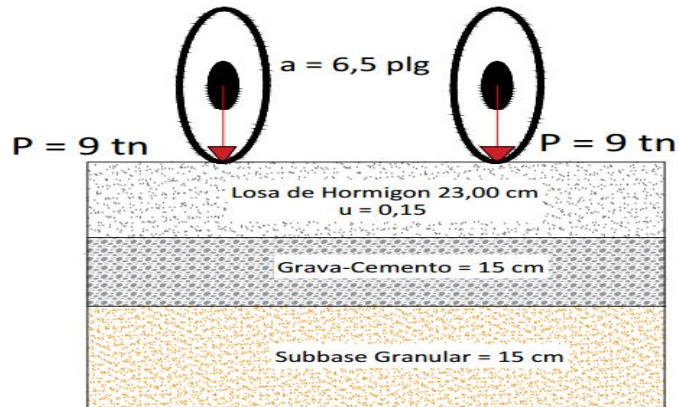
Fuente: Elaboración propia

4.9.7. Cálculo de esfuerzos en la losa



Módulo de ruptura del hormigón a compresión a los 28 días $M_r = 37,49 \text{ MPa}$

Figura 4.30: Ejes de 18 toneladas en cálculo de esfuerzos en la losa



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la rigidez relativa (Westergaard)

$$I = \sqrt[4]{\frac{E \times H^3}{12 \times (1 - u^2)}}$$

Dónde:

I = Rigidez relativa

E = Modulo elástico del Hormigón = 4162294,1 Psi

u = Coeficiente de poisson = 0,15

H = 9,00 Plg

$$I = \sqrt[4]{\frac{4162294,1 \times 9,2^3}{12 \times (1 - 0,15^2)}}$$

$$I = 128,929$$

De las siguientes ecuaciones se determina los esfuerzos en las localizaciones de la losa

$$\text{Interior} \rightarrow \sigma_i = \frac{0,3162 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 1,069 \right]$$

$$\text{Borde} \rightarrow \sigma_b = \frac{0,572 \times P}{h^2} \times \left[4 \times \log\left(\frac{1}{b}\right) + 0,359 \right]$$

$$\text{Esquina} \rightarrow \sigma_b = \frac{3 \times P}{h^2} \times \left[1 - \log\left(\frac{a \times \sqrt{2}}{1}\right)^{0,6} \right]$$

P = Considerando un eje de 9 toneladas como el más crítico = 9 + 9 = 18 = 39682,8 Lb

b = Radio de la sección resistente = $\sqrt{1,6 a^2 + H^2} - 0,675H = 6,115$ plg

a = Radio del área cargada = 6,5 plg

Esfuerzo en el interior de la losa

$$\sigma_i = \frac{0,3162 \times 39682,8}{9,2^2} \times \left[4 \times \log \left(\frac{128,929}{6,115} \right) + 1,069 \right] = 942,101 \text{ Psi} = 6,595 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en el borde de la losa

$$\sigma_b = \frac{0,572 \times 39682,8}{9,2^2} \times \left[4 \times \log \left(\frac{128,929}{6,115} \right) + 0,359 \right] = 1513,837 \text{ Psi} = 10,597 \text{ MPa}$$

Esfuerzo en la esquina de la losa

$$\sigma_e = \frac{3 \times 39682,8}{9,2^2} \times \left[1 - \left(\frac{6,5 \times \sqrt{2}}{1} \right)^{0,6} \right] = 3917,067 \text{ Psi} = 27,419 \text{ MPa}$$

4.9.8 Cuadro resumen de esfuerzo en la losa

	Mr
Esfuerzos en el interior de la losa =	6,595 < 37,49
Esfuerzos en el borde de la losa =	10,597 < 37,49
Esfuerzos en la esquina de la losa =	27,419 < 37,49

4.10. Comparación de espesores de pavimento rígido según metodología propuesta

E losa = espesor de losa

E subbase = espesor de subbase

4.10.1. Tráfico Bajo “Tarijeños en Progreso”

Tabla 4.24: Comparación de espesores “Tarijeños en Progreso”

	Metodología		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
E losa (cm)	13,75	12,50	20,00
E subbase (cm)	20,00	20,00	15,00

Fuente: Elaboración Propia

4.10.2. Tráfico Medio “El Trigal”

Tabla 4.25: Comparación de espesores “El Trigal”

	Metodología		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
E losa (cm)	16,25	15,00	21,00
E subbase (cm)	20,00	20,00	15,00

Fuente: Elaboración Propia

4.10.3. Tráfico Alto “Aranjuez Norte”

Tabla 4.26: Comparación de espesores “Aranjuez Norte”

	Metodología		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
E losa (cm)	18,75	17,50	23,00
E subbase (cm)	20,00	20,00	15,00

Fuente: Elaboración propia

En resumen se observa lo siguiente en tráfico bajo:

Espesor AASHTO 93 – espesor PCA = 13,75 cm – 12,50 cm = 1,25 cm

Espesor Mecanicista – espesor AASHTO 93 = 20,00 cm – 13,75 cm = 6,25 cm

Espesor Mecanicista – espesor PCA = 20,00 cm – 12,50 cm = 7,50 cm

En los espesores de tráfico medio se observa las siguientes diferencias:

Espesor AASHTO 93 – espesor PCA = 16,25 cm – 15,00 cm = 1,25 cm

Espesor Mecanicista – espesor AASHTO 93 = 21,00 cm – 16,25 cm = 4,75 cm

Espesor Mecanicista – espesor PCA = 21,00 cm – 15,00 cm = 5,00 cm

En los espesores de tráfico alto se observa las siguientes diferencias:

Espesor AASHTO 93 – espesor PCA = 18,75 cm – 17,50 cm = 1,25 cm

Espesor Mecanicista – espesor AASHTO 93 = 23,00 cm – 18,75 cm = 4,25 cm

Espesor Mecanicista – espesor PCA = 23,00 cm – 17,50 cm = 5,50 cm

Llegamos a los siguientes resultados:

- La diferencia de los espesores de pavimento rígido de alto, medio y alto tráfico es de 1,25 cm entre el AASHTO 93 y el PCA
- La diferencia de espesores entre el AASHTO y el mecanicista es de 1,50 cm para tráfico bajo y medio y de 0,50 cm para tráfico medio a alto
- La diferencia de los espesores en las metodologías PCA y mecanicista es de 2,50 cm de tráfico bajo a medio y de 0,50 cm de tráfico medio a alto

4.11. Análisis comparativo de variables en metodologías propuestas

A continuación se desarrollará una comparación de los métodos en estudio de variable a variable de acuerdo a sus equivalencias en cada una de las metodologías, para establecer cuál de las metodologías puede considerarse la metodología óptima de diseño. Existen variables cuyo valor está determinado por el criterio del diseñador y no por lineamientos establecidos por la metodología, este criterio puede influenciar en los valores de espesores obtenidos al final del diseño de pavimentos

4.11.1. Módulo de rotura del Hormigón (MR)

En el caso del método PCA se plantea un pre diseño indicando la resistencia del hormigón, espesor de la losa y las condiciones de transferencia de carga y borde, se observan diferencia de espesores con respecto al método de la PCA del orden de 2,5 cm de tráfico bajo, medio a pesado respectivamente. Cabe mencionar que el módulo de ruptura del hormigón, deja de incidir en la determinación del espesor de la losa de hormigón utilizando el método de la PCA a partir de un valor de 4,1 MPa

En el caso mecanicista considera valor admisible el módulo de rotura obtenido en laboratorio, el ensayo a la compresión a los 28 días como valor admisible con respecto a los esfuerzos en diferentes localizaciones del espesor de pavimento rígido

El módulo de ruptura en AASHTO 93 tiene mayor incidencia en la determinación de espesores a través de este método, observando los espesores obtenidos que varían de 2,5 cm de tráfico bajo, medio a alto.

4.11.2. Resistencia de la subrasante (Ko) y módulo dinámico de la subrasante

El método PCA considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción de K del suelo, en donde el rango de valores oscila entre los 499 y 909 psi, de acuerdo a los criterios establecidos. En el método AASHTO la incidencia de la resistencia de la subrasante es mínima, ya que el espesor de la losa de hormigón es afectado levemente por importantes cambios del módulo de reacción; en el método mecanicista el suelo soporte se asimila generalmente a un medio elástico definido por el módulo de Young y el coeficiente de poisson, sabiendo que este parámetro varían con la naturaleza de los suelos y las sollicitaciones aplicadas

4.11.3. Cargas de Tráfico

Una ventaja que se debe conocer en el método PCA es que toma el tráfico real que se estima que transitará sobre el pavimento, sin convertir los ejes sencillos equivalentes, dependiendo del número de carriles por sentido y del TPDA por sentido, utilizando únicamente el tráfico pesado, al utilizar el método AASHTO para la determinación del espesor de losa se utiliza toda la configuración del tráfico (liviano y pesado), el método racional considera el número equivalente de ejes de referencia correspondiente al paso de vehículos pesados acumulados en el periodo de diseño y analiza una mayoración de agresividad media de los vehículos pesados en relación con el eje de referencia

4.11.4. Periodo de diseño

Los métodos propuestos consideran los años de vida útil del pavimento y la tasa del crecimiento como dato

4.11.5. Transferencia de carga

En la metodología AASHTO 93 se considera que la transferencia de carga depende del tipo de junta a utilizar, para poder transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento; el método PCA no considera esta variable; el método mecanicista considera un cálculo de esfuerzos en diferentes localizaciones de la losa de

hormigón y también dependiente del tipo de juntas para evitar el problema de resonancia, la retracción del hormigón y que las fisuras no se propaguen provocadas por las ruedas sobre las juntas transversales

4.11.6. Módulo de elasticidad del Hormigón

Los métodos AASHTO, PCA y mecanicista utilizan fórmulas de correlación en función de la resistencia a la compresión simple (Psi) a los 28 días

4.11.7 Serviciabilidad

El diseño PCA y mecanicista no considera el concepto de serviciabilidad en su análisis. En cambio el método AASHTO se centra en el aspecto funcional del pavimento siendo un método empírico basado en la serviciabilidad en términos del índice de serviciabilidad presente, estableciendo un PSI inicial al momento de la puesta de servicio y un PSI final al término del periodo de diseño

4.11.8. Coeficiente de drenaje

El método AASHTO considera este coeficiente en función de las condiciones de drenaje predominantes, la precipitación media anual y el porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación, el método PCA y mecanicista no considera este coeficiente

4.11.9. Confiabilidad

AASHTO 93 calcula el espesor de losa para una determinada confiabilidad global del diseño, con el objeto de cumplir con los valores de PSI establecidos, de acuerdo a las propiedades de los materiales que componen la estructura, la capacidad soporte de la subrasante y el nivel de tráfico total proyectado. En el método AASHTO 93, no realiza una verificación de los posibles mecanismos de falla, tal y como los establece el método PCA con respecto a los criterios de fatiga y erosión y el método mecanicista considerando los esfuerzos en el borde, interior y esquina de la losa

4.11.10 Factor de seguridad

En el método de la PCA, el factor de seguridad incrementa el valor del TPDA y está en función de la vía y del volumen del tráfico pesado estimado; dicho factor varía entre 1 – 1,3; en el método AASHTO, mediante el coeficiente de confiabilidad, el factor de seguridad depende del tipo de vía y su ubicación urbana o rural recomendando para un

nuevo proyecto de pavimento rígido a utilizar sea igual a 0,35, en el método mecanicista el factor de seguridad, al igual que la PCA, incrementan el valor del TPDA con un coeficiente de agresividad de vehículos pesados.

4.11.11. Esfuerzos admisibles

El método mecanicista establece que para una carga dada, los esfuerzos y deformaciones en el pavimento a una cierta profundidad son función de la estructura, de su comportamiento y de los daños que pueda provocar la aplicación de una cara dada la cual depende de la naturaleza propia de los materiales y el espesor de la losa se determina con base en las cargas del tránsito. A continuación se muestra una tabla de equivalencias de variables para las metodologías AASHTO 93, PCA y Mecanicista.

Tabla 4.27: Comparación de variables AASHTO 93, PCA y Mecanicista

Variable de diseño	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
Módulo de rotura del Hormigón (MR)	Módulo de rotura a flexión a los 28 días	Módulo de rotura a flexión a los 28 días	Módulo de rotura a flexión a los 28 días y consideración del coeficiente de poisson (ν)
Resistencia de la subrasante (K)	Resistencia de la subrasante	Resistencia de la subrasante y de la subbase	Módulo de resiliencia de la subrasante
Cargas de Tránsito	Cargas generadas por vehículos pesados y livianos	Cargas generadas solo por vehículos pesados	Mayoración de cargas según el CAM
Periodo de diseño	Años de vida útil del pavimento	Años de vida útil del pavimento	Años de vida útil del pavimento
Transferencia de carga	Depende del tipo de junta	N/A	Calculo de esfuerzos en bordes, esquina e interior de la losa
Módulo de elasticidad del Hormigón	Módulo de Elasticidad del Hormigón	Sugiere rango de 4 - 5 Mpa	Módulo de Elasticidad del Hormigón
Serviciabilidad	Considera la pérdida	NA	NA
Coefficiente drenaje	Depende del tipo de drenaje	NA	NA
Confiabilidad	% Confiabilidad según el tipo de vía	NA	NA
Factor de seguridad	Asociado a la confiabilidad	Asociado al factor de seguridad	NA
Esfuerzos Admisibles	NA	NA	Localización en losa de hormigón

Fuente: Elaboración Propia

4.12. Precio Unitario por actividad en la construcción del pavimento rígido

Se presentan a continuación en las siguientes tablas los precios unitarios para cada actividad de construcción del pavimento rígido

Tabla 4.28: Precio unitario ítem movimientos de tierra

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM: MOVIMIENTOS DE TIERRA(m³)					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PROD	SUBTOTAL
MATERIALES					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
TOTAL MATERIALES =					
MANO DE OBRA					
1	Operador Tractor Oruga	Hr.	0,025	16,25	0,406
2	Operador de Pala Cargadora	Hr.	0,018	13,75	0,248
3	Chofer Volqueta	Hr.	0,039	9,25	0,361
4					
5					
6					
SUBTOTAL MANO DE OBRA =					1,015
CARGAS SOCIALES (C.S.) = (% DEL SUBTOTAL M.O.)				55% - 71,18%	0,558
IVA M.O. = (% SUBM.O.+C.S.)				14,94%	0,235
TOTAL DE MANO DE OBRA =					1,807
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
1	Tractor oruga	Hr.	0,028	500,00	14,000
2	Pala Cargadora	Hr.	0,012	250,00	3,000
3	Volqueta	Hr.	0,018	120,00	2,160
4					
5					
6					
SUBTOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA =					19,160
HERRAMIENTAS =(% DEL TOTAL DE M.O.)				6%	0,108
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					19,268
GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.)				10%	2,108
UTILIDAD					
UTILIDAD = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.+G.G.)				8%	1,855
IMPUESTOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.+G.G.+UT.)				3,09%	0,774
TOTAL PRECIO UNITARIO					25,812
PRECIO UNITARIO DEL ITEM (Bs)					25,81

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.29: Precio unitario ítem perfilado y compactado de subrasante

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM: PERFILADO Y COMPACTADO DE SUBRASANTE (m²)					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PROD	SUBTOTAL
MATERIALES					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
TOTAL MATERIALES =					
MANO DE OBRA					
1	Chofer de Camion Cisterna	Hr.	0,001	7,50	0,008
2	Op. De Motoniveladora	Hr.	0,005	11,25	0,011
3	Operador de Compactadora	Hr.	0,0012	11,25	0,056
4	Peon	Hr.	0,14	15,00	0,018
5					
6					
SUBTOTAL MANO DE OBRA =					0,093
CARGAS SOCIALES (C.S.) = (% DEL SUBTOTAL M.O.)				55% - 71,18%	0,051
IVA M.O. = (% SUBM.O.+C.S.)				14,94%	0,022
TOTAL DE MANO DE OBRA =					0,166
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
1	Motoniveladora	Hr.	0,003	250,00	0,750
2	Camion Cisterna	Hr.	0,07	180,00	12,600
3	Compacatdor Rodillo Liso	Hr.	0,006	300,00	1,800
4	Compacatdor Rodillo Pata de	Hr.	0,005	250,00	1,250
5					
6					
SUBTOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA =					16,400
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE M.O.)				6%	0,010
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					16,410
GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.)				10%	1,658
UTILIDAD					
UTILIDAD = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.+G.G.)				8%	1,459
IMPUESTOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ. Y HE.+G.G.+UT.)				3,09%	0,608
TOTAL PRECIO UNITARIO					20,300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.30: Precio unitario ítem conformación de capa subbase granular

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM: CONFORMACION DE CAPA SUBBASE GRANULAR(m³)					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PROD	SUBTOTAL
MATERIALES					
1	Material P/Subbase	m3	1,5	164,82	247,23
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
TOTAL MATERIALES =					247,23
MANO DE OBRA					
1	Ayudante de Operador	Hr.	0,3	11,97	3,591
2	Capataz	Hr.	0,05	25,50	1,275
3	Chofer Camion Cisterna	Hr.	0,07	22,90	1,603
4	Tecnico Laboratorista de suelos	Hr.	0,09	10,00	0,900
5	Operador Equipo Pesado	Hr.	0,07	26,17	1,832
6					
SUBTOTAL MANO DE OBRA =					9,201
CARGAS SOCIALES (C.S.) = (% DEL SUBTOTAL M.O.)				55% - 71,18%	5,060
IVA M.O. = (% SUBM.O.+C.S.)				14,94%	2,131
TOTAL DE MANO DE OBRA =					16,392
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
1	Camion Cisterna 10000 LTS	Hr.	0,03	218,14	6,544
2	Volqueta 8m3	Hr.	0,05	180,00	9,000
3	Compactador Rodillo Vibratorio	Hr.	0,015	171,71	2,576
4	Motoniveladora Pequeña	Hr.	0,007	457,50	3,202
5	Vibrocompactador con pata de Cabra	Hr.	0,007	262,84	1,840
6					
SUBTOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA =					23,162
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE M.O.)				6%	0,984
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					24,146
GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.)				10%	28,777
UTILIDAD					
UTILIDAD = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.)				8%	25,324
IMPUESTOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.+UT.)				3,09%	10,564
TOTAL PRECIO UNITARIO					352,432
PRECIO UNITARIO DEL ITEM (Bs)					352,43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.31: Precio unitario ítem acero de construcción en juntas del pavimento de hormigón

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM: ACERO ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO RIGIDO (kg)					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PROD	SUBTOTAL
MATERIALES					
1	Fierro liso 1/2"	Kg	0,799	6,01	4,80
2	Fierro liso 5/8"	Kg	1,894	14,9	28,22
3	Fierro liso 3/4"	Kg	3,699	23,74	87,81
4					
5					
6					
7					
8					
TOTAL MATERIALES =					120,84
MANO DE OBRA					
1	Capataz	Hr.	0,400	23,75	9,500
2	Albañil	Hr.	1,200	21,00	25,200
3	Peon	Hr.	1,200	13,25	15,900
4					
5					
6					
SUBTOTAL MANO DE OBRA =					50,600
CARGAS SOCIALES (C.S.) = (% DEL SUBTOTAL M.O.)				55% - 71,18%	27,830
IVA M.O. = (% SUBM.O.+C.S.)				14,94%	11,717
TOTAL DE MANO DE OBRA =					90,147
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
SUBTOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA =					0,000
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE M.O.)				6%	5,409
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					5,409
GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.)				10%	21,639
UTILIDAD					
UTILIDAD = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.)				8%	19,043
IMPUESTOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.+UT.)				3,09%	7,944
TOTAL PRECIO UNITARIO					265,019
PRECIO UNITARIO DEL ITEM (Bs)					265,02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.32: Precio unitario ítem pavimento de hormigón de cemento portland

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM: PAVIMENTO DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND (m³)					
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PROD	SUBTOTAL
MATERIALES					
1	Arena clasificada	m3	0,47	120,00	56,40
2	Cemento portland	kg	360,00	1,20	432,00
3	Grava clasificada	m3	0,67	120,00	80,40
4	Material de sello de juntas	m3	1,40	3,43	4,80
5					
6					
7					
8					
9					
TOTAL MATERIALES =					573,602
MANO DE OBRA					
1	Ayudante Operador	Hr.	0,3	11,97	3,591
2	Capataz	Hr.	0,05	25,50	1,275
3	Chofer Camion Mixer	Hr.	0,14	16,45	2,303
4	Operador de equipo pesado	Hr.	0,1	21,00	2,100
5	Operador de equipo liviano	Hr.	0,4	16,45	6,580
6	Peon	Hr.	0,6	9,66	5,796
SUBTOTAL MANO DE OBRA =					21,645
CARGAS SOCIALES (C.S.) = (% DEL SUBTOTAL M.O.)				55% - 71,18%	11,905
IVA M.O. = (% SUBM.O.+C.S.)				14,94%	5,012
TOTAL DE MANO DE OBRA =					38,562
EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
1	Camion Mixer	Hr.	0,02	97,12	1,942
2	Compactadore de concreto	Hr.	0,006	21,23	0,127
3	Reglas vibradoras	Hr.	0,013	9,20	0,120
4	Vibrador de hormigon	Hr.	0,05	16,86	0,843
5	Terminadora de asfalto	Hr.	0,035	120,71	4,225
6					
SUBTOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA =					7,257
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE M.O.)				6%	2,314
TOTLA EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					9,571
GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.)				10%	62,174
UTILIDAD					
UTILIDAD = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.)				8%	54,713
IMPUESTOS					
GASTOS GENERALES = %(MAT+M.O.+EQ.Y HE.+G.G.+UT.)				3,09%	22,823
TOTAL PRECIO UNITARIO					761,445
PRECIO UNITARIO DEL ITEM (Bs)					761,44

Fuente: Elaboración propia

4.13. Comparación de precios unitarios de espesor de losa en los tramos de estudio

Para determinar el costo parcial este se determina de la siguiente manera:

$$\text{Costo parcial} = \text{Espesor de losa} \times \text{Precio Unitario (P.U.)}$$

Tráfico bajo “Tarijeños en Progreso”

Precio Unitario (m³) de pavimento rígido = 761,440 bs (bs/m³)

Tabla 4.33: Costo parcial de pavimento rígido “Tarijeños en Progreso”

	AASHTO 93	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,137	761,440	104,700
	PCA	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,125	761,440	95,180
	Mecanicista	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,200	761,440	152,290

Fuente: Elaboración propia

Tráfico medio “El Trigal”

Precio Unitario (m³) de pavimento rígido = 761,440 bs

Tabla 4.34: Costo parcial de pavimento rígido “El Trigal”

	AASHTO 93	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,165	761,440	125,640
	PCA	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,150	761,440	114,220
	Mecanicista	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,210	761,440	159,902

Fuente: Elaboración propia

Tráfico alto “Aranjuez Norte”

Precio Unitario (m³) de pavimento rígido = 761,440 bs

Tabla 4.35: Costo parcial de pavimento rígido “Aranjuez Norte”

	AASHTO 93	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,187	761,440	142,770
	PCA	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,175	761,440	133,250
	Mecanicista	P.U	Costo Parcial (bs/m ³)
Espesor de losa (m ³)	0,230	761,440	175,131

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.36: Cuadro comparativo de precios unitarios del espesor de losa según metodologías propuestas en el proyecto en cada tramo de estudio

	Tarijeños en Progreso		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
Precio Unitario de losa de hormigón (bs/m ³)	104,700	95,180	152,290
	El Trigal		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
Precio Unitario de losa de hormigón (bs/m ³)	125,640	114,220	159,902
	Aranjuez Norte		
	AASHTO 93	PCA	Mecanicista
Precio Unitario de losa de hormigón (bs/m ³)	142,770	133,250	175,131

Fuente: Elaboración propia

4.13.1. Diferencia de costos parciales entre metodologías propuestas

$$\Delta \text{Costo parcial (C.P.)} = \text{Método 1} - \text{Método 2}$$

Tráfico bajo “Tarijeños en Progreso”

$$\Delta \text{C.P.} = \text{AASHTO 93} - \text{PCA} = 104,70 - 95,18 = 9,52 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{PCA} = 152,29 - 95,18 = 57,11 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{AASHTO 93} = 152,29 - 104,70 = 47,59 \text{ bs/m}^3$$

Tráfico Medio “El Trigal”

$$\Delta \text{C.P.} = \text{AASHTO 93} - \text{PCA} = 125,64 - 114,22 = 11,42 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{PCA} = 159,90 - 114,22 = 45,68 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{AASHTO 93} = 159,90 - 125,64 = 34,26 \text{ bs/m}^3$$

Tráfico Alto “Aranjuez Norte”

$$\Delta \text{C.P.} = \text{AASHTO 93} - \text{PCA} = 142,77 - 133,25 = 9,52 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{PCA} = 175,13 - 133,25 = 41,88 \text{ bs/m}^3$$

$$\Delta \text{C.P.} = \text{Mecanicista} - \text{AASHTO 93} = 175,13 - 142,77 = 32,36 \text{ bs/m}^3$$

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El análisis de resultados proporciona como conclusión que la calidad del material de la subrasante define espesores del pavimento, donde la relación material de subrasante y espesor de las capas es la siguiente:

Menor calidad de subrasante → mayores espesores de las capas superiores

Mayor calidad de subrasante → menores espesores de las capas superiores

- La Metodología PCA garantiza un análisis más específico y conveniente para espesor de losa de pavimento cumpliendo con los parámetros de fatiga y erosión, es decir que en el análisis de fatiga los esfuerzos se mantienen dentro de los límites de seguridad y en cuanto a la erosión el deterioro producido por este factor limita la deflexión de pavimento en los bordes de las losas

- El análisis de fatiga que se efectúa por la metodología de la PCA, controla los diseños de pavimentos para bajo tránsito, independientemente del tipo de transferencia de carga en las juntas transversales

- La clasificación de suelos en los 3 tramos es la siguientes:

→ Barrio “Aranjuez Norte”, predomina en el suelo de subrasante los limos de baja plasticidad (ML)

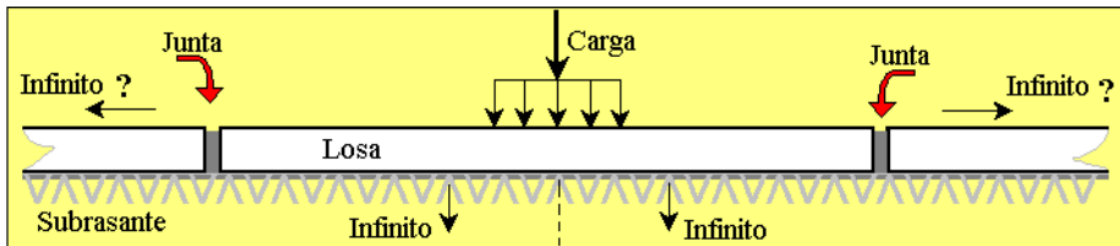
→ Barrio “El Trigo” y “Tarijeños en Progreso” predominan suelos arcillosos de baja plasticidad (CL) en la subrasante

- El diseño planteado por la metodología de la AASHTO plantea estructuras con espesores mayores a los contemplados por la PCA, esto debido a que la AASHTO, tiene variables más sensibles en cuanto al diseño de la estructura de pavimento. La PCA contempla criterios de erosión ocasionado por problemas de bombeo

- En el método mecanicista la losa actúa como un sólido homogéneo, isotrópico y elástico en equilibrio, no existen fuerzas friccionales o de corte

- Las cargas en el método mecanicista se aplican sobre un área circular

- la teoría elástica de capas en análisis de los pavimentos rígidos no son considerados debido a que en las juntas existen discontinuidades lo que hace que sea inaplicable esta teoría



- En el método mecanicista la deformación por corte es despreciable
- Los espesores obtenidos por el método mecanicista son mayores al método AASHTO y PCA esto debido a que este método considera los esfuerzos a tracción en la losa siendo más conservador en su diseño debido a la rigidez relativa actuante, a la carga por rueda, combinación de materiales con cemento y principalmente a los esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
- Se determinó el tipo de tráfico en cada tramo seleccionado y que se observara a continuación en la siguiente tabla:

	TPD	Tráfico
Barrio Aranjuez Norte Av. San Antonio	5359	Alto
Barrio El Trigal Av. La Paz	3292	Medio
Barrio Tarijeños en Progreso Av. Gran Chaco	1109	Bajo

- La diferencia de espesores de pavimento rígido de metodologías PCA y AASHTO 93 varía 1,25 cm de tráfico bajo, medio y alto, teniendo en cuenta que los espesores son mayores en el método AASHTO 93
- La diferencia de espesores de pavimento rígido en el AASHTO 93 del tráfico bajo a medio y alto es de 2,50 cm
- La diferencia de espesor de pavimento rígido en el método PCA varía de 2,50 cm de tráfico bajo, medio y alto
- La diferencia de espesor de pavimento rígido en el método mecanicista varia de tráfico bajo a medio es de 1,25 cm y de tráfico medio a alto es de 0,75 cm

- La diferencia de costos parciales en el tramo de “Tarijeños en Progreso” de tráfico bajo entre metodologías AASHTO 93 y PCA es de 9,52 bs/m³, mecanicista y PCA es de 57,11 bs/m³, Mecanicista y AASHTO 93 es de 47,59 bs/m³
- La diferencia de costos parciales de tráfico medio en el tramo “El Trigal” de metodologías AASHTO 93 y PCA es de 11,42 bs, mecanicista y PCA es de 45,68 bs/m³, Mecanicista y AASHTO 93 es de 34,26 bs/m³
- La diferencia de costos parciales en el tramo “Aranjuez Norte” de tráfico alto entre metodologías AASHTO 93 y PCA es de 9,52 bs/m³, mecanicista y PCA es de 41,88 bs/m³, Mecanicista y AASHTO 93 es de 32,36 bs/m³
- Los esfuerzos en diferentes localizaciones en la losa son inferiores al módulo de rotura del hormigón, es decir los esfuerzos en diferentes puntos de la losa son absorbidas por el espesor de hormigón en el método mecanicista considerando una de las más críticas el esfuerzo en la esquina de la losa, no afectan a la capa subbase, ni a la subrasante
- En el método PCA se llega a la conclusión de que si el esfuerzo/módulo de ruptura del hormigón es menor a 0,45 sus valores de cargas permisibles serán ilimitadas y que sin valores cercanos de 1,4 – 1,5 las cargas permisibles serán también indeterminadas
- Los resultados obtenidos de los análisis desarrollados en la presente investigación, consideran que no es posible sugerir la implementación de un método particular de diseño, para determinadas condiciones de sitio o solicitaciones de carga; por lo anterior, se deja a criterio del proyectista la elección del método a utilizar. Es importante destacar que la metodología AASHTO 93, posee una base empírica y la metodología de la PCA, una base mecanicista- empírica y que el método mecanicista se enfoca solamente en los esfuerzos que pueden generar las cargas de tránsito en la losa de hormigón
- En la determinación del espesor de losa de hormigón utilizando el método PCA predomina el criterio de fatiga para pavimentos con volúmenes bajos de tráfico y para pavimentos con volúmenes altos predomina el criterio de erosión
- En el método de diseño AASHTO 93, el aporte o efecto de vehículos livianos para la determinación del espesor de losa de hormigón es poco incidente; es importante señalar que en el método PCA, recomienda no considerar dicho tráfico ya que la incidencia es nula

- El método de diseño que propone la PCA presenta limitantes respecto al método AASHTO 93. Lo anterior, en vista de que no considera variables importantes que impactan en el desempeño de la estructura de pavimento, tales como el drenaje y la serviciabilidad
- Los materiales utilizados en la metodologías AASHTO 93 y PCA para la conformación de capa estructural del pavimento son la subrasante, subbase granular y losa de hormigón, a diferencia del método mecanicista que utiliza la combinación del material grava- cemento, como parte de su carpeta estructural de pavimento rígido para satisfacer las necesidades de tránsito del tramo de estudio

5.2. Recomendaciones

- Se debe tener mucho cuidado en el aforo de los vehículos que transitan por las vías, ya que de ello depende el cálculo del ESAL 's en cada tramo y que afecta en el diseño del pavimento rígido y el cálculo de los ejes equivalentes según metodología propuesta
- Se debe adoptar espesores adecuados y constructivos para el dimensionamiento del pavimento rígido
- Se recomienda utilizar módulos de ruptura mayores para generar esfuerzos equivalentes bajos, que nos permitan diseñar espesores mínimos
- Se recomienda extraer muestras con el mayor cuidado posible de no alterar las propiedades físicas del suelo, al momento de realizar la calicata ya que de ello dependerá los resultados del CBR y clasificación de la subrasante
- Se recomienda realizar los ensayos de caracterización de los materiales con mucho cuidado y atención para obtener resultados coherentes y excepcionales
- Los CBR obtenidos de cada tramo son regulares según clasificación de suelos AASHTO por los que se recomienda establecer algún tipo de estabilización de suelos para así elevar la capacidad de soporte del suelo para obtener menor espesor de pavimento rígido y se puede observar en la siguiente tabla:

Tramo	CBR 100%	CBR 95%	Clasificación de Subrasante
"Aranjuez Norte"	9,788	9,415	Regular
"El Trigo"	7,061	6,869	Regular
"Tarijeños en Progreso"	6,967	6,806	Regular

