

**UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

---

**“EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA ENTRE EL  
PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO, PARA MEJORAR LA  
TRANSITABILIDAD EN EL TRAMO DE LA CARRETERA  
UNGUYMARAN - LAS PAMPAS - TOMAYQUICHUA – AMBO”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**TESISTA:**

**FABIAN NOE TRUJILLO CAMPO**

**ASESOR:**

**Ing. JORGE ZEVALLOS HUARANGA**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2018**

## **Dedicatoria**

A mi querida familia por el apoyo económico y moral para poder continuar con mis estudios y seguir adelante y poder lograr y conseguir mis objetivos, que me he trazado como proyecto de vida a nivel personal.

Trujillo Campó, Fabian Noe

## RESUMEN

En esta investigación se trata de ver como el transporte terrestre en el Perú es tema de interés general debido que es usado por todos, de una u otra manera, es por ello que nos situamos en la población afectada que atraviesa una serie de dificultades debido a la deficiente transitabilidad de la vía, la misma que se ve interrumpida permanentemente, dejando aislados a los centros poblados para poder realizar sus actividades normales de producción, educación y asistencia médica. Por otro lado, el tiempo de traslado es mayor a lo normal y los gastos operativos de los transportistas son elevados esto debido a la dificultad para operar normalmente las unidades de transporte por el riesgo que supone una carretera en mal estado; no solamente para el transportista, sino también para los pobladores en un determinado momento, donde se los diferente métodos y diseños del pavimento (MTC, AASHTO93 y PCA) nos ayudara a mejorar la transitabilidad y el confort a la población

**PALABRAS CLAVE:** confort, transitabilidad, MTC, AASHTO 93 y PCA.

## **SUMMARY**

This research is about duty as land transport in Peru is a subject of general interest because it is used by everybody, in one way or another, that is because we are the affected population that goes through a series of difficulties due to the poor road transitivity, which is interrupted permanently, leaving isolated population centers to perform their normal activities of production, education and medical assistance. On the other hand, the transfer time is higher than normal and the operating expenses of the carriers are high due to the difficulty to operate the transport units normally due to the risk of a road in poor condition; not only for the driver, but also for the residents at a certain moment, where the different methods and designs of the pavement (MTC, AASHTO93 and PCA) will help us improve the passability and comfort for the population

**KEY WORDS:** comfort, passableness, MTC, AASHTO 93 and PCA

## ÍNDICE

RESUMEN .....	III
SUMMARY .....	IV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.    FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA: .....	3
1.2.    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	4
1.2.1.    Problema general: .....	4
1.2.2.    Problemas específicos: .....	4
1.3.    OBJETIVOS.....	5
1.3.1.    Objetivo general: .....	5
1.3.2.    Objetivos específicos: .....	5
1.4.    JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA: .....	5
1.5.    LIMITACIONES:.....	6
CAPITULO II:MARCO TEÓRICO .....	7
2.1.    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN: .....	8
2.2.    BASES TEÓRICAS: .....	9
2.2.1.    Metodología de Pavimento Rígido AASHTO 93 .....	9
2.2.1.1.    Tipos de pavimento de concreto .....	11
2.2.1.2.    Juntas: .....	15
2.2.1.3.    Sellos .....	18
2.2.1.4.    Factores de diseño:.....	20
2.2.1.5.    Variables de diseño:.....	22
2.2.1.6.    Criterios de comportamiento: .....	26
2.2.1.7.    Propiedades de los materiales: .....	29
2.2.1.8.    Características estructurales: .....	30
2.2.2.    La metodología del Portland Cement Association (PCA).....	35
2.2.2.1.    Resistencia del Hormigón a la Flexión .....	36
2.2.2.2.    Soporte de la Subrasante y Subbase: .....	38

2.2.2.3.	Periodo de Diseño:.....	41
2.2.2.4.	Tráfico: .....	42
2.2.2.5.	Proyección: .....	42
2.2.2.6.	Capacidad:.....	45
2.2.2.7.	Distribución Direccional de Camiones: .....	48
2.2.2.8.	Distribución de Cargas por Eje: .....	48
2.2.2.9.	Factores de Seguridad de Carga .....	50
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		52
3.1.	HIPÓTESIS:.....	53
3.2.	TIPO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN:.....	53
3.3.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN:.....	54
3.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: .....	54
3.5.	SISTEMA DE VARIABLES:.....	55
3.6.	OPERACIÓN DE VARIABLES .....	55
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO EN EL TRAMO DE CARRETERA UGUYMARAN – TOMAYQUICHUA - AMBO .....		56
4.1	ESTUDIOS BÁSICOS: .....	57
4.2	ESTUDIO DE TRÁFICO:.....	58
4.3	ESTUDIO DE SUELOS.....	59
4.4	DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO DEL MTC .....	60
4.5	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE CON LA METODOLOGÍA DE AASHTO 1993 .....	72
4.6	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO MTC .....	81
4.7	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO AASHTO 93.....	88
4.8	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PCA.....	91
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		98
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		101

ANEXO I: ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS.....	103
ANEXO II: PLANOS TOPOGRÁFICOS.....	104
ANEXO III: PANEL FOTOGRAFICO .....	105

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1: PERIODO DE ANÁLISIS .....	23
CUADRO N° 2: VALORES PARA LA DESVIACIÓN STANDAR .....	25
CUADRO N° 3: NIVELES DE CONFIABILIDAD.....	26
CUADRO N° 4: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL .....	28
CUADRO N° 5: VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE (CD) PARA EL DISEÑO .....	32
CUADRO N° 6: COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J) .....	34
CUADRO N° 7: VALORES DE LS.....	35
CUADRO N° 8: EFECTO DE LA SUBBASE NO TRATADA SOBRE LOS VALORES K .....	39
CUADRO N° 9: VALORES K DE DISEÑO PARA SUBBASES TRATADAS CON CEMENTO .....	39
CUADRO N° 10: TASAS ANUALES DE CRECIMIENTO DE TRÁFICO Y FACTORES DE PROYECCIÓN CORRESPONDIENTE.....	44
CUADRO N° 11: PORCENTAJES DE UNIDADES SIMPLES DE CUATRO RUEDAS Y CAMIONES (ADTT) EN VARIOS SISTEMAS DE CARRETERA.	48
CUADRO N° 12: DATOS DE CARGA POR EJE.....	50
CUADRO N° 13: OPERACIÓN DE VARIABLES.....	55
CUADRO N° 14. ESTUDIO DE TRÁFICO, IMD.....	58
CUADRO N° 15: RESUMEN DE LOS ESTUDIOS DE SUELO .....	60
CUADRO N° 16: RESUMEN DE CBR .....	60
CUADRO N° 17: TIPO DE TRÁFICO PESADO DE ACUERDO A LOS EJES EQUIVALENTES .....	61
CUADRO N° 18: CATEGORÍA DE LA SUBRASANTE.....	62
CUADRO N° 19: VALORES DE NIVEL DE CONFIABILIDAD.....	63
CUADRO N° 20: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR .....	64
CUADRO N° 21: VALORES DE SERVICIABILIDAD INICIAL .....	65
CUADRO N° 22: SERVICIABILIDAD FINAL .....	66
CUADRO N° 23: VARIACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD.....	67
CUADRO N° 24: NUMERO ESTRUCTURAL DEL MTC .....	68



CUADRO N° 25: VALOR DE COEFICIENTE DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO	69
CUADRO N° 26: VALORES DEL TIEMPO DE DRENAJE .....	70
CUADRO N° 27: VALORES DEL DRENAJE PARA BASE Y SUB BASE .....	70
CUADRO N° 28: ESPESORES MÍNIMOS DE LA CAPA ASFÁLTICA Y DE LA BASE.....	71
CUADRO N° 29: NIVEL DE CONFIABILIDAD .....	73
CUADRO N° 30: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL.....	73
CUADRO N° 31: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR (SO).....	73
CUADRO N° 32: VALORES DE TIEMPO DE DRENAJE DE LA BASE Y SUB BASE.....	77
CUADRO N° 33: COEFICIENTE DE DRENAJE DE LA BASE Y SUB BASE.....	77
CUADRO N° 34: VALORES DE ESPESORES MÍNIMOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA Y DE LA BASE.....	79
CUADRO N° 35: PRESUPUESTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	80
CUADRO N° 36: TIPO DE TRÁFICO PESADO .....	81
CUADRO N° 37: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD .....	82
CUADRO N° 38: CONFIABILIDAD .....	83
CUADRO N° 39: CORRELACIÓN DE CBR .....	84
CUADRO N° 40: VALORES DE RESISTENCIA DEL CONCRETO .....	84
CUADRO N° 41: CONDICIÓN DEL DRENAJE .....	85
CUADRO N° 42: COEFICIENTE DE DRENAJE .....	85
CUADRO N° 43: TRANSMISIÓN DE CARGA.....	85
CUADRO N° 44: CUADRO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO .....	86
CUADRO N° 45: JUNTAS RECOMENDADAS.....	87
CUADRO N° 46: VALORES DE K, PARA SUBBASE NO TRATADAS .....	91
CUADRO N° 47: ESFUERZO EQUIVALENTE (EJE SIMPLE / EJE TÁNDEM) ...	93
CUADRO N° 48: FACTOR DE EROSIÓN – JUNTAS CON DOWELS (EJE SIMPLE / EJE TÁNDEM).....	94
CUADRO N° 49: CÁLCULO DE DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO CON EL MÉTODO DEL PCA .....	95
CUADRO N° 50: PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	98

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	68
GRÁFICO N° 2: COEFICIENTE ESTRUCTURAL DEL ASFALTO.....	74
GRÁFICO N° 3: COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA BASE .....	75
GRÁFICO N° 4: COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA SUB BASE .....	76
GRÁFICO N° 5: NOMOGRAMA DE PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO .....	78
GRÁFICO N° 6: ESPESOR DEL PAVIMENTO .....	86
GRÁFICO N° 7: NOMOGRAMA DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	89
GRÁFICO N° 8: CORRELACIÓN DE CBR Y MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE. ....	91
GRÁFICO N° 9: PROPORCIÓN DE CAMIONES EN EL CARRIL DERECHO .....	92
GRÁFICO N° 10: ANÁLISIS POR FATIGA .....	96
GRÁFICO N° 11: ANÁLISIS POR EROSIÓN .....	97

## ÍNDICE DE FIGURA

FIGURA N° 1: ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS.....	10
FIGURA N° 2: PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLE SIN PASADORES.....	13
FIGURA N° 3: PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLE CON PASADORES.....	14
FIGURA N° 4: PAVIMENTO DE CONCRETO REFORZADO .....	14
FIGURA N° 5: PAVIMENTO CON REFUERZO CONTINUO.....	15
FIGURA N° 6: TIPOS DE JUNTAS DE CONTRACCIÓN .....	16
FIGURA N° 7: TIPOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN .....	17
FIGURA N° 8: TIPOS DE JUNTAS DE EXPANSIÓN.....	17
FIGURA N° 9: TIPOS DE SELLADORES .....	20
FIGURA N° 10: TRANSFERENCIA DE CARGA .....	33
FIGURA N° 11: RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA LA FLEXIÓN Y LA EDAD DE DISEÑO.....	38
FIGURA N° 12: PROPORCIONES DE CAMIONES EN EL CARRIL DERECHO DE UNA CARRETERA DIVIDIDA EN CARRILES MÚLTIPLES. ....	47
FIGURA N° 13: AREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	57
FIGURA N° 14. AREA DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN .....	58
FIGURA N° 15: ILUSTRACIÓN DEL CONTEO DE TRÁFICO .....	59
FIGURA N° 16: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – MÉTODO MTC	72
FIGURA N° 17: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – MÉTODO AASHTO 93.....	79
FIGURA N° 18: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO – MÉTODO MTC ....	88
FIGURA N° 19: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – MÉTODO AASHTO 93.....	90
FIGURA N° 20: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE – MÉTODO PCA.	97

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo determinar la evaluación técnica – económica entre el pavimento flexible y rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo debido que estos centros poblados necesita mejorar su calidad de vida y uno de los factores es que intervienen en este proceso es la transitabilidad.

Para que sea adecuado el traslado de los productos agrícolas a la capital se necesita contar con una vía de acceso para el mercadeo, ya que los pobladores se caracterizan principalmente por ser agricultores, contando con áreas de extensos terrenos aptos para la siembra, en la actualidad por carecer de un inadecuado sistema de transporte se limitan a utilizar sus áreas de cultivos.

Las fuentes bibliográficas provienen de áreas donde se poseen características similares para la ejecución de vías con concreto para los efectos de ordenar y organizar la gestión de en el cual interviene el tema técnico, para ello se han definido tareas o actividades destinadas a resolver o prevenir un problema especial de deterioro; cada una de esas tareas tiene un carácter específico y es fácilmente individualizable; de esta manera la bibliografía fue contrastada con la situación actual que pasa los poblados ya mencionados en el título.

Esta investigación presenta tres capítulos; el primero explica la consignan de los antecedentes, la investigación bibliográfica en las referencias; del mismo modo que la hipótesis, las variables, los indicadores, los objetivos; la población y la muestra; el segundo expone lo métodos que se ha usado del mismo modo que las técnicas y los instrumentos empleados; el tercer capítulo está basado en la obtención de resultados mediante los cuadros y aplicaciones y las interpretaciones que se realizara; por otro lado también está el área de conclusiones, sugerencias, bibliografía, anexos y la nota biográfica.

**CAPITULO I**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.1. Fundamentación del problema:**

La problemática del transporte terrestre en el Perú es tema de interés general para todos los usuarios. Esto es debido a que, además de la debilidad institucional, la carencia de infraestructura, deficiencia en innovación tecnológica, y en la protección del medio ambiente, también interviene en las amenazas potenciales a la calidad de vida e integridad de las personas.

Actualmente la población afectada atraviesa una serie de dificultades debido a la deficiente transitabilidad en la vía, la misma que se ve interrumpida permanentemente, dejando aislados a los centros poblados para poder realizar sus actividades normales de producción, educación y asistencia médica. Por otro lado, el tiempo de traslado es mucho mayor a lo normal y los gastos operativos de los transportistas son elevados debido a la dificultad para operar normalmente sus unidades de transporte y el riesgo que supone una carretera en mal estado; no solamente para el transportista, sino también para los pobladores y la carga que se transporta. A consecuencia de ello los pasajes y fletes son muy altos respecto a la capacidad de gasto de los pobladores.

Frente a esta problemática, el turismo y los niveles de comercialización disminuyen notablemente y propicia la aparición de un número significativo de intermediarios, perjudicando a los productores de la zona, quienes obtienen precios muy bajos por la venta de sus productos agropecuarios, lo que lleva directamente a una disminución drástica de los ingresos de los productores; resultando de esta manera, no ser atractiva la inversión en la producción agropecuaria, a pesar de contar con terrenos aptos para la agricultura y ganadería.

Como consecuencia de esta situación, el desarrollo socio económico de la población se ve postergado por no poder aprovechar adecuadamente las potencialidades de la zona, lo que trae consigo el deterioro de la calidad de vida de la población en general.

## **1.2. Formulación del problema.**

### **1.2.1. Problema general:**

¿En qué medida beneficia la evaluación técnica – económica entre el pavimento flexible y rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo?

### **1.2.2. Problemas específicos:**

- ¿Cuál es la evaluación técnica del pavimento flexible, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo?
- ¿Cuál es la evaluación económica del pavimento flexible, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo?
- ¿Cuál es la evaluación técnica del pavimento rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo?
- ¿Cuál es la evaluación económica del pavimento rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo?

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

Determinar la evaluación técnica – económica entre el pavimento flexible y rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Determinar la evaluación técnica del pavimento flexible, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Determinar la evaluación económica del pavimento flexible, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Determinar la evaluación técnica del pavimento rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Determinar la evaluación económica del pavimento rígido, para mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.

### **1.4. Justificación e importancia:**

Los pobladores de los centros poblados necesita mejorar su calidad de vida y la transitabilidad para que sea adecuado el traslado de sus productos a la capital, los pobladores se caracterizan principalmente por ser agricultores, contando con áreas de terreno aptos para el cultivo agrícola, que en la actualidad por carecer de un adecuado sistema de transporte de producto, se limitan a utilizar sus áreas de cultivos.

En la actualidad existen un aproximado de 245 hectáreas de terreno en los centros poblados de las cuales aproximadamente 215



hectáreas son aptos para el cultivo agrícola, y 30 hectáreas son tierras que se considera no aptas para el cultivo agrícola por ser tierras eriazas y con mucho pendiente. De las 215 hectáreas de tierras aptas para el cultivo agrícola, solo 44 hectáreas son aprovechadas en la actualidad esto a consecuencia del difícil traslado de sus productos hasta la localidad de dos aguas en donde existe un terminal terrestre, los pobladores trasladan sus productos principalmente en épocas de invierno por intermedio de acémilas (animales de carga), quienes pagan por 70 kilos de carga entre s/ 2.5 ha s/ 3.5, lo cual depende de la distancia; este sistema de transporte afecta directamente a la economía de los productores, por lo que desmotiva el poder incrementar sus áreas de cultivo.

#### **1.5. Limitaciones:**

- La investigación se desarrollara solo en pavimentos rígidos en la zona urbana del distrito de Huánuco aplicando el reglamento por la Norma Técnica de Edificaciones (NTE) CE.010 Pavimentos Urbanos del 2010.
- Solo se va usar los dos métodos de diseño el AASHTO 93 y el PCA para proponer una nueva estructura del pavimento rígido

**CAPITULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Antecedentes de la investigación:

**Gutiérrez Montes, C.(2014)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Título Profesional de Ingeniería Civil, que tuvo como objetivo general determinar que el cloruro de magnesio es la opción que ofrece mayores ventajas técnicas, económicas y ambientales frente al cloruro de calcio y consecuentemente frente a los demás aditivos (sales) con los cuales suele compararse, lo cual concluye que los grandes Salares los cuales se producen Cloruro de Calcio ubicados en Huacho y Lima se pueden estabilizar a un bajo costo las Carreteras de BVT de la Costa Norte, Centro y Sur del Perú.

**Becerra García, J. (2013)**, publica una Tesis de Investigación para el Grado de Magister en Ingeniería Vial, que tuvo como objetivo general, alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad de la red vial nacional a través de la ejecución permanente de actividades de mantenimiento rutinario, reparaciones menores, relevamiento de información y atención de emergencias viales, mediante la contratación de servicios de conservación vial por niveles de servicio con plazos a cinco años, lo cual concluye que Utilizando equipo pesado, tal como cargadores frontales, retroexcavadoras, tractores sobre orugas o neumáticos, en buenas condiciones operativas, es posible controlar el arenamiento de una carretera con continuidad en el trabajo, pero a un alto costo operativo.

**Becerra Salas, M. (2013)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Maestría en Ingeniería Vial, que tuvo como objetivo es calcular el mínimo espesor de un pavimento de concreto para que éste pueda soportar el paso de las cargas de tránsito manteniendo un cierto nivel de servicio para el periodo de diseño, lo cual concluye que Ambas alternativas de pavimentación presentan buenos

resultados, sin embargo, la brecha de conocimientos y tecnológica hace que no se aprovechen las ventajas de los pavimentos rígidos.

**Choque Sánchez, H. (2012)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Título Profesional de Ingeniería Civil, que tuvo como objetivo general la estabilización de suelos tiene por objeto procurar por diversos medios la estabilidad de ellos para cualquier condición de tiempo y de servicio, lo cual concluye con El costo de la recurrencia, en el sector sin aditivo, en la intervención cuando el deterioro superficial llega a un IRI de 8 (necesidad de intervención cuando necesita mantenimiento), es mucho menor en el tiempo con respecto a los sectores tratados. El tiempo de recurrencia es mayor en el sector sin aditivo.

**Burgos Estrada, N. (2008)**, publica una Tesis de Investigación en el Grado de Título profesional de Ingeniero Civil, que tuvo como objetivo Evaluar el comportamiento de distintos tipos de pavimentos flexibles y rígidos en los tramos experimentales construidos en el sector Polpaico – La Trampilla de la Ruta 5 Norte, lo cual concluye que Se pudo estimar, para el caso de los pavimentos asfálticos, que el número de ejes equivalentes acumulados hasta la fecha es de 15.600.000 aproximadamente, valor inferior al número de EE proyectado para 12 años de servicio (20 millones de EE).

## **2.2. Bases teóricas:**

### **2.2.1. Metodología de Pavimento Rígido AASHTO 93**

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente

sobre una base o subbase. 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 subrasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencias mayores tensiones en la subrasante, como se puede apreciar en la figura N° 1.

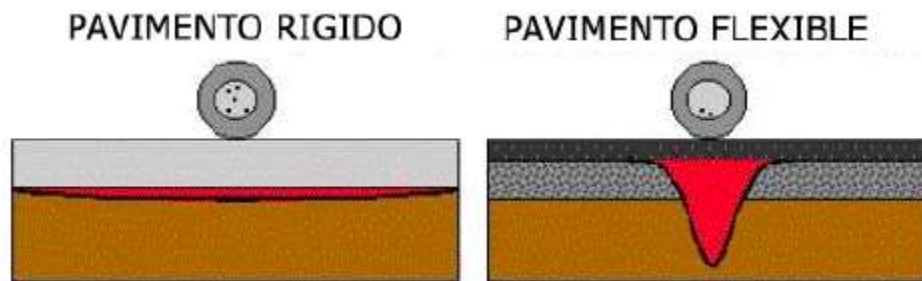


Figura N° 1: Esquema del comportamiento de pavimentos

Fuente: AASHTO 93

### **Esquema del comportamiento de pavimentos**

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

#### **a) Subrasante**

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

## **b) Subbase**

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

## **c) Losa**

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

### **2.2.1.1. Tipos de pavimento de concreto**

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

- Pavimentos de concreto simple.

- Sin pasadores.
- Con pasadores.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

#### **a) Pavimentos de concreto simple**

##### **a.1) Sin pasadores:**

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

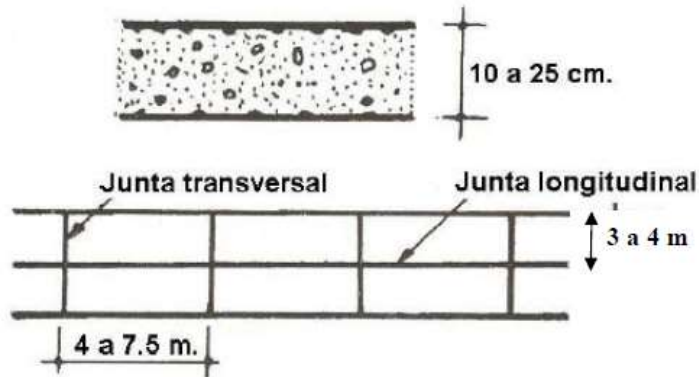


Figura N° 2: Pavimento de concreto simple sin pasadores

Fuente: AASHTO 93

### a.2) Con pasadores:

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

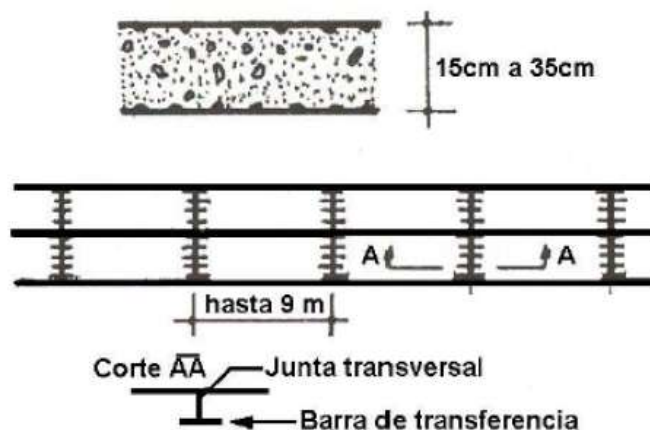




Figura N° 3: Pavimento de concreto simple con pasadores

Fuente: AASHTO 93

**b) Pavimentos de concreto reforzado con juntas:**

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

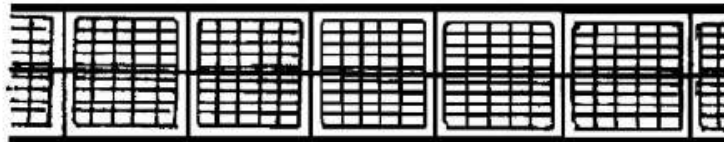
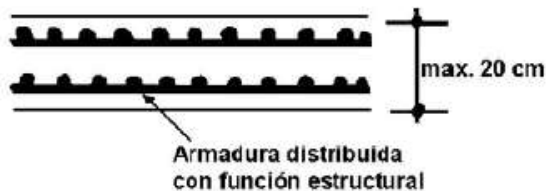


Figura N° 4: Pavimento de concreto reforzado

Fuente: AASHTO 93

**c) Pavimentos de concreto con refuerzo continuo:**

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

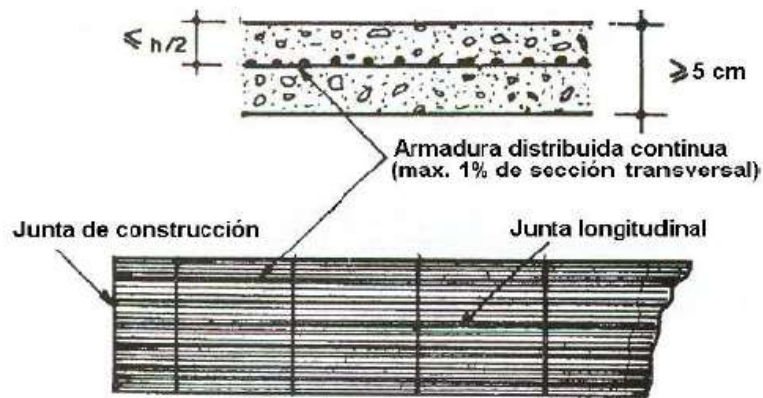


Figura N° 5: Pavimento con refuerzo continuo

Fuente: AASHTO 93

### 2.2.1.2. Juntas:

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. Según la forma, se les denomina, rectas, machimbradas y acanaladas.

### Juntas de contracción:

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

En la figura N° 6, se observan los diferentes tipos de juntas de contracción

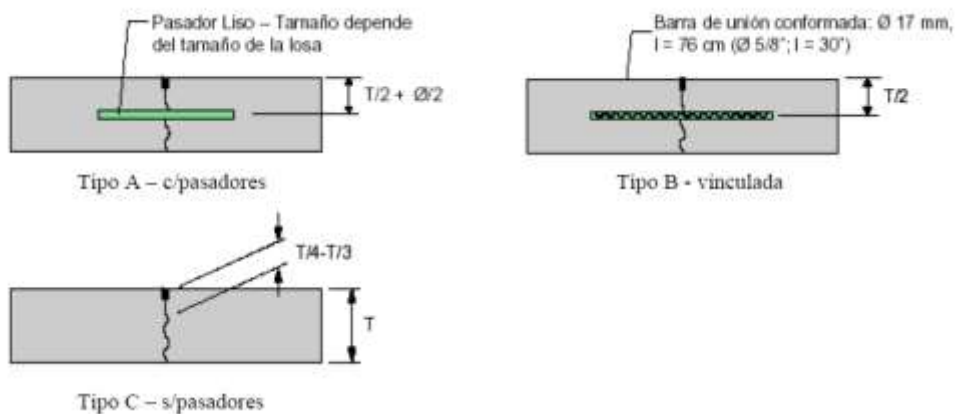


Figura N° 6: Tipos de juntas de contracción

Fuente: AASHTO 93

### Juntas de construcción:

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales. En la figura N° 7, se observan los diferentes tipos de juntas de construcción.

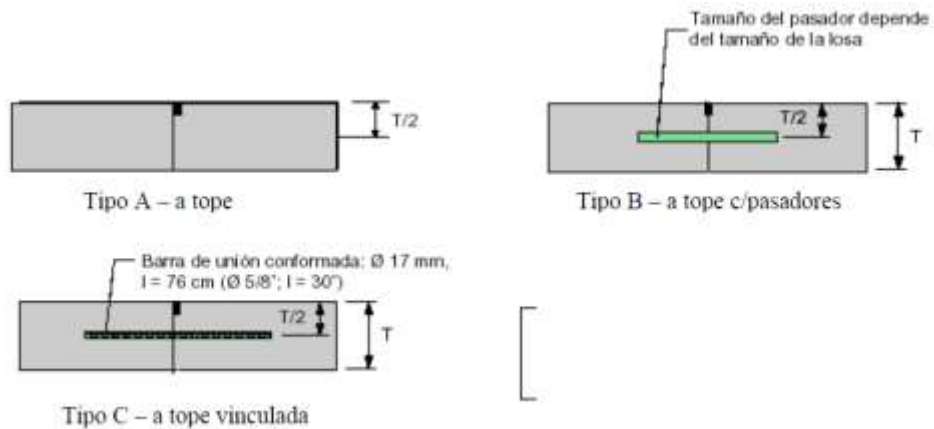


Figura N° 7: Tipos de juntas de construcción

Fuente: AASHTO 93

### Juntas de expansión o aislación:

Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura.

También se utilizan para aislar estructuras existentes. En la figura N° 8, se muestran los diferentes tipos de juntas de expansión.

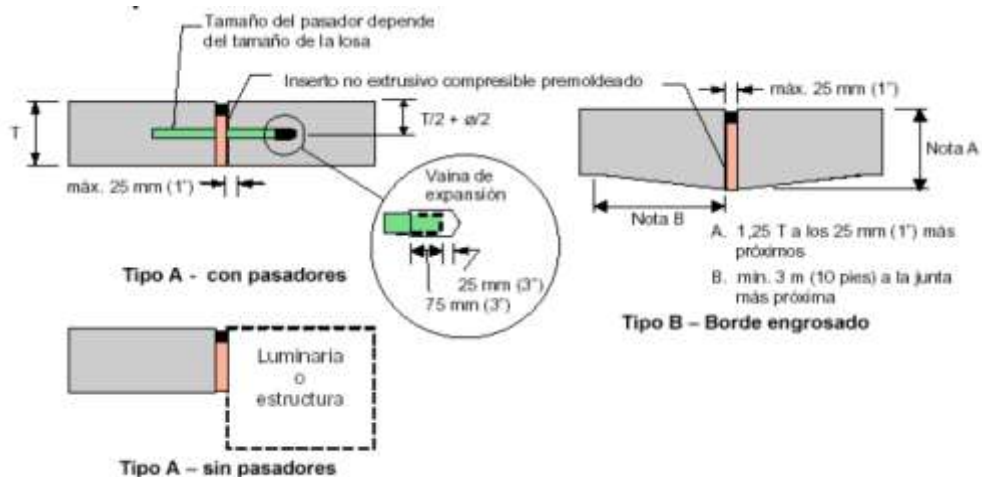


Figura N° 8: Tipos de juntas de expansión

Fuente: AASHTO 93

### **2.2.1.3. Sellos**

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de éstas (descascaramientos).

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Las juntas longitudinales entre pistas o en la unión berma-losa no generan las mismas tensiones sobre el sello que ejercen las juntas transversales, debido a que sus movimientos son considerablemente menores. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:

- Impermeabilidad
- Deformabilidad
- Resiliencia
- Adherencia
- Resistencia
- Estable
- Durable

Finalmente, el sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta, con la finalidad de asegurar un servicio a largo plazo del sellador. Los siguientes puntos son esenciales para las tareas de sellado:

- Inmediatamente antes de sellar, se deben limpiar las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños.
- Para limpiar la junta, se puede usar arenado, cepillo de alambre, chorro de agua o alguna combinación de estas herramientas. Las caras de la junta se pueden imprimir inmediatamente después de la limpieza.
- Es necesario usar el soplado con aire como paso final de la limpieza.
- Cabe mencionar que la limpieza solo se hará | sobre la cara donde se adherirá el sellador.

### **Sellos líquidos:**

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de adhesión con la cara de la junta. Los sellos líquidos pueden ser de asfalto, caucho colocado en caliente, compuesto elastoméricos, siliconas y polímeros. Los materiales son colocados en las juntas en forma líquida, permitiéndoseles fraguar.

Cuando se instalan los sellos líquidos es necesario el uso de un cordón o varilla de respaldo, la cual no debe adherirse ni al concreto ni al sellador ya que si esto sucede se induce tensión en el mismo. También ayuda a definir el factor de forma y a optimizar la cantidad de sello a usar. El diámetro del cordón debe ser 25 % más grande que el ancho del reservorio para asegurar un ajuste hermético.

El factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador es una consideración muy importante a tener en cuenta, ya que si éste no es el adecuado, se pueden generar esfuerzos excesivos dentro del sello que acorta la vida útil de éste. Un sellador con un factor de forma inferior a uno desarrolla menos esfuerzos que un sellador con un factor de forma mayor a uno.

### Sellos elastoméricos preformados:

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de recuperación a la compresión. Son sellos de neopreno extruido que tienen redes internas que ejercen una fuerza hacia fuera contra las caras de la junta. A diferencia de los sellos líquidos que experimentan esfuerzos de compresión y tensión, los sellos preformados solo se diseñan para esfuerzos de tensión.

La profundidad y ancho del reservorio dependen de la cantidad de movimiento esperado en la junta. Como regla general, la profundidad del reservorio debe exceder la profundidad del sello preformado.

Los reservorios de sellador por compresión están conformados para proporcionar un promedio de compresión del sellador de un 25 % en todo momento. En la figura N°9, se observan los diferentes tipos de selladores.

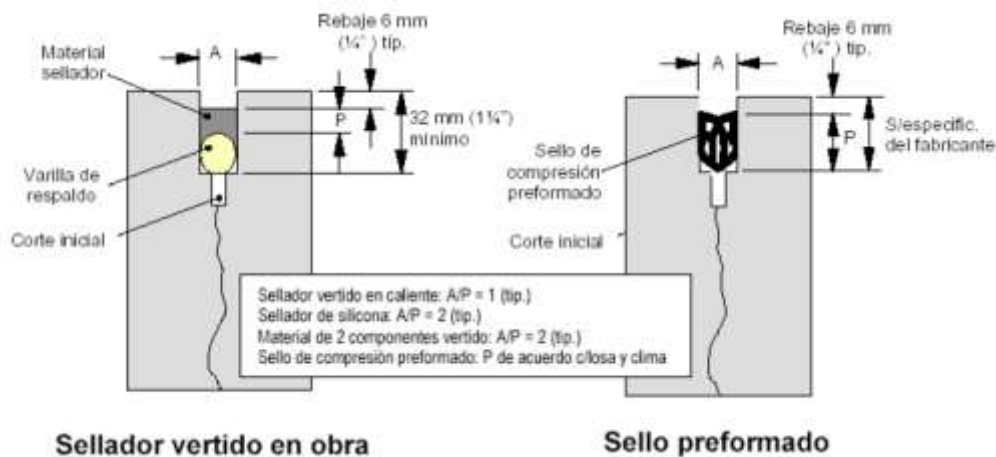


Figura N° 9: Tipos de selladores

Fuente: AASHTO 93

#### 2.2.1.4. Factores de diseño:

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos,

capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es:

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

Ecuación N° 1: Ecuación fundamental AASHTO 93

Donde:

**W18** = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

**ZR** = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

**S0** = Desvío estándar de todas las variables.

**D** = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

**ΔPSI** = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

**Pt** = Serviciabilidad final.

**Sc** = Módulo de rotura del concreto en psi.

**J** = Coeficiente de transferencia de carga.

**Cd** = Coeficiente de drenaje.

**EC** = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

**K** = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).



Para una mejor descripción de las variables, éstas se han clasificado de la siguiente manera:

- **VARIABLES DE DISEÑO.** Esta categoría se refiere al grupo de criterios que debe ser considerado para el procedimiento de diseño.
- **Criterio de comportamiento.** Representa el grupo de condiciones de fronteras especificado por el usuario, dentro del que una alternativa de diseño deberá comportarse.
- **Propiedades de los materiales para el diseño estructural.** Esta categoría cubre todas las propiedades de los materiales del pavimento y del suelo de fundación, requeridas para el diseño estructural.
- **Características estructurales.** Se refiere a ciertas características físicas de la estructura del pavimento, que tienen efecto sobre su comportamiento.

#### **2.2.1.5. Variables de diseño:**

##### **Variables de tiempo:**

Se consideran dos variables: período de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la puesta en operación del camino y el momento en el que el pavimento requiera rehabilitarse, es decir, cuando éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El período de análisis se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. Para el caso en el que no se considere rehabilitaciones, el período de análisis es igual al período de vida útil; pero si se considera una planificación por etapas, es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación, el período de análisis comprende varios períodos de vida útil, el del pavimento y el de los distintos refuerzos.

Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la cuadro N°1.

Cuadro N° 1: Periodo de análisis

CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	PERÍODO DE ANALISIS (AÑOS)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 – 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 – 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 – 20

Fuente: AASHTO 93

### Tránsito

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método son: cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Para la estimación de los ejes simples equivalentes (ESALs), se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

**a) Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en inglés):**

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga (Fec), que es el número de aplicaciones ESALs aportadas por un eje determinado. Así, el Fce es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un eje estándar de 18 Kips y la carga producida por otro tipo de eje.

$$LEF = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ESALs de 80 kN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{\text{N}^{\circ} \text{ de ejes x kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Ecuación N° 2: Factor equivalente de carga

**b) Factor camión (TF, por sus siglas en inglés):**

El factor camión (FC) da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero para el cálculo de ESALs es conveniente expresar el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para dar el daño producido por ese vehículo. Así nace el concepto de factor camión que es definido como el número de ESALs por vehículo.

El factor camión, puede ser computado para cada clasificación general de camiones o para todos los vehículos comerciales como un promedio para una configuración dada de tránsito, pero es más exacto considerar factores camión para cada clasificación general de camiones.

**Confiabilidad:**

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del

comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R (\%) = 100 P(Nt > NT)$$

Ecuación N° 3: confiabilidad del pavimento

Donde:

Nt = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

NT = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

La desviación estándar es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo. En el cuadro N° 2, se muestran valores para la desviación estándar.

Cuadro N° 2: Valores para la desviación estándar

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S <sub>0</sub> )	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Fuente: AASHTO 93

### a) Grado de importancia de la carretera:

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un subdimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura. En el cuadro N° 3, se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

Cuadro N° 3: Niveles de Confiabilidad

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO 93

### 2.2.1.6. Criterios de comportamiento:

#### Serviciabilidad:

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.

- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

Cuando el conductor circula por primera vez o en repetidas ocasiones sobre una vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo. El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial. Del pavimento la valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés).

El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.

El diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P0) y el índice de serviciabilidad final (Pt), para la vida útil o de diseño del pavimento.

**a) Índice de serviciabilidad inicial (P0):**

El índice de serviciabilidad inicial (P0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

**b) Índice de serviciabilidad final (Pt):**

El índice de serviciabilidad final (Pt), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario.

Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores Pt indicados en el cuadro N° 4.

Cuadro N° 4: Índice de serviciabilidad final

<b>Pt</b>	<b>Clasificación</b>
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Fuente: AASHTO 93

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P0 - Pt$$

Ecuación N° 4: Índice del PSI

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son: tráfico, medio ambiente y edad del pavimento. Los efectos que causan éstos factores en el comportamiento del pavimento han sido considerados en este método. El factor edad (tiempo) no está claramente definido. Sin

embargo, en la mayoría de los casos es un factor negativo neto que contribuye a la reducción de la serviciabilidad. El efecto del medio ambiente considera situaciones donde se encuentran arcillas expansivas o levantamientos por helada. Así, el cambio total en el PSI en cualquier momento puede ser obtenido sumando los efectos dañinos del tráfico, arcillas expansivas y/o levantamientos por helada.

#### **2.2.1.7. Propiedades de los materiales:**

##### **Módulo de reacción de la subrasante (k):**

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

##### **Módulo de rotura del concreto:**

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.



El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a  $PL/3$  y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

### **Módulos de elasticidad del concreto:**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

$$E_c=57000(f_c)^{0.5}$$

Ecuación N° 5: Modulo de elasticidad del concreto

### **2.2.1.8. Características estructurales:**

#### **Drenaje:**

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

Para minimizar los efectos del agua sobre los pavimentos se debe:

- Prevenir el ingreso del agua al pavimento (drenaje superficial).
- Proveer de un drenaje para remover el agua rápidamente (drenaje subterráneo).
- Construir un pavimento suficientemente fuerte para resistir el efecto combinado de carga y agua.

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento; es necesaria la construcción de un sistema de subdrenaje que permita remover rápidamente esta agua. En la actualidad se están utilizando subbases altamente permeables y drenes laterales para evacuar rápidamente el agua.

Los materiales de drenaje incluyen: agregados, geotextiles y tuberías. Los agregados se usan como capas de drenaje y drenes franceses o como material de filtro para sus protecciones. Los geotextiles son usados para reemplazar agregados como filtros. Las tuberías pueden ser perforadas, ranuradas o de junta abierta, siendo colocadas dentro de los drenes franceses para recolectar agua.

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

El cuadro N° 5, proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje  $C_d$ , que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Cuadro N° 5: Valores recomendados del coeficiente de drenaje ( $C_d$ ) para el diseño

$C_d$	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: AASHTO 93

### Transferencia de carga:

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.
- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta

para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.

- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados. La transferencia de cargas se puede definir usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia de cargas por deformaciones es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{\text{no cargada}})}{\delta_{\text{cargada}}}$$

Ecuación N° 6: Transferencia de carga

Donde:

$LT_{\delta}$  = transferencia de cargas por deformaciones.

$\delta_{\text{no cargada}}$  = deflexión de la losa adyacente no cargada.

$\delta_{\text{cargada}}$  = deflexión de la losa cargada.

En la figura N° 10, se observa que una transferencia de cargas es nula, cuando la losa no cargada no experimenta ninguna deflexión, todo lo contrario sucede cuando hay una transferencia de cargas perfecta donde la deflexión de la losa no cargada es igual a la de la losa cargada.

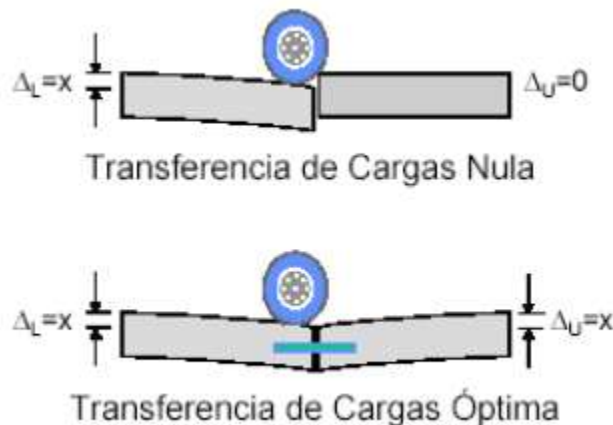


Figura N° 10: Transferencia de carga

Fuente: AASHTO 93

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor.

El cuadro N°6, establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis Mecánico de esfuerzos. Como se puede apreciar en ese cuadro el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga.

Cuadro N° 6: Coeficiente de transferencia de carga (J)

Soporte lateral	Si		No		Si		No		Tipo
	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)				
ESALs en millones									
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	2.5	2.9	Camino principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	2.6	3.1	

Fuente: AASHTO 93

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

### **Pérdida de soporte**

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase y/o movimientos diferenciales verticales del suelo. Deberá también considerarse este factor en términos de los movimientos verticales del suelo que pueden resultar de vacíos bajo el pavimento. Aun cuando se utilice una subbase no erosionable, pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento.

El cuadro N°7, proporciona algunos rangos sugeridos por las AASHTO para la pérdida de soporte, dependiendo del tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico).

Cuadro N° 7: Valores de LS

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>PÉRDIDA DE SOPORTE</b>
Base granular tratada con cemento (E = 1,000,000 a 2,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas de agregados con cemento (E = 500,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Bases tratadas con asfalto (E = 350,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E = 40,000 a 300,000 psi)	0.0 – 1.0
Estabilizados con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin ligante (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0 – 3.0

Fuente: AASHTO 93

### **2.2.2. La metodología del Portland Cement Association (PCA)**

Después de seleccionar el tipo de pavimento de hormigón (pavimento simple con ó sin pasa juntas, pavimento reforzado con juntas con pasa juntas, o pavimento continuamente reforzado), tipo de subbase si es necesaria, y tipo de berma (con ó sin berma de

hormigón, sardinel y cuneta o sardinel integral); el espesor de diseño es determinado en base a los cuatro factores siguientes:

- Resistencia del hormigón a la flexión (módulo de rotura MR).
- Resistencia de subrasante y subbase combinadas (k).
- Los pesos, frecuencias, y tipos de cargas axiales de camión que el pavimento soportará.
- El periodo de diseño, que en éste y otros procedimientos usualmente es considerado como de 20 años, pudiendo ser más ó menos.

Estos factores de diseño son discutidos con más detalle en las secciones siguientes. Otras consideraciones de diseño incorporadas al procedimiento son tratadas.

#### **2.2.2.1. Resistencia del Hormigón a la Flexión**

La resistencia del hormigón a la flexión es considerada en el procedimiento de diseño mediante el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo las cargas repetitivas de camiones.

El pandeo de un pavimento de hormigón bajo cargas axiales produce esfuerzos de compresión y flexión. Sin embargo, las relaciones de los esfuerzos y resistencias de compresión son demasiado pequeños para influenciar en el diseño del espesor de la losa. Las relaciones de los esfuerzos y resistencias de flexión son mucho más altos, excediendo a menudo valores de 0.5. Como resultado, los esfuerzos flexores y la resistencia a la flexión del hormigón son usados en el diseño de espesores. La resistencia a la flexión es determinada mediante pruebas de módulo de rotura, realizadas usualmente sobre vigas de 6x6x30-pulg.

Para proyectos específicos, la dosificación del hormigón debería ser diseñada para proporcionar adecuada durabilidad y resistencia flexora, al menor costo posible. Los procedimientos de diseño de mezclas son descritos en la publicación PCA “Diseño y Control de Mezclas de Concretó”.

El módulo de rotura puede ser obtenido mediante cargas en cantiliver, en un punto central, o en los tercios. Una diferencia importante en estos métodos de prueba es, que la prueba de la carga en los tercios da la mínima resistencia en el tercio central de la viga ensayada, mientras que los otros dos métodos muestran la resistencia en un sólo punto. El valor determinado por el método más conservador de la carga en los tercios (ASTM C78), es usado para el diseño en éste procedimiento.

Las pruebas de módulo de rotura son comúnmente realizadas a los 7, 14, 28, y 90 días. Los resultados de prueba a los 7 y 14 días son comparados con los requerimientos de las especificaciones para control de trabajo y para determinar cuándo los pavimentos pueden ser abiertos al tráfico.

Los resultados del ensayo a los 28 días han sido comúnmente usados para el diseño de espesores de pavimentos de carreteras y calles, y son los recomendados para usar con este procedimiento; los resultados a los 90 días son usados para el diseño de pistas de aterrizaje. Estos valores son usados debido a que hay muy pocas repeticiones de esfuerzo durante los primeros 28 a 90 días de la vida del pavimento en comparación con los millones de repeticiones de esfuerzo que ocurrirán más tarde.

El hormigón continúa adquiriendo mayor resistencia con la edad tal como muestra la Figura N°11. La resistencia ganada es mostrada por



la curva llena, que representa los valores MR promedio para varias series de ensayos de laboratorio, de vigas de prueba curadas en el campo y secciones de hormigón tomadas de pavimentos en servicio.

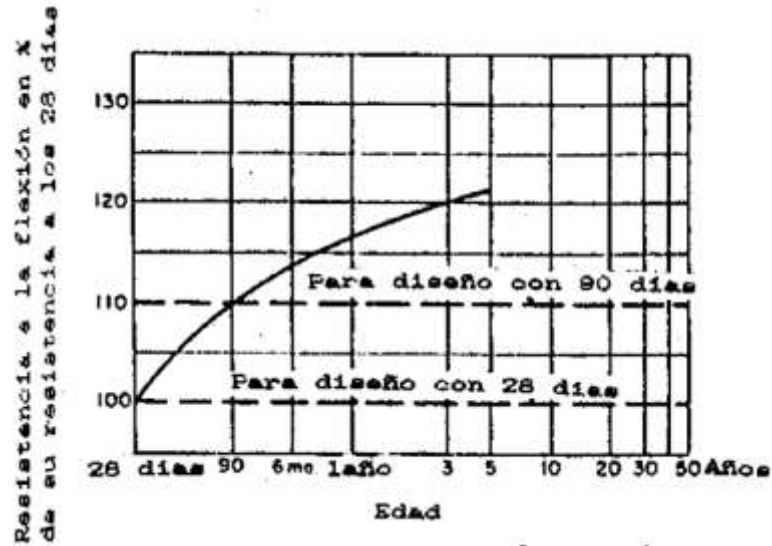


Figura N° 11: Relación entre la resistencia la flexión y la edad de diseño

Fuente: Manual PCA.

En este procedimiento de diseño, los efectos de las variaciones de la resistencia del hormigón de un punto a otro del pavimento y las ganancias de resistencia del hormigón con la edad son incorporados en las cartas y cuadros de diseño. El diseñador no aplicará directamente estos efectos sino implemente ingresará el valor de resistencia promedio a los 28 días.

#### 2.2.2.2. Soporte de la Subrasante y Subbase:

El soporte que proporciona la subrasante y la subbase, donde es usada; es el segundo factor en el diseño de espesores. El soporte de la subrasante y subbase es definido en términos del módulo de reacción de la subrasante (k) de Westergaard. Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga (una placa de 30-pulg. De diámetro), dividido por la deflexión en pulgadas para esa

carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada, por pulgada (psi/pulg), es decir como libras por pulgada cúbica (pci).

Cuadro N° 8: Efecto de la Subbase no tratada sobre los valores K

Valor k de la Subrasante pci	Valor k de la Subbase, pci			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Manual PCA.

Cuadro N° 9: Valores K de diseño para Subbases tratadas con cemento

Valor k de la Subrasante pci	Valor k de la Subbase, pci			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	10 pulg.
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente: Manual PCA.

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la Razón de Soporte de California (California Bering Ratio CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un Valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

La Carretera Experimental AASHO demuestra convincentemente que la reducción del soporte de la subrasante durante períodos de deshielo afecta poco o nada al espesor requerido del pavimento de hormigón. Esto es cierto porque los períodos breves en los que el

valor de  $k$  es disminuido durante los deshielos de primavera, son compensados por los períodos largos donde la subrasante está helada y los valores de  $k$  son más altos que los asumidos para el diseño. Para evitar los largos y tediosos métodos necesarios para tener en cuenta los cambios estacionales del valor de  $k$ , se utiliza, como valor medio razonable el normal de verano u otoño.

No es económico usar subbases no tratadas con el sólo propósito de incrementar los valores de  $k$ . Donde sea usada una subbase, se producirá un incremento del valor  $k$  que puede ser usado en el diseño del espesor. Si la subbase es un material granular no tratado, el incremento aproximado del valor  $k$  puede ser tomado del cuadro N°8.

Los valores mostrados en el cuadro N°8, están basados en los análisis de Burmister para sistemas de dos capas mediante pruebas de carga sobre placas en losas a escala natural, realizados para determinar los valores  $k$  en subrasantes y subbases.

Las subbases tratadas con cemento son ampliamente usadas en pavimentos de hormigón sujetos a tráfico pesado. Ellas son construidas de materiales granulares A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3 de la Clasificación de Suelos AASHTO. El contenido de cemento de la subbase tratada con cemento está basado en las pruebas estándar de laboratorio ASTM de hielo-deshielo y humedecimiento- secado y en los criterios de pérdida de peso de la PCA.

Otros procedimientos que den una calidad equivalente de material pueden ser usados. Los valores  $k$  de diseño para subbases tratadas con cemento y que reúnen los criterios antes señalados están dados en el cuadro N°9.

En años recientes, se han incrementado el uso de subbases de hormigón pobre. El diseño de espesores de pavimentos de hormigón con estas subbases muy rígidas, representan un caso especial.

### **2.2.2.3. Periodo de Diseño:**

El término periodo de diseño es usado en este texto en vez de vida del pavimento, porque éste último no está sujeto a una definición precisa. Algunos ingenieros y agencias de carreteras consideran que la vida de un pavimento de hormigón finaliza cuando se coloca la primera sobrecapa. La vida de los pavimentos de hormigón pueden variar desde menos de 20 años en algunos proyectos con tráfico mayor de lo originalmente estimado o que han tenido defectos de diseño, material o construcción defectuosa; a más de 40 años en otros proyectos donde no existan defectos.

El término periodo de diseño es considerado algunas veces como sinónimo del término periodo de análisis de tráfico. Debido a que el tráfico puede no ser predicho con mucha precisión para un periodo largo, comúnmente se utiliza un período de diseño de 20 años en procedimientos de diseño de pavimentos.

Sin embargo, existen a menudo casos donde el uso de períodos de diseño más cortos o más largos, pueden ser económicamente justificados, tal como en una carretera de transporte especial que será usada sólo por pocos años, o una construcción muy cara donde se desea un alto nivel de servicio por un periodo largo, con escaso o sin mantenimiento. Algunos ingenieros creen que el periodo de diseño para carreteras rurales y urbanas puede estar en un rango de 30 a 35 años.

El periodo de diseño seleccionado afecta al espesor de diseño, ya que determina cuántos años, y por lo tanto a cuántos camiones, debe

servir el pavimento. La selección de un periodo de diseño para un proyecto específico está basado en criterios ingenieriles y en el análisis económico de los costos del pavimento y los servicios obtenidos en todo el periodo.

#### **2.2.2.4. Tráfico:**

La cantidad y los pesos de las cargas axiales pesadas esperadas durante la vida de diseño son los factores principales en el diseño de espesores de pavimentos de hormigón. Estos se derivan de las estimaciones de:

- Tráfico promedio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (average daily traffic-ADT)
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic-ADTT)
- Cargas axiales de camiones

Información sobre el ADT es obtenida de conteos especiales del tráfico o de mapas del volumen de tráfico del estado, del condado, o de ciudades. Este ADT es denominado como el ADT presente o corriente. y el ADT de diseño es estimado por los métodos comúnmente usados discutidos aquí. Sin embargo, cualquier otro método que dé una estimación razonable del tráfico esperado durante la vida de diseño puede ser utilizado.

#### **2.2.2.5. Proyección:**

Un método para obtener el dato del volumen de tráfico (ADT de diseño), requiere el uso de las tasas anuales del crecimiento de tráfico y factores de proyección del tráfico. El cuadro N°18, muestra

las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyección para períodos de diseño de 20 y 40 años.

En un problema de diseño, el factor de proyección es multiplicado por el ADT presente para obtener el ADT de diseño que representa el valor promedio para el período de diseño. En algunos procedimientos, éste es llamado el promedio anual del tráfico diario (average annual daily traffic - AADT).

Los siguientes factores influyen en las tasas anuales de crecimiento y en las proyecciones del tráfico:

- Tráfico atraído o desviado - es el incremento sobre el tráfico existente, debido al mejoramiento de un camino existente.
- Crecimiento normal del tráfico - es el incremento debido al aumento del número y uso de vehículos motorizados.
- Tráfico generado - es el incremento debido a la llegada de los vehículos motorizados, que no se hubiera realizado si no se hubieran construido los nuevos servicios.
- Desarrollo del tráfico - es el incremento debido al cambio de uso del suelo por la construcción de los nuevos servicios.

La combinación de efectos origina tasas anuales de crecimiento entre el 2% y 6%.

Aproximadamente. Estas tasas corresponden a factores de proyección de tráfico en 20 años son de 1.2 a 1.8 tal como muestra en el cuadro N°10.

Las secciones de planeamiento de los departamentos estatales de carreteras, son fuentes muy útiles del conocimiento acerca del crecimiento de tráfico y de los factores de proyección.

Donde exista algún cuestionamiento acerca de la tasa de crecimiento, valores algo altos deben usarse con prudencia. Esto es lógico en rutas que unen ciudades y en proyectos urbanos donde una tasa alta de crecimiento urbano puede causar una tasa mayor que la esperada para el crecimiento del tráfico; a pesar de que el crecimiento del volumen de camiones puede ser menor que para los carros de pasajeros.

Las tasas altas de crecimiento no son aplicables en carreteras rurales de doble vía y en calles residenciales donde la función principal es el uso de la tierra o sirven de límite de propiedad. Sus tasas de crecimiento pueden estar debajo del 2% por año (factores de proyección de 1.1 a 1.3).

Algunos ingenieros sugieren que el uso de una tasa de crecimiento de interés simple puede ser apropiado, en vez de las tasas de interés compuesto, las que cuando son usadas con un período de diseño largo, pueden arrojar un tráfico futuro pesado no real.

Cuadro N° 10: Tasas anuales de crecimiento de tráfico y factores de proyección correspondiente

Tasa anual de crecimiento de tráfico	Factor de Proyección, 20 años	Factor de Proyección, 40 años
1	1.1	1.2
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 ½	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: Manual PCA.

#### **2.2.2.6. Capacidad:**

El otro método de estimar el ADT de diseño, está basado en la capacidad – el número máximo de vehículos que puede usar el pavimento sin demora irracional.

Este método de estimación del volumen de tráfico es calculado y debería ser verificado para proyectos específicos donde el volumen de tráfico proyectado es alto; pueden ser necesarios más carriles de tráfico si se desea un flujo de tráfico razonable.

#### **ADTT (Average Daily Truck Traffic - Tráfico Diario Promedio de Camiones):**

El tráfico diario promedio de camiones en ambas direcciones (ADTT) es necesario en el procedimiento de diseño. Puede ser expresado como un porcentaje del ADT ó como un valor actual. Los valores de ADTT incluyen solamente camiones con seis ruedas o más, y no incluye camiones panel ni pickup ni otros vehículos de cuatro ruedas. Los datos de los mapas de volumen de tráfico estatales, de los condados, o de las ciudades pueden incluir, en adición al ADT, el porcentaje de camiones con el que puede ser calculado el ADTT.

Para el diseño de proyectos mayores y en los Sistemas Interestatales Primarios, la sección de planeamiento e investigación de los departamentos estatales de transportes, generalmente llevan a cabo estudios específicos de tráfico. Estos datos son luego usados para determinar las relaciones porcentuales entre el ADTT y el ADT.

Los porcentajes de ADTT y otros datos esenciales de tráfico, pueden también ser obtenidos de investigaciones conducidas por el departamento de carreteras en localizaciones específicas del sistema vial.



Estas localizaciones llamadas estaciones de medición de cargas, son seleccionadas cuidadosamente para proporcionar información confiable de la composición del tráfico, pesos de camiones y cargas axiales. Los resultados de las investigaciones son compilados en un juego de cuadros donde puede ser determinado el porcentaje de ADTT para las clases de carreteras con que cuenta un estado. Estos trabajos hacen posible calcular el porcentaje ADTT para cada estación. Por ejemplo, una tabla de medida de cargas del departamento de carreteras, para los estados del Oeste Medio, produce el siguiente conteo de vehículos para una estación de medida de cargas en su Sistema Rural Interestatal:

Este porcentaje de ADTT debería ser apropiado para el diseño de un proyecto donde los factores que influyen el crecimiento y la composición del tráfico son similares a los de esta estación de medida de cargas.

Otra fuente de información de los porcentajes ADTT, es el Reporte Nacional de Características de Camiones (National Truck Characteristic Report). El cuadro N°11, que es el resultado de este estudio, muestra el porcentaje de las unidades simples de cuatro ruedas y de camiones en los principales sistemas de carreteras en los Estados Unidos. La publicación en uso, que es actualizada periódicamente, muestra que los camiones de ejes dobles y cuatro ruedas están comprendidos entre el 40% y 65% del número total de camiones, con un promedio nacional del 49%. Es probable que los valores bajos en rutas urbanas sean debido a los mayores volúmenes de vehículos de pasajeros antes que los pocos camiones.

Es importante tener presente que los porcentajes ADTT en el cuadro N°11, son valores promedio calculados de muchos proyectos en

todas las secciones del país. Por esta razón, estos porcentajes son sólo adecuados para diseños de proyectos específicos donde los porcentajes ADTT, son también casi el promedio.

Para propósitos de diseño, se necesita el número de total de camiones en el periodo de diseño. Esto se obtiene mediante el producto del ADT de diseño por el porcentaje de ADTT, multiplicado por el número de días en el período de diseño (365 x cantidad de años).

Para caminos de cuatro carriles o más, el ADTT es ajustado mediante el uso de la Figura N° 12.

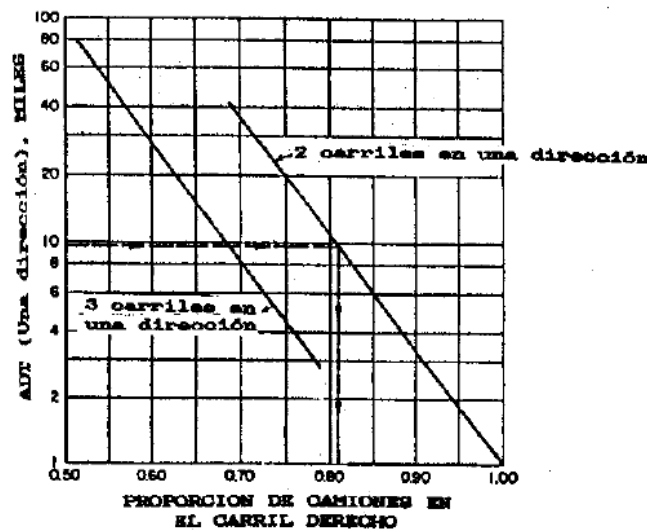


Figura N° 12: Proporciones de camiones en el carril derecho de una carretera dividida en carriles múltiples.

Fuente: Manual PCA.

Cuadro N° 11: Porcentajes de unidades simples de cuatro ruedas y camiones (ADTT) en varios sistemas de carretera.

Sistema Vial	Tráfico promedio diario rural			Tráfico promedio diario urbano		
	Unid. Simp. 2 ejes 4 ruedas	Camión (ADTT)	Total	Unid. Simp. 2 ejes 4 ruedas	Camión (ADTT)	Total
Interestatal	14	21	35	8	16	24
Otra Federal Primaria	16	13	29	17	9	26
Federal Secundaria	10	15	25	14	8	22

Fuente: Manual PCA.

### 2.2.2.7. Distribución Direccional de Camiones:

En la mayoría de los problemas de diseño, se asume que los pesos y volúmenes de los camiones que viajan en cada dirección son casi iguales distribución 50 y 50, que el pavimento toma en cada dirección la mitad del ADTT total. Esto puede no ser cierto en casos especiales donde la mayoría de los camiones van totalmente cargados en una dirección y retornan vacíos en la otra dirección. Si tal es el caso, debe hacerse un ajuste apropiado.

### 2.2.2.8. Distribución de Cargas por Eje:

Los datos de la distribución de cargas por eje del tráfico de camiones son necesarios para computar el número de ejes simples y tándem de diversos pesos esperados durante el periodo de diseño. Estos datos pueden ser determinados por una de tres maneras:

(1) a partir de estudios especiales de tráfico para establecer los datos de medición de cargas para el proyecto específico; (2) por recopilación de los datos de las estaciones de medición de cargas de los departamentos estatales de carreteras o estudios de cargas en movimiento en rutas representativas de los pesos y tipos de camiones, que se espera sean similares al proyecto bajo diseño; (3)

a partir de los métodos basados en categorías de datos representativos para diferentes tipos de pavimentos, cuando los datos de distribución de cargas por eje no estén disponibles.

El uso de los datos de cargas por eje está ilustrado en el cuadro N°12, han sido agrupados en incremento de 2-kip y 4-kip para cargas por eje simple y por eje tándem respectivamente. Los datos ubicados bajo la denominación 'Ejes por 1000 camiones" están dispuestos en una forma conveniente para calcular la distribución de cargas por eje; sin embargo, debe hacerse un ajuste. La columna 2 en el cuadro N°12, proporciona los valores para todos los camiones, incluyendo los valores no deseados de panels, pickups, y otros vehículos de cuatro ruedas. Para superar esta dificultad, los valores tabulados se ajustan como se describe en las notas del cuadro N°12.

La columna 4 del cuadro N°12, da las repeticiones de varias cargas por ejes simples y tandem, esperadas durante un período de diseño de 20 años.

Cuadro N° 12: Datos de carga por eje.

(1) Carga por eje, Kips	(2) Ejes por 1000 camiones	(3) Ejes por 1000 camiones	(4) Ejes en el periodo de diseño
<b>Ejes Simples</b>			
28-30	0.28	0.58	6,310
26-28	0.65	1.35	14,690
24-26	1.33	2.77	30,140
22-24	2.84	5.92	64,410
20-22	4.72	9.83	106,900
18-20	10.40	21.67	235,800
16-18	13.56	28.24	307,200
14-16	18.64	38.83	422,500
12-14	25.89	53.94	586,900
10-12	81.05	168.85	1873,000
<b>Ejes Tandem</b>			
48-52	0.94	1.96	21.320
44-48	1.89	3.94	42.870
40-44	5.51	11.48	124.900
36-40	16.45	34.27	372.900
32-36	39.08	81.42	885.800
28-32	41.06	85.54	930.700
24-28	73.07	152.23	1653.000
20-24	43.45	90.52	984.900
16-20	54.15	112.81	1227.000
12-16	59.85	124.69	1356.000

Fuente: Manual PCA.

### 2.2.2.9. Factores de Seguridad de Carga

En el procedimiento de diseño, las cargas por eje determinadas en la sección previa, son multiplicadas por un factor de seguridad de carga (Load Safety Factor-LSF). Recomendándose los siguientes factores:

- Para proyectos Interestatales y otros de múltiples carriles donde el flujo de tráfico será ininterrumpido y donde habrán altos volúmenes de tráfico de camiones, LSF = 1.2.
- Para carreteras y calles arteriales donde el volumen de tráfico de camiones será moderado, LSF = 1.1.
- Para carreteras, calles residenciales, y otras que soportarán pequeños volúmenes de tráfico de camiones, LSF 1.0.

Además de los factores de seguridad de carga, se introduce un cierto grado de conservadorismo en el procedimiento de diseño, para compensar las sobrecargas no previstas de camiones sobrecargados y las variaciones normales en las propiedades de los materiales y espesores de capas en las construcciones. Por encima del nivel básico de conservadorismo ( $LSF = 1.0$ ), los factores de seguridad de carga de 1.1 a 1.2, proporcionan una gran tolerancia a la posibilidad de cargas de camiones pesados y volúmenes no previstos, y un alto nivel de serviciabilidad, apropiado en caminos con pavimentos de tipos mayores.

En casos especiales, puede ser justificado el uso de un LSF tan alto como 1.3 durante todo el período de diseño para mantener un nivel de serviciabilidad del pavimento mayor que el normal.

**CAPITULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1. Hipótesis:

#### **Hipótesis general:**

Al determinar la evaluación técnica – económica entre el pavimento flexible y rígido, permitirá mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran - Ambo.

#### **Hipótesis específica:**

- Al determinar la evaluación técnica del pavimento flexible, permitirá mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Al determinar la evaluación económica del pavimento flexible, permitirá mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Al determinar la evaluación técnica del pavimento rígido, permitirá mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.
- Al determinar la evaluación económica del pavimento rígido, permitirá mejorar la transitabilidad en el tramo de la carretera Unguymaran – Ambo.

### 3.2. Tipo y método de la investigación:

De acuerdo a la **Orientación es Aplicada**, ya que se va utilizar teorías existentes como el manual de conservación de carreteras para poder saber la condición de la carretera, método de AASHTO 93 y el PCA para el diseño estructural del pavimento. Para dar soluciones a problemas prácticos de transitabilidad de la carretera, con un diseño estructural de pavimento flexible y rígido.



De acuerdo al **Enfoque es mixto**, porque la toma de datos es de forma cuantitativa con el uso de la norma del MTC, cuyo resultado nos dará en forma cuantitativa. Y el diseño de la estructura del pavimento es cuantitativo mediante ambos métodos.

Es una **investigación descriptiva**, porque se describe la realidad y sin alteración el tipo de conservación de la carretera y el diseño de la estructura del pavimento.

### **3.3. Nivel de la investigación:**

De acuerdo al **nivel es Descriptivo**, porque se va a desarrollar una investigación de comparación de diseño del pavimento flexible y rígido, basado a una evaluación técnica y económica, para el cálculo estructural del pavimento.

### **3.4. Diseño de la investigación:**

El diseño de esta investigación **No Experimental**, Porque se realiza sin manipular deliberadamente las variables, lo que se hace es observar, medir y analizar los tipos de pavimentos, para luego calcular el tipo de intervención para su tipo de intervención, el conteo de tráfico, y el estudio del suelo.

De acuerdo con la direccionalidad es **Prospectiva**, Porque se mide y/o analiza en el presente las causas de las fallas, y efecto en el futuro para poder decidir el tipo de intervención del pavimento, para obtener un pavimento en buen estado y hacer el diseño de la estructura del pavimento, para q no pueda fallar por infra diseño ni por lluvias.

De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado es **Transversal**, Porque se recolectan y/o miden los datos una sola vez

de la variable, y de inmediatamente procede a su descripción o análisis del tipo de falla del pavimento, la data del tráfico y sus ensayos del suelo.

### 3.5. Sistema de variables:

*Variable independiente:*

- Evaluación técnica y económica del pavimento flexible
- Evaluación técnica y económica del pavimento rígido

*Variable dependiente:*

- Mejoramiento de la transitabilidad

### 3.6. Operación de variables

Cuadro N° 13: operación de variables

VARIABLE	SUB-VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTACIÓN
<b><u>Variable Independiente</u></b> evaluación técnica – económica entre el pavimento flexible y rígido	índice de condición de la carretera	Condición del pavimento	MTC – conservación vial
	Trafico	Tráfico pesado Tráfico moderado Tráfico leve	Manual Inventario vial MTC
	Estudio de mecánica de suelos	Granulometría Limites Atterberg Proctor CBR	Manual de Suelos y Pavimento - MTC
	Estudio hidrológico	Precipitaciones	Manual de Hidrología MTC
<b><u>Variable Dependiente</u></b> Mejoramiento de la transitabilidad	Método de AASHTO 93 y PCA	Diseño estructural Evaluación económica	Requisitos mínimos de estructura de pavimentos - MTC

Fuente: Elaboración propia

**CAPILLO IV**  
**ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO EN EL**  
**TRAMO DE CARRETERA UGUYMARAN –**  
**TOMAYQUICHUA - AMBO**

#### 4.1 Estudios básicos:

El proyecto de investigación ha sido enfocado en el tramo de carretera Uguymaran – Pampas – Tomayquichua - Ambo, de modo que su servicio comprende de vías rurales y comerciales, donde su tránsito es medianamente pesado, de sección regular de 6.00m, con una longitud de 12 km.

#### Ubicación Geográfica:

La ubicación política de la zona en estudio es la siguiente:

Departamento	:	Huánuco
Provincia	:	Ambo
Distrito	:	Conchamarca - Tomayquichua
Vía de estudio	:	Uguymaran – Tomayquichua - Ambo

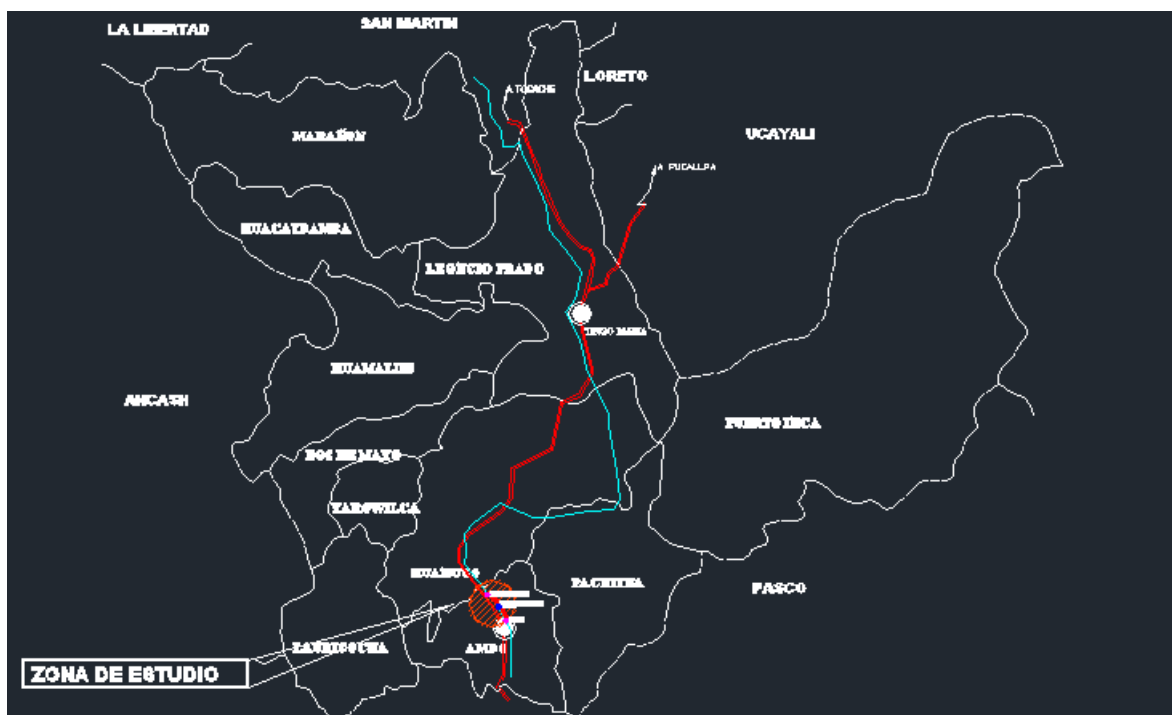


Figura N° 13: Área de influencia de la investigación

Fuente: elaboración propia

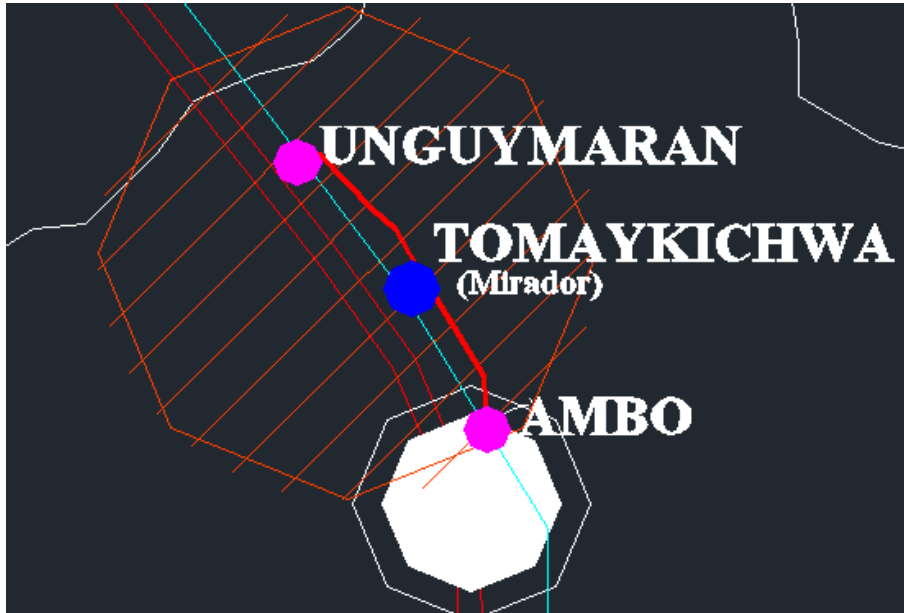


Figura N° 14. Area de estudio de la investigación  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Estudio de tráfico:

En el cuadro N° 14, se muestra el IMD es de 9350 vehículos, de los destacan camiones y los automóviles.

Cuadro N° 14. Estudio de tráfico, IMD.

TRAMO	TMDA INICIAL	TVi	r	n	TVA
	2018	TMDAi*365	%	2018- 2028	2028
UNGUYMARAN - HERMITA	383	139795	10.00	10	2227972
HERMITA - TOMAYQUICHWA	242	88330	10.00	10	1407753
TOMAYQUICHWA - ANDAHUAYLAS	241	87965	10.00	10	1401936
ANDAHUAYLAS- AMBO	274	100010	10.00	10	1593902

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 15: Ilustración del conteo de tráfico

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 Estudio de suelos

#### **Procesamiento de datos de campo y laboratorio:**

Se realizaron 25 calicatas y los resultados de los Ensayos de laboratorio permitieron definir las características propias del suelo de la Sub Rasante y su clasificación según la AASHTO (anexo I), su capacidad de soporte mínimo o CBR es de 11.4% para el 100% MDS Y 10% AL 95%

Cuadro N° 15: Resumen de los estudios de suelo

UBICACIÓN		IDENTIFICACION			ANALISIS GRANULOMETRICO (% DE MATERIAL PREDOMINANTE)				LIMITES DE PLASTICIDAD, %			CLASIFICACION	
Prog. Km.	Lado	Calicata	Muestra	Prof. (m)	GRAVA	ARENA	FINOS	DESCRIPSION	LL	LP	IP	AASHTO	SUCS
KM 0+000	*	C - 21	M - 1	1,50	25,05	33,80	41,15	ARENAS ARCILLOSAS	32,00	21,29	10,71	A-2-6	SC
KM 0+500	*	C - 22	M - 1	1,50	22,97	74,85	2,18	ARENAS ARCILLOSAS	32,80	12,70	20,10	A-2-6	SC
KM 1+000	*	C - 23	M - 1	1,50	31,73	60,07	8,20	ARENAS ARCILLOSAS	37,30	10,80	26,50	A-2-6	SC
KM 1+500	*	C - 24	M - 1	1,50	13,43	78,91	7,66	ARENAS ARCILLOSAS	37,50	19,64	17,86	A-2-6	SC
KM 2+000	*	C - 25	M - 1	1,50	9,70	82,85	7,45	ARENAS ARCILLOSAS	36,30	21,41	14,89	A-2-6	SC
KM 2+500	*	C - 1	M - 1	1,50	26,37	50,50	23,13	ARENAS ARCILLOSAS	35,00	23,82	11,18	A-2-4(0)	SC
KM 3+000	*	C - 2	M - 1	1,50	10,47	52,13	37,40	ARENAS ARCILLOSAS	36,40	21,61	14,79	A-2-4(0)	SC
KM 3+500	*	C - 3	M - 1	1,50	14,67	52,00	33,33	ARENAS ARCILLOSAS	36,30	21,41	14,89	A-2-4(0)	SC
KM 4+000	*	C - 4	M - 1	1,50	14,87	52,60	32,53	ARENAS ARCILLOSAS	36,80	21,29	15,51	A-2-4(0)	SC
KM 4+500	*	C - 5	M - 1	1,50	10,20	51,23	38,57	ARENAS ARCILLOSAS	36,50	21,25	15,25	A-2-4(0)	SC
KM 5+000	*	C - 6	M - 1	1,50	26,10	50,03	23,87	ARENAS ARCILLOSAS	35,20	23,60	11,60	A-2-4(0)	SC
KM 5+500	*	C - 7	M - 1	1,50	10,32	45,50	44,18	LIMOS INORGANICOS	32,40	18,2	14,20	A-2-4(0)	ML
KM 6+000	*	C - 8	M - 1	1,50	14,20	52,57	33,23	ARENAS ARCILLOSAS	35,30	21,72	13,58	A-2-4(0)	SC
KM 6+500	*	C - 9	M - 1	1,50	14,87	52,37	32,77	ARENAS ARCILLOSAS	36,50	21,41	15,09	A-2-4(2)	SC
KM 7+000	*	C - 10	M - 1	1,50	14,97	52,63	32,40	ARENAS ARCILLOSAS	33,80	21,53	12,27	A-2-6(1)	SC
KM 7+500	*	C - 11	M - 1	1,50	26,27	50,40	23,33	ARENAS ARCILLOSAS	35,70	23,82	11,88	A-2-4(0)	SC
KM 8+000	*	C - 12	M - 1	1,50	10,33	51,53	38,13	ARENAS ARCILLOSAS	36,60	21,39	15,21	A-2-4(2)	SC
KM 8+500	*	C - 13	M - 1	1,50	14,67	52,00	33,33	ARENAS ARCILLOSAS	36,30	21,41	14,89	A-2-6	SC
KM 9+000	*	C - 14	M - 1	1,50	10,20	51,23	38,57	ARENAS ARCILLOSAS	36,50	21,25	15,25	A-2-6	SC
KM 9+500	*	C - 15	M - 1	1,50	6,50	46,43	47,07	LIMOS INORGANICAS	35,25	22,42	12,83	A-2-4(3)	ML
KM 10+000	*	C - 16	M - 1	1,50	14,83	52,47	32,70	ARENAS ARCILLOSAS	33,60	21,53	12,07	A-2-6(1)	SC
KM 10+500	*	C - 17	M - 1	1,50	14,87	52,60	32,53	ARENAS ARCILLOSAS	36,80	21,29	15,51	A-2-6	SC
KM 11+000	*	C - 18	M - 1	1,50	14,80	52,03	33,03	ARENAS ARCILLOSAS	33,61	21,35	12,26	A-2-6(1)	SC
KM 11+500	*	C - 19	M - 1	1,50	13,80	52,17	33,03	ARENAS ARCILLOSAS	33,30	21,35	11,95	A-2-6(1)	SC
KM 12+000	*	C - 20	M - 1	1,50	12,87	52,77	34,37	ARENAS ARCILLOSAS	31,50	21,26	10,24	A-2-6(0)	SC

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 16: resumen de CBR

tramo	CBR
00+000 – 02+000	12.1%
02+000 – 04+000	12.4%
04+000 – 06+000	11.7%
06+000 – 08+000	11.4%
08+000 – 10+000	12.4%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Diseño del pavimento flexible por el método del MTC

La metodología del Ministerio de Transporte y Comunicaciones es basada en cuadros y ábacos proporcionados por el manual de suelos y pavimentos. Para las siguientes características de tráfico y CBR de la carretera se va obtener un tipo de espesores del pavimento de acuerdo a la metodología.

**Tipo de tráfico:** se basa a los ejes equivalentes proporcionados por el conteo de vehículos y proyectados a la vida útil del proyecto.

Cuadro N° 17: tipo de tráfico pesado de acuerdo a los ejes equivalentes

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P5</sub>	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T <sub>P6</sub>	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T <sub>P7</sub>	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T <sub>P8</sub>	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T <sub>P9</sub>	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T <sub>P10</sub>	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T <sub>P11</sub>	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T <sub>P12</sub>	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T <sub>P13</sub>	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T <sub>P14</sub>	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Categoría de la Subrasante:** de acuerdo al CBR obtenidos por las calicatas y a las uniformando (homogenizando) se obtuvo 11.4%. donde se obtiene un sub rasante de categoría buena.



Cuadro N° 18: Categoría de la Subrasante

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S <sub>1</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>2</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>3</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>4</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>5</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>6</sub> : Subrasante Extraordinaria	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Módulo de Resiliencia:** es una relación con el CBR, donde el CBR es un ensayo estático y mientras el módulo de Resiliencia es un ensayo dinámico, pero tiene una relación con el CBR.

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

$$Mr = 2555 \times (11.4)^{0.64} = 12128.6 \text{ psi}$$

**Confiabilidad:** producto del tráfico proyectado y los ejes equivalentes te recomienda un nivel de confiabilidad al 85%.

Cuadro N° 19: valores de nivel de confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	<b>TP0</b>	<b>100,000</b>	<b>150,000</b>	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	<b>TP6</b>	<b>1,500,001</b>	<b>3,000,000</b>	<b>85%</b>
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%
	TP12	15'000,001	20'000,000	95%
	TP13	20'000,001	25'000,000	95%
	TP14	25'000,001	30'000,000	95%
	TP15		>30'000,000	95%

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Desviación estándar:** el valor de desviación estándar es producto del grado de confiabilidad para el diseño y de acuerdo al tiempo de vida del pavimento

Cuadro N° 20: valores de desviación estándar

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z <sub>R</sub> )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,001	150,000	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	-1.645

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Serviciabilidad inicial:** se recomienda una serviciabilidad de 4, que es representado por un confort para los usuarios de muy bueno.

Cuadro N° 21: valores de serviciabilidad inicial

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750,001	1,000,000	3.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	4.00
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.00
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.00
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.00
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.00
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.00
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.00
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.20
	TP15		>30'000,000	4.20

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Serviciabilidad final:** este valor es de 2.5, que representa un estado regular que va ser sometido a una conservación, para recuperar el confort de los usuarios.

Cuadro N° 22: serviciabilidad final

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (PI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	2.00
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	2.00
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	2.00
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	2.00
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	2.50
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	2.50
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	2.50
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	2.50
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	2.50
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	2.50
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	2.50
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	3.00
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	3.00
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	3.00
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	3.00

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Variación de la serviciabilidad:** el máximo valor admisible para que pueda recuperar la serviciabilidad de la carretera mediante una conservación.

Cuadro N° 23: variación de la serviciabilidad

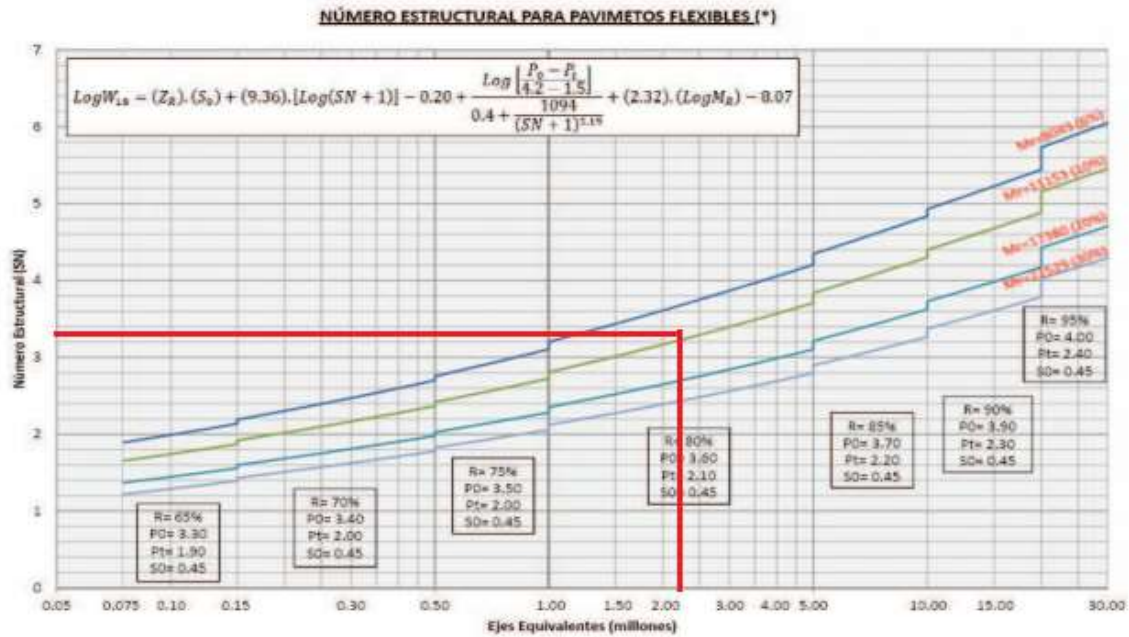
TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta$ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	1.80
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	1.80
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	1.80
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	1.50
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	1.50
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	1.50
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	1.50
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	1.50
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	1.50
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	1.50
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	1.20
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	1.20
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	1.20
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	1.20

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Calculo del número estructural requerido:** el cálculo está sometido a los coeficientes de la base, subbase y carpeta asfáltica.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Gráfico N° 1: numero estructural del pavimento flexible



Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 24: Numero estructural del MTC

CATALOGO DE NUMEROS ESTRUCTURALES (SN) REQUERIDOS POR TIPO DE TRAFICO Y DE SUBRASANTE						
Carpeta Asfáltica en Caliente + Base Granular + Sub Base Granular						
TIPO DE SUBRASANTE	Inadecuada	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena	Excelente
CLASE TRANSITO	CBR < 3% (*)	3% ≤ CBR < 6% (*)	6% ≤ CBR < 10%	10% ≤ CBR < 20%	20% ≤ CBR < 30%	CBR ≥ 30%
Tp0			2.136	1.871	1.557	1.392
75,000 < Rep. EE ≤ 150,000			2.470	2.165	1.809	1.625
Tp1			2.702	2.367	1.979	1.780
160,000 < Rep. EE ≤ 300,000			2.956	2.593	2.173	1.959
Tp2			3.107	2.726	2.283	2.069
300,000 < Rep. EE ≤ 600,000			3.434	3.012	2.521	2.274
Tp3			3.866	3.395	2.841	2.561
600,000 < Rep. EE ≤ 750,000			4.206	3.707	3.105	2.797
Tp4			4.630	4.103	3.449	3.107
750,000 < Rep. EE ≤ 1'000,000			4.837	4.300	3.624	3.267
Tp5			5.092	4.552	3.869	3.501
1'000,000 < Rep. EE ≤ 1'500,000			5.226	4.679	3.985	3.609
Tp6			5.341	4.883	4.173	3.786
1'500,000 < Rep. EE ≤ 3'000,000			5.907	6.323	4.580	4.172
Tp7			6.052	6.480	4.708	4.293
3'000,000 < Rep. EE ≤ 5'000,000						
Tp8						
5'000,000 < Rep. EE ≤ 7'500,000						
Tp9						
7'500,000 < Rep. EE ≤ 10'000,000						
Tp10						
10'000,000 < Rep. EE ≤ 12'500,000						
Tp11						
12'500,000 < Rep. EE ≤ 15'000,000						
Tp12						
15'000,000 < Rep. EE ≤ 20'000,000						
Tp13						
20'000,000 < Rep. EE ≤ 25'000,000						
Tp14						
25'000,000 < Rep. EE ≤ 30'000,000						

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

SN = 3.25

**Coefficientes estructurales:** valor de los coeficientes producto del CBR y la calidad del asfalto.

Cuadro N° 25: Valor de coeficiente de las capas del pavimento

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL $a_i$ (cm)	OBSERVACIÓN
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 oC (68 oF)	$a_1$	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	$a_1$	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq$ 1'000,000 EE
Micropavimento 25mm	$a_1$	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq$ 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	$a_1$	0.250 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq$ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y, en vías con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	$a_1$	0.150 (*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico $\leq$ 500,000EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos
(*) Valor Global (no se considera el espesor)			
<b>BASE</b>			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	$a_2$	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico $\leq$ 5'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	$a_2$	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 5'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	$a_{2a}$	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm <sup>2</sup> )	$a_{2b}$	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm <sup>2</sup> )	$a_{2c}$	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
<b>SUBBASE</b>			
Sub Base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.047 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico $\leq$ 15'000,000 EE
Sub Base Granular CBR 60%, compactada al 100% de la MDS	$a_3$	0.050 / cm	Capa de Sub Base recomendada para Tráfico > 15'000,000 EE

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Drenaje:** son valores obtenidos de acuerdo a las obras de arte o las obras complementarias al pavimento para que pueda drenar rápidamente.



Cuadro N° 26: valores del tiempo de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 27: valores del drenaje para base y sub base

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 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
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

**Espesores mínimos:** son valores mínimos recomendados por el manual del MTC de suelos y pavimentos de acuerdo al trafico, CBR, la calidad del CAP PEN.

Cuadro N° 28: espesores mínimos de la capa asfáltica y de la base

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		CAPA SUPERFICIAL	BASE GRANULAR
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 50mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 50mm	150 mm
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	TSB, ó Lechada Asfáltica (Slurry seal): 12mm, ó Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 60mm	150 mm
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 60mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 70mm	150 mm
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	Micropavimento: 25mm Carpeta Asfáltica en Frio: 70mm Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 80mm	200 mm
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 90mm	200 mm
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 100mm	250 mm
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 110mm	250 mm
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 120mm	250 mm
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 130mm	250 mm
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 140mm	250 mm
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	Carpeta Asfáltica en Caliente: 150mm	300 mm

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Esesor de la Carpeta asfáltica: 90 mm = 9 cm = 4 pulg

Esesor de la base: 200 mm = 20 cm = 8 pulg

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

$$3.25 = 0.17 \times 9 + 0.052 \times 20 \times 1.2 + 0.047 \times d_3 \times 1.2$$

$$d_3 = 10 \text{ cm}$$

### Comentario del método del MTC:

En esta metodología de diseño para pavimento flexible se establece de igual forma que el diseño para pavimento rígido, la determinación de una estructura de pavimento en este caso con asfalto, que soporte un número determinado de ejes equivalente manteniendo unas condiciones de serviciabilidad, con unos materiales de características específicas. Para el desarrollo de esta metodología se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la desviación estándar ( $S_o = 0.35$ ), la confiabilidad (85%), Índice de serviciabilidad ( $\Delta Psi = 1.5$ ), el módulo resiliente de la Subrasante, el número de ejes equivalentes, Contemplados estos parámetros y siguiendo la metodología de diseño se obtiene la estructura del pavimento:



Figura N° 16: Estructura del pavimento flexible – método MTC

#### 4.5 Diseño de pavimento flexible con la metodología de AASHTO 1993

Confiabilidad: el valor se obtiene de acuerdo a la clasificación de la vía y la zona donde se encuentra.

Cuadro N° 29: nivel de confiabilidad

Clasificación de la vía	Urbana	Rural
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Troncales	80-99	75-95
Locales	80-95	75-95
Ramales y Vías Agrícolas	50-80	50-80

Fuente: AASHTO 93

Cuadro N° 30: Valores de desviación estándar normal

Confiabilidad (R)	Valor de ZR
50	- 0,000
60	- 0,253
70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

Fuente: AASHTO 93

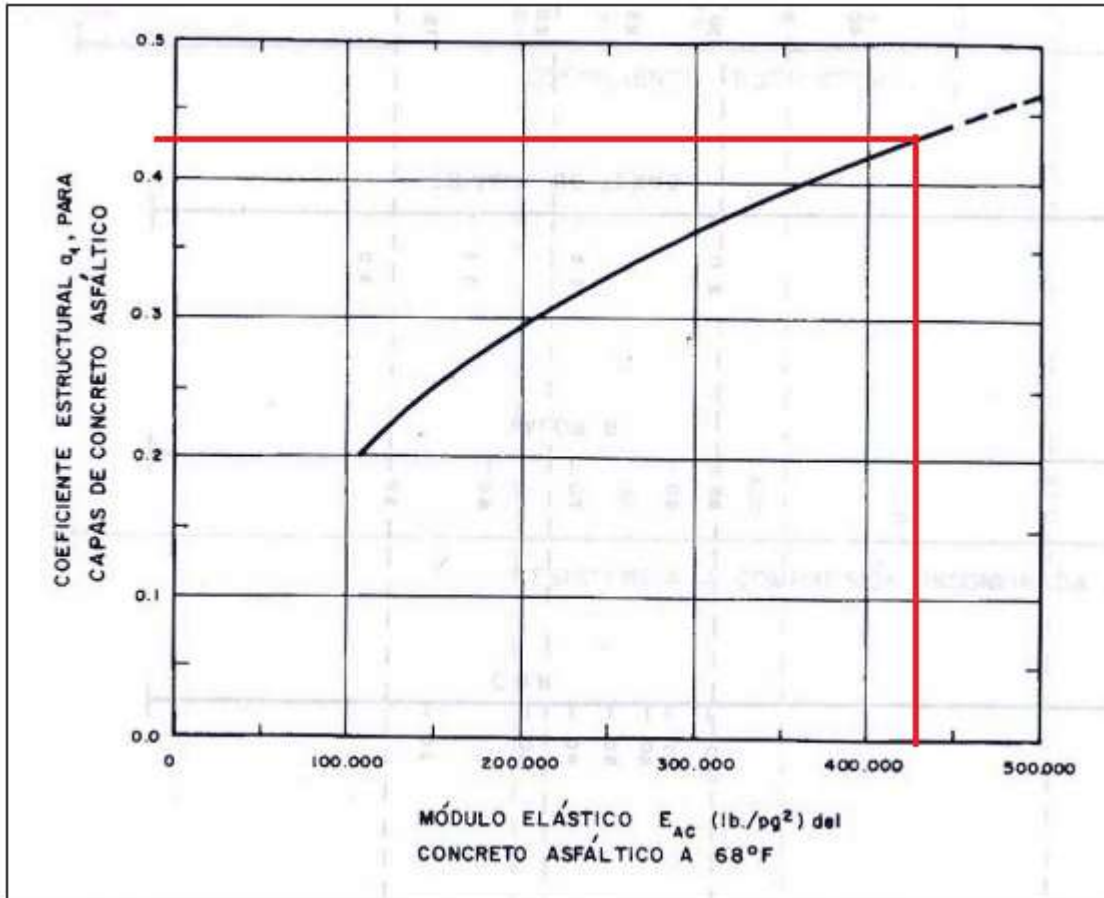
Cuadro N° 31: valores de desviación estándar (So)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0,50 <b>(0.45 valor recomendado)</b>

Fuente: AASHTO 93

## Coefficiente estructural del asfalto:

Gráfico N° 2: coeficiente estructural del asfalto



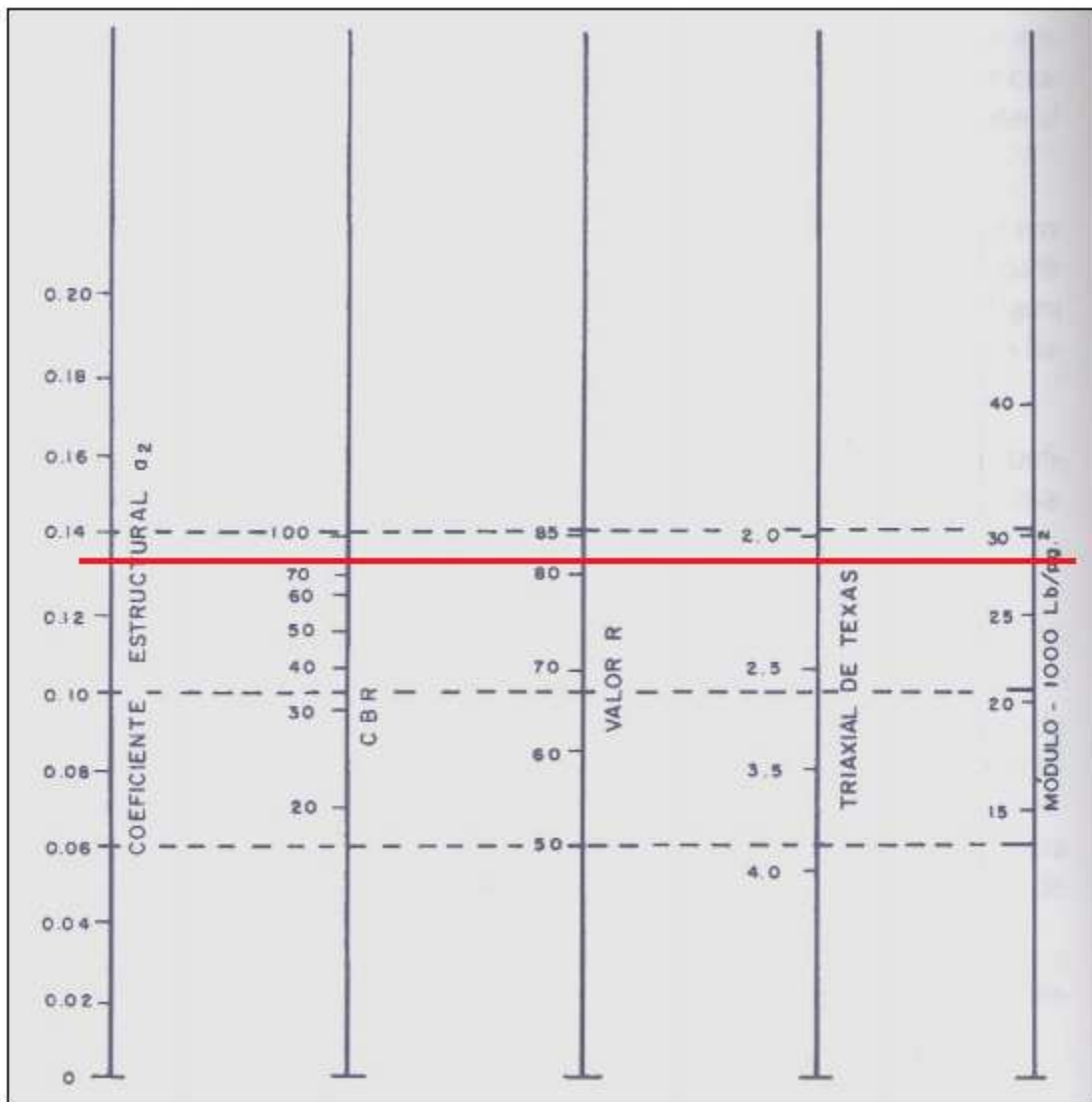
Fuente: AASHTO 93

Módulo de elasticidad del asfalto: 430000 psi

$a_1$ : 0.425

## coeficiente estructural de la base:

Gráfico N° 3: coeficiente estructural de la base



Fuente: AASHTO 93

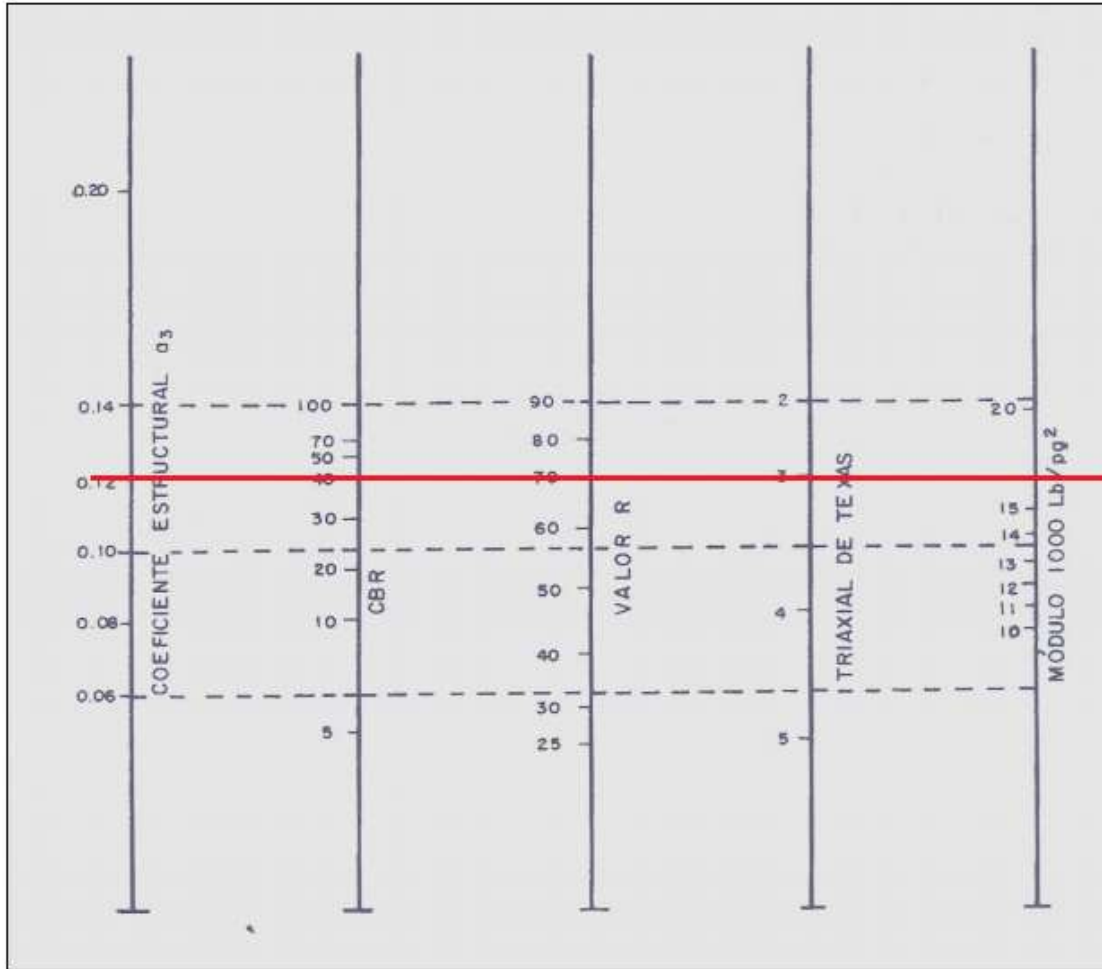
CBR de la base: 80%

$a_2$ : 0.132

Módulo de elasticidad de la base: 28000 psi

### Coefficiente de la Sub base:

Gráfico N° 4: coeficiente estructural de la sub base



Fuente: AASHTO 93

CBR de la sub base : 40%

a3: 0.12

Módulo de elasticidad de la sub base: 16500 psi

## Drenaje:

Cuadro N° 32: volores de tiempo de drenaje de la base y sub base

Nivel de Drenaje	Agua eliminada dentro de
Excelente	Dos (2) horas
Buena	Un (1) día
Regular	Una (1) semana
Pobre	Un (1) mes
Muy pobre	El agua no drena

Fuente: AASHTO 93

Cuadro N° 33: coeficiente de drenaje de la base y sub base

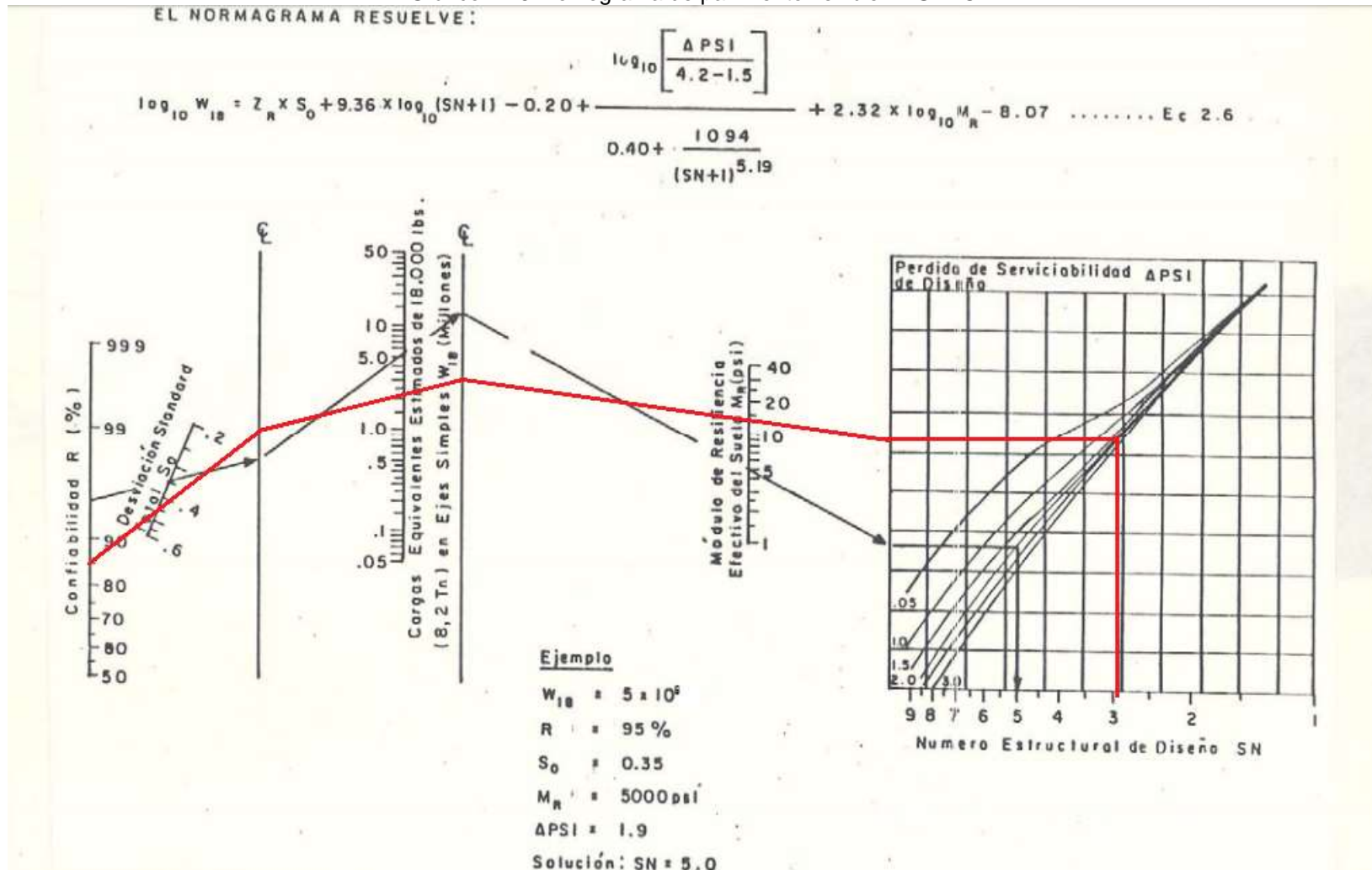
Calidad de Drenaje de la Base o sub-base	<i>Porcentaje del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está sometido a condiciones de humedad cercanas a saturación</i>			
	Menos del 1 %	Entre el 1 y 5 %	Entre el 5 y 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Fuente: AASHTO 93



## Nomograma del pavimento flexible:

Gráfico N° 5: nomograma de pavimento flexible AASHTO



Fuente: AASHTO 93

Cuadro N° 34: valores de espesores mínimos de la mezcla asfáltica y de la base

Cargas equivalentes (período diseño)	Espesor mínimo (cm)	
	Mezcla asfáltica (todas las capas)	Base y/o sub- Base granular
< 50.000	2,5 (*)	10,0
50.000 - 150.000	5,0	10,0
150.000 - 500.000	6,25	10,0
500.000 - 2.000.000	7,5	15,0
2.000.000 - 7.000.000	8,75	15,0
> 7.000.000	10,0	15,0

Fuente: AASHTO 93

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

$$2.9 = 0.425 \times 3.5 + 0.132 \times 6 \times 1.2 + 0.12 \times d_3 \times 1.2$$

$$D_3 = 3.5 \text{ pulg} = 9 \text{ cm}$$

### Comentario del método AASHTO 93:

En esta metodología de diseño para pavimento flexible se establece de igual forma que el diseño para pavimento rígido, la determinación de una estructura de pavimento en este caso con asfalto, que soporte un número determinado de ejes equivalente manteniendo unas condiciones de serviciabilidad, con unos materiales de características específicas. Para el desarrollo de esta metodología se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la desviación estándar ( $S_o = 0.35$ ), la confiabilidad (85%), Índice de serviciabilidad ( $\Delta Psi = 1.5$ ), el módulo resiliente de la Subrasante, el número de ejes equivalentes, Contemplados estos parámetros y siguiendo la metodología de diseño se obtiene la estructura del pavimento:



Figura N° 17: Estructura del pavimento flexible – método AASHTO 93

Cuadro N° 35: Presupuesto del pavimento Flexible

DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>414,980.64</b>
MOVILIZACIÓN Y DESMOV. MAQUINARIA Y EQ. HUANUCO A TOMAYQUICHWA - AMBO	GLB	1	320,000.00	320,000.00
CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	160	62.01	9,921.60
CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 7.20 x 3.60 m.	pza	1	600	600
TOPOGRAFIA y GEOREFERENCIA	KM	11.85	1,249.44	14,805.86
DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	78,262.00	0.89	69,653.18
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>1,057,386.67</b>
CORTE EN MATERIAL SUELTO	m3	12,361.40	2.47	30,532.66
CORTE EN ROCA SUELTA	m3	2,069.40	8.26	17,093.24
CORTE EN ROCA FUA	m3	458.3	17.61	8,070.66
PERFILADO, NIVELACION Y COMPACTACION DE SUB RASANTE EN ZONAS DE CORTE	m2	59,290.00	1.3	77,077.00
LIMPIEZA DE TERRENO PARA RECIBIR RELLENO	m3	14,889.10	62.1	924,613.11
<b>TERRAPLENES</b>				<b>195,043.41</b>
RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	12,219.03	1.34	16,373.50
RELLENO CON MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE	m3	9,595.94	1.34	12,858.56
REMOCION DE DERRUMBES (SOLO REFINE y LIMPIEZA)	m3	2,670.07	62.1	165,811.35
<b>PAVIMENTOS</b>				<b>2,199,465.58</b>
<b>SUB BASE GRANULAR</b>				<b>560,471.00</b>
SUB BASE GRANULAR	m3	9,595.94	49.01	470,297.02
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO MATERIAL DE TERRAPLEN (HUMEDAD OPTIMA)	m3	1,055.55	16.61	17,532.69
<b>MATERIAL SELECCIONADO PARA SUB BASE GRANULAR</b>				<b>72,641.29</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO PARA SUB BASE GRANULAR	m3	7,996.62	5.1	40,782.76
EXTRACCIÓN Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA SUB BASE	m3	6,397.29	2.23	14,265.96
CARGUÍO DE MATERIAL SELECCIONADO PARA SUB BASE GRANULAR	m3	7,996.62	1.11	8,876.25
ZARANDEO DE MATERIAL EN CANTERA PARA SUB BASE	m3	7,996.62	1.09	8,716.32
<b>BASE GRANULAR</b>				<b>339,819.00</b>
BASE GRANULAR	m3	7,065.27	46.27	326,910.04
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO MATERIAL DE TERRAPLEN (HUMEDAD OPTIMA)	m3	777.18	16.61	12,908.96
<b>IMPRIMACION PRODUCCION Y ESPARCIDO</b>				<b>1,299,175.58</b>
IMPRIMACION BITUMINOSA	m2	57,255.00	2.82	161,459.10
PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE E=6.35 CM	m3	3,635.69	279.11	1,014,757.44
ESPARCIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFALTICA E=6.35 CM	m3	3,635.69	33.82	122,959.04
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>3,866,876.30</b>

## 4.6 Metodología de diseño de Pavimento rígido MTC

### Tráfico pesado:

Cuadro N° 36: tipo de tráfico pesado

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
T <sub>P5</sub>	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T <sub>P6</sub>	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T <sub>P7</sub>	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T <sub>P8</sub>	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T <sub>P9</sub>	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T <sub>P10</sub>	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T <sub>P11</sub>	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T <sub>P12</sub>	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T <sub>P13</sub>	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T <sub>P14</sub>	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

## Serviciabilidad:

Cuadro N° 37: índice de serviciabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (Pt)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD ( $\Delta$ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	4.50	3.00	1.50

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

## Confiabilidad y desviación estándar:

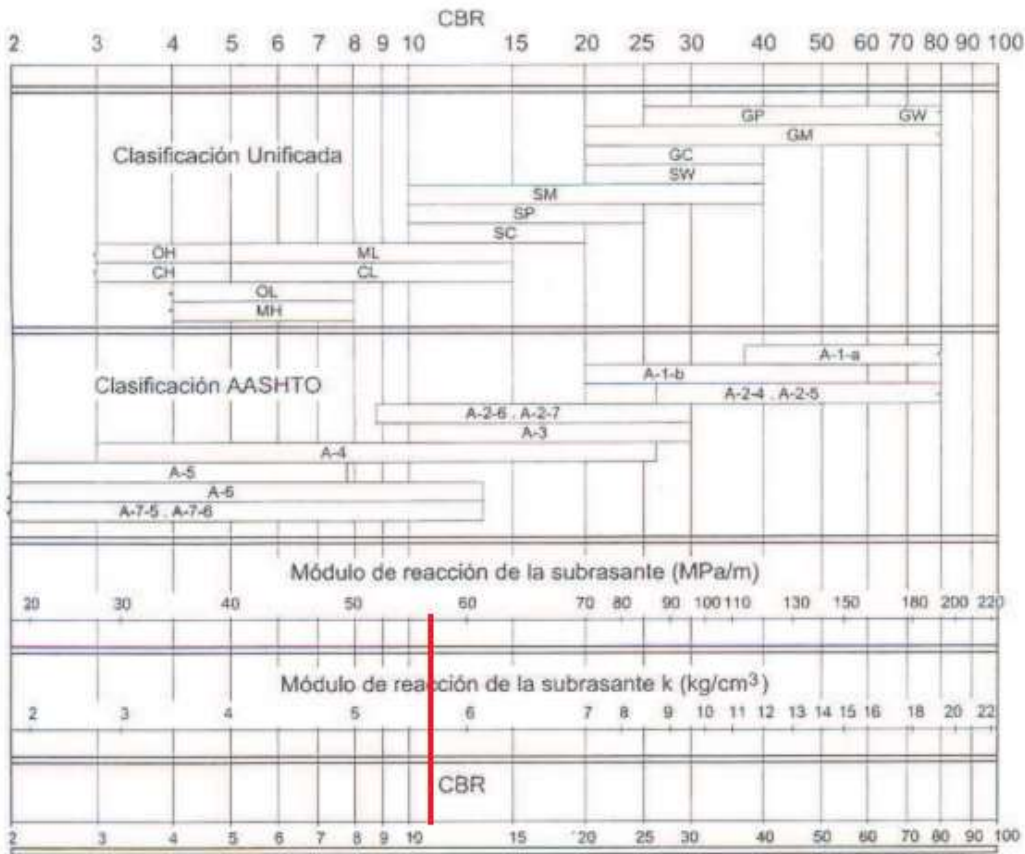
Cuadro N° 38: confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,000	150,000	65%	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P15</sub>		>30'000,000	95%	-1.645

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

## Corrección del CBR:

Cuadro N° 39: correlación de CBR



Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

## Resistencia del concreto:

Cuadro N° 40: valores de resistencia del concreto

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
> 15'000,000 EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

## Drenaje:

Cuadro N° 41: condición del drenaje

Calidad de Drenaje	50% de saturacion en:	85% de saturacion en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 42: coeficiente de drenaje

Calidad de Drenaje	% del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturacion			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

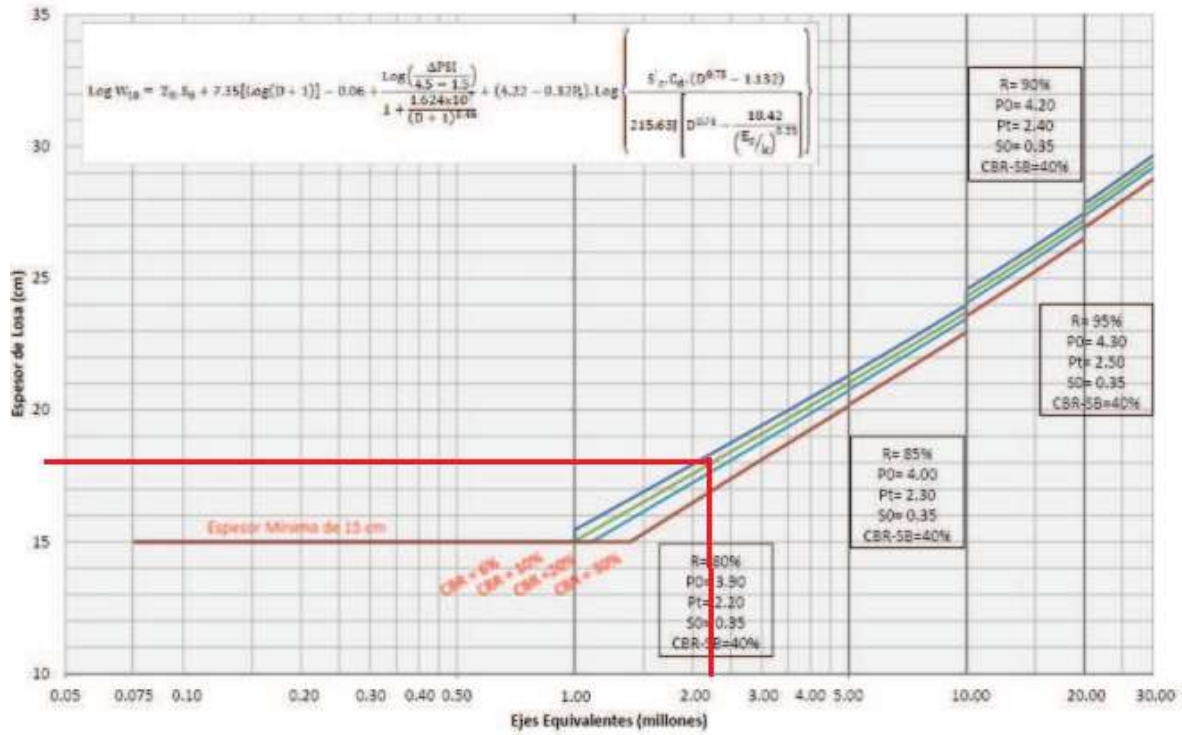
Cuadro N° 43: transmisión de carga

TIPO DE BERMA	J			
	GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
VALORES J	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
		3.2	3.8 - 4.4	2.8

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC



Gráfico N° 6: espesor del pavimento



Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 44: cuadro de estructura de pavimento rígido

EE	MR	TP0	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000	1'000,001-1'500,000	1'500,001-3'000,000	3'000,001-
CBR < 6%	< 185PCI (52MPa/m)	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	17cm	20cm	20cm
	> 6%	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	17cm	20cm	20cm
CBR < 10%	< 223PCI (63MPa/m)	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	17cm	15cm	15cm
	> 10%	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	17cm	15cm	15cm
CBR < 20%	< 279PCI (79MPa/m)	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	17cm	15cm	15cm
	> 20%	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	18cm	19cm	15cm
CBR < 30%	< 373PCI (105MPa/m)	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm
	> 30%	15cm	15cm	15cm	15cm	15cm	16cm	18cm	15cm

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Cuadro N° 45: juntas recomendadas

ESPESOR DE LOSA (MM)	TAMAÑO DE VARILLA (CM) DIAM. x LONG.	DISTANCIA DE LA JUNTA AL EXTREMO LIBRE	
		3.00 M	3.60 M
150	1.27 x 66	@ 76 cm	@ 76 cm
160	1.27 x 69	@ 76 cm	@ 76 cm
170	1.27 x 70	@ 76 cm	@ 76 cm
180	1.27 x 71	@ 76 cm	@ 76 cm
190	1.27 x 74	@ 76 cm	@ 76 cm
200	1.27 x 76	@ 76 cm	@ 76 cm
210	1.27 x 78	@ 76 cm	@ 76 cm
220	1.27 x 79	@ 76 cm	@ 76 cm
230	1.59 x 76	@ 91 cm	@ 91 cm
240	1.59 x 79	@ 91 cm	@ 91 cm
250	1.59 x 81	@ 91 cm	@ 91 cm
260	1.59 x 82	@ 91 cm	@ 91 cm
270	1.59 x 84	@ 91 cm	@ 91 cm
280	1.59 x 86	@ 91 cm	@ 91 cm
290	1.59 x 89	@ 91 cm	@ 91 cm
300	1.59 x 91	@ 91 cm	@ 91 cm

Fuente: Manual de suelos y pavimentos - MTC

Espesor de la losa 18 cm

Sub base granular 15 cm

**Comentario del método del MTC:**

En esta metodología de diseño para pavimentos rígidos se establece de igual forma que el diseño para pavimentos flexibles, la determinación de una estructura de pavimento en este caso con concreto hidráulico que soporte un

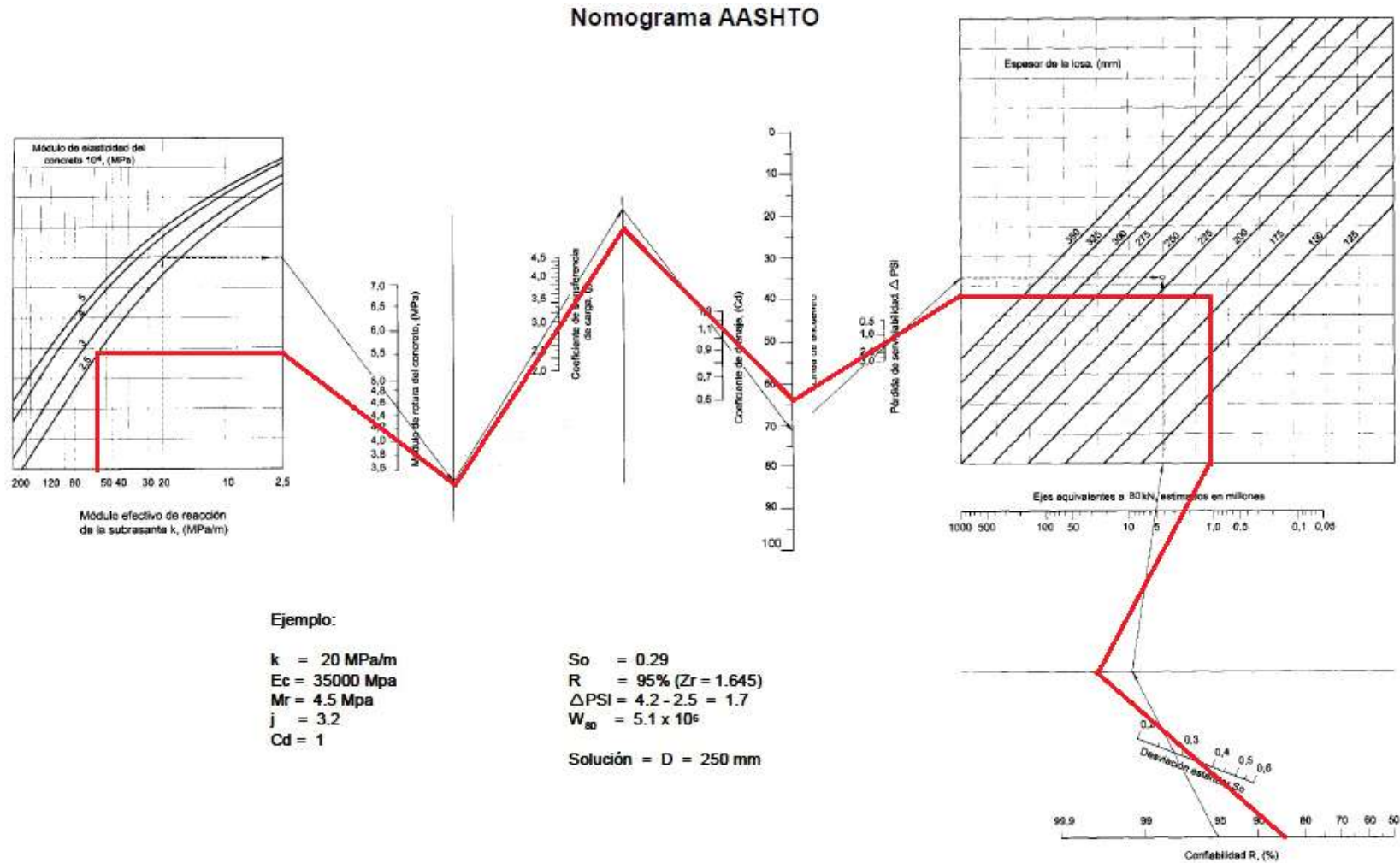
número determinado de ejes equivalente manteniendo unas condiciones de serviciabilidad, con unos materiales de características específicas. Para el desarrollo de esta metodología se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la desviación estándar ( $S_o = 0.3$ ), la confiabilidad (85%), Índice de serviciabilidad ( $\Delta Psi = 1.80$ ), el módulo resiliente de la Subrasante, el número de ejes equivalentes, el módulo de rotura ( $M_r = 40 \text{ kg/cm}^2$ ) y un coeficiente de correlación según las propiedades de la Sub Base, Contemplados estos parámetros y siguiendo la metodología de diseño se obtiene la estructura del pavimento.



Figura N° 18: Estructura del pavimento rígido – método MTC

#### 4.7 Metodología de diseño de pavimento rígido AASHTO 93

Gráfico N° 7: Nomograma del pavimento rígido



Fuente: AASHTO 93

Espesor de la losa 18.5 cm  
Espesor de la base 20 cm

### Comentario del método AASHTO 93:

En esta metodología de diseño para pavimentos rígidos se establece de igual forma que el diseño para pavimentos flexibles, la determinación de una estructura de pavimento en este caso con concreto hidráulico que soporte un número determinado de ejes equivalente manteniendo unas condiciones de serviciabilidad, con unos materiales de características específicas. Para el desarrollo de esta metodología se tienen en cuenta los siguientes parámetros: la desviación estándar ( $S_o = 0.3$ ), la confiabilidad (90%), Índice de serviciabilidad ( $\Delta Psi = 1.8$ ), el módulo resiliente de la Subrasante, el número de ejes equivalentes, el módulo de rotura ( $M_r = 40 \text{ kg/cm}^2$ ) y un coeficiente de correlación según las propiedades de la Sub Base, Contemplados estos parámetros y siguiendo la metodología de diseño se obtiene la estructura del pavimento rígido:

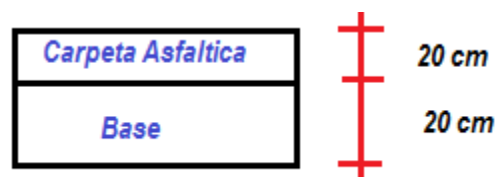
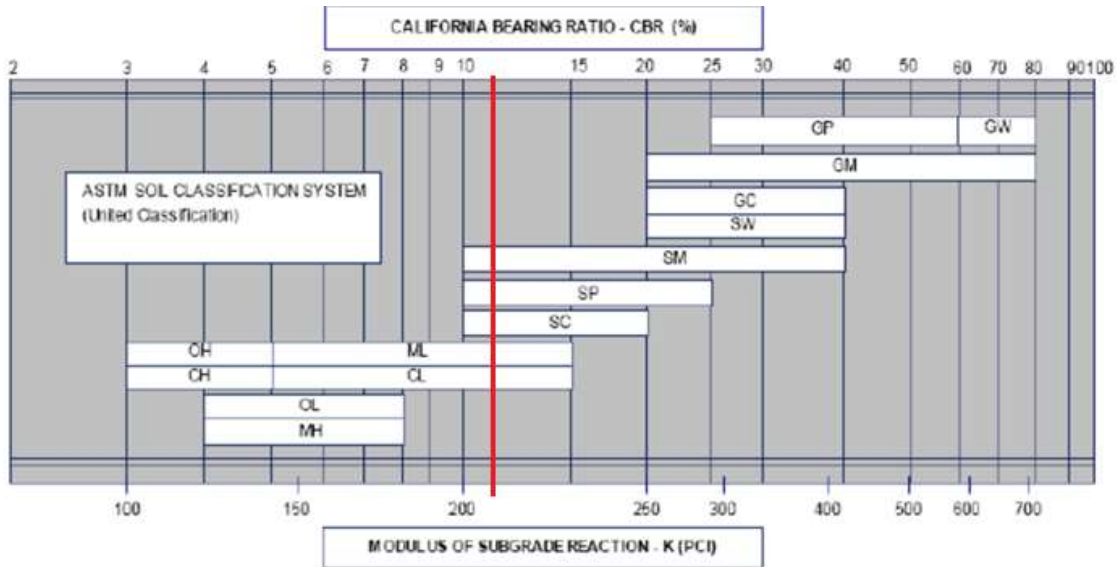


Figura N° 19: Estructura del pavimento flexible – método AASHTO 93

## 4.8 Metodología de diseño de pavimento rígido PCA

Gráfico N° 8: correlación de CBR y módulo de reacción de la sub rasante.



Fuente: manual del PCA

Reacción K (pci)= 214

Cuadro N° 46: valores de K, para subbase no tratadas

Valor k de la Subrasante pci	Valor k de la Subbase, pci			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

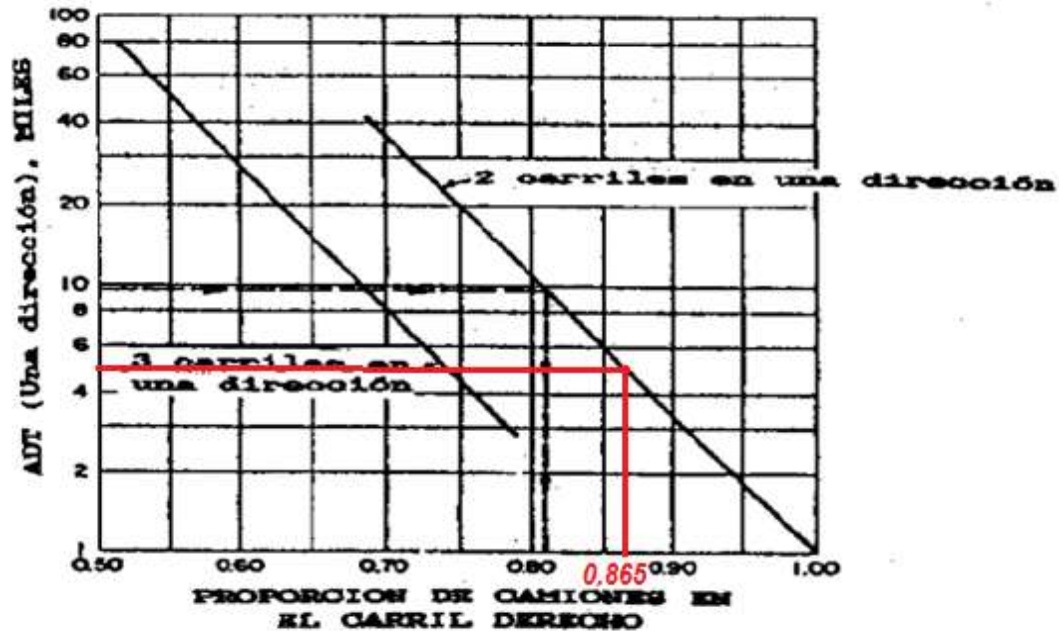
214 ————— X

Fuente: manual del PCA

Se toma como espesor de la sub base de 9 pulgadas con 214 del valor de la reacción de la subrasante.

X = 284 pci

Gráfico N° 9: proporción de camiones en el carril derecho



Fuente: manual del PCA

Proporción de camiones de carril derecho: 0.865

Cuadro N° 47: esfuerzo equivalente (eje simple / eje tándem)

Espesor de losa (pulg.)	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: manual del PCA

Interpolando ejes para un K de 284 pci.

EJES SIMPLES			
Yo =	265	Yo =	2.88
Y1 =	246	Y1 =	2.87
X =	284	X =	284
Xo =	200	Xo =	200
X1 =	300	X1 =	300
<b>Yx =</b>	<b>249.04</b>	<b>Yx =</b>	<b>2.872</b>



Cuadro N° 48: Factor de erosión – juntas con dowels (eje simple / eje tándem)

Espesor de losa (pulg.)	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: manual del PCA

Interpolando ejes para un K de 284 pci.

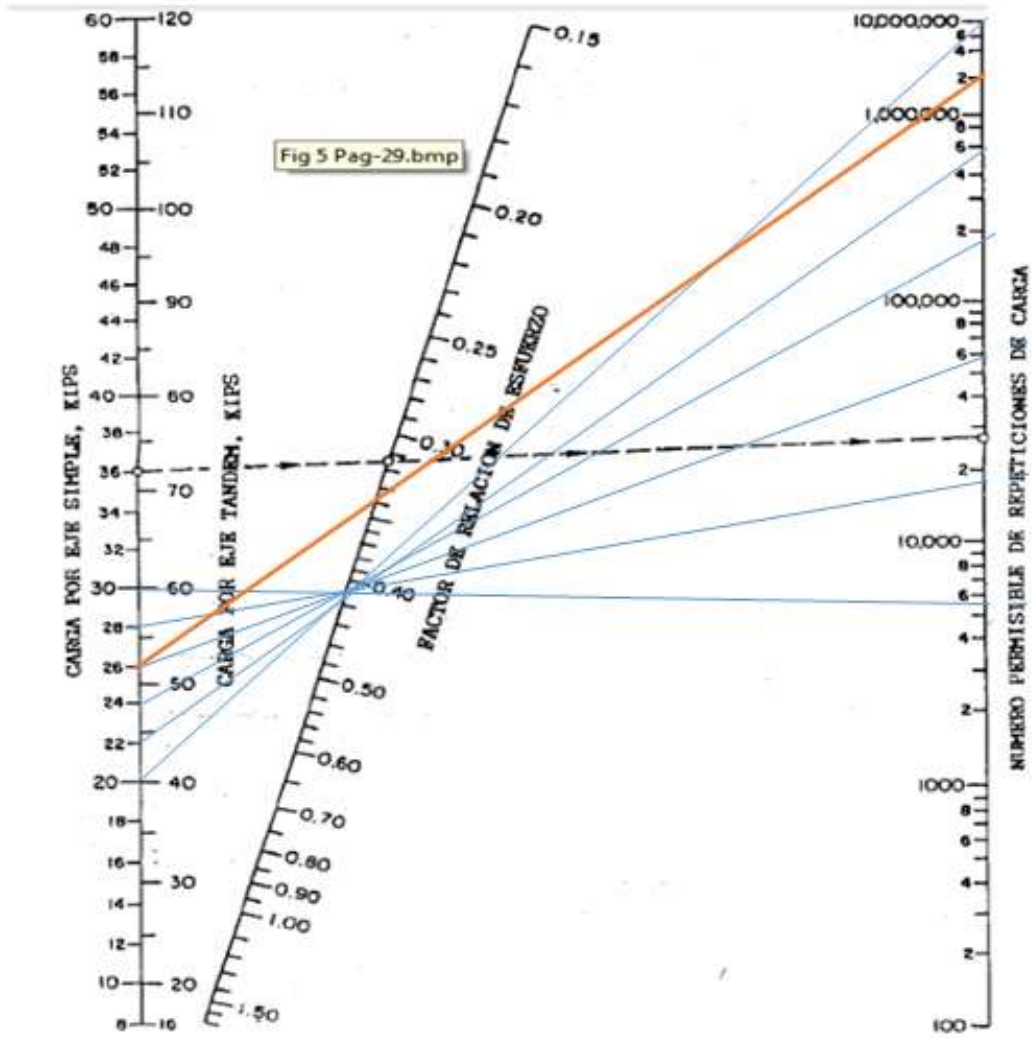
EJES TANDEM					
Yo =	224		Yo =	3	
Y1 =	203		Y1 =	2.97	
X =	375		X =	375	
Xo =	200		Xo =	200	
X1 =	300		X1 =	300	
<b>Yx =</b>	<b>187.25</b>		<b>Yx =</b>	<b>2.948</b>	

Cuadro N° 49: cálculo de diseño de pavimento rígido con el método del PCA

CALCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO						
Espeor de prueba	7.5	pulg	junta con dowels	SI	NO	
k de subbase - subrasante	284	pci	berma de concreto	SI	NO	
Modulo de rotura, MR	569	pci	periodo de diseño	20	años	
Factor de seguridad de carga	1.1					
1	2	3	4	5	6	7
Carga por eje	multipli por LSF	Repetic. Esperadas	Analisis por fatiga		Analisis por erosion	
			Repeticion permisible	% de fatiga	Repeticion permisible	% de daño
8. Esfuerzo Equivalente	249.04		cuadro N° 39			
9. Factor de reacion esfuerzo	0.438					
10. Factor de Erosion	2.872					
Ejes Simples						
30	33.0	1825	5800	31.46	700000	0.26
28	30.8	4236	19000	22.29	1000000	0.42
26	28.6	8667	60000	14.44	1900000	0.46
24	26.4	18506	190000	9.74	3000000	0.62
22	24.2	30757	600000	5.13	5000000	0.62
20	22.0	67770	90000000	0.08	10000000	0.68
18	19.8	88362	ilimitado	0.00	21000000	0.42
16	17.6	120943	ilimitado	0.00	60000000	0.20
14	15.4	168708	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
12	13.2	528149	ilimitado	0.00	ilimitado	0.00
Ejes Tandem						
52	57.2	6125	2000000	0.31	800000	0.77
48	52.8	12316	ilimitado	0.00	1500000	0.82
44	48.4	35905	ilimitado	0.00	2300000	1.56
40	44	107194	ilimitado	0.00	4000000	2.68
36	39.6	254659	ilimitado	0.00	8000000	3.18
32	35.2	267561	ilimitado	0.00	20000000	1.34
28	30.8	476149	ilimitado	0.00	60000000	0.79
24	26.4	283135	ilimitado	0.00	ilimitado	0
20	22	352860	ilimitado	0.00	ilimitado	0
16	17.6	390003	ilimitado	0.00	ilimitado	0
			<b>TOTAL</b>	<b>83.44</b>	<b>TOTAL :</b>	<b>14.81 ok!</b>

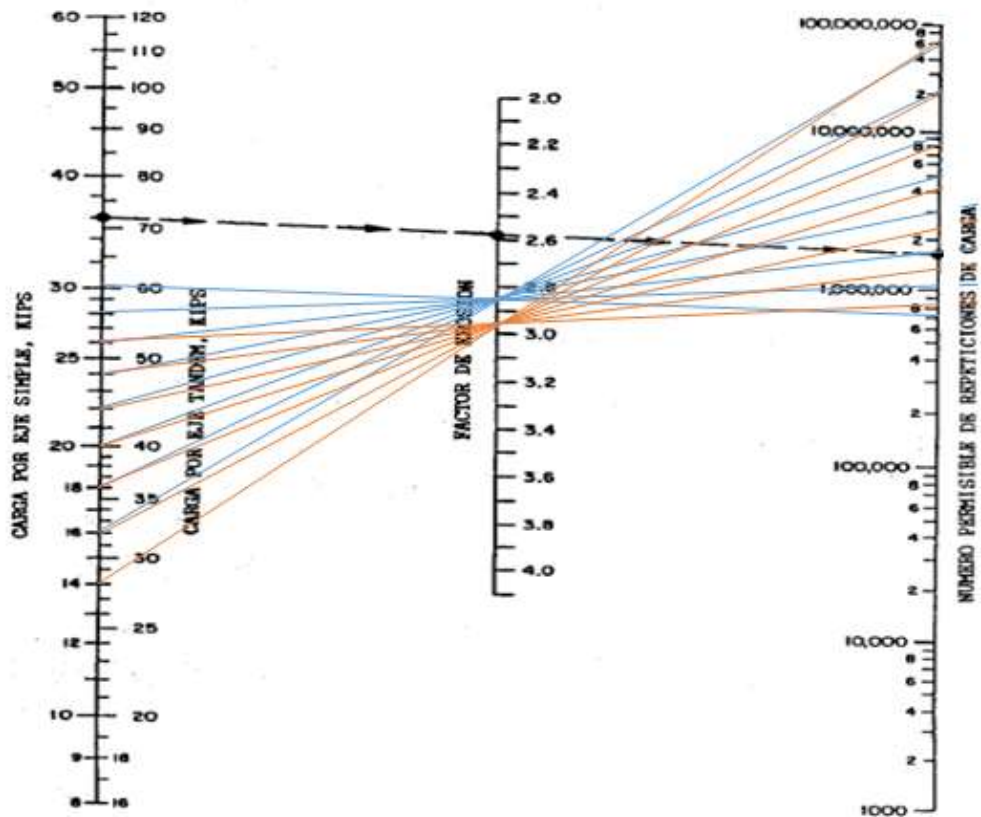
Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 10: Análisis por fatiga



Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 11: Análisis por erosión



Fuente: elaboración propia

**Comentario del método PCA:**

En esta metodología de diseño para el pavimento rígido, las variables que se tienen en cuenta para el desarrollo de esta metodología son Modulo de rotura del concreto (40 kg/cm<sup>2</sup>), el K combinado de la Subrasante con la Sub Base (375 pci), el criterio de dovelas y bermas (con dovelas y sin bermas), la carga por eje y las repeticiones esperadas, desarrollada la metodología de diseño contemplando estos parámetros se obtiene el dimensionamiento de la estructura del pavimento:

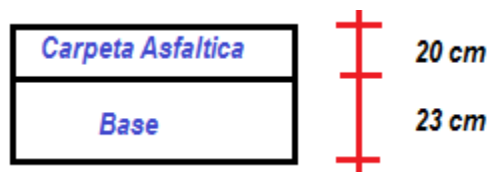


Figura N° 20: Estructura del pavimento flexible – método PCA

Cuadro N° 50: Presupuesto de Pavimento rígido

DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO (S/.)	PARCIAL (S/.)
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>414,980.64</b>
MOVILIZACIÓN Y DESMOV. MAQUINARIA Y EQ. HUANUCO A TOMAYQUICHWA - AMBO	GLB	1	320,000.00	320,000.00
CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA	m2	160	62.01	9,921.60
CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 7.20 x 3.60 m.	pza	1	600	600
TOPOGRAFIA y GEOREFERENCIA	KM	11.85	1,249.44	14,805.86
DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	78,262.00	0.89	69,653.18
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>1,057,386.67</b>
CORTE EN MATERIAL SUELTO	m3	12,361.40	2.47	30,532.66
CORTE EN ROCA SUELTA	m3	2,069.40	8.26	17,093.24
CORTE EN ROCA FIJA	m3	458.3	17.61	8,070.66
PERFILADO, NIVELACION Y COMPACTACION DE SUB RASANTE EN ZONAS DE CORTE	m2	59,290.00	1.3	77,077.00
LIMPIEZA DE TERRENO PARA RECIBIR RELLENO	m3	14,889.10	62.1	924,613.11
<b>TERRAPLENES</b>				<b>195,043.41</b>
RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	12,219.03	1.34	16,373.50
RELLENO CON MATERIAL EXCEDENTE DE CORTE	m3	9,595.94	1.34	12,858.56
REMOCION DE DERRUMBES (SOLO REFINE y LIMPIEZA)	m3	2,670.07	62.1	165,811.35
<b>PAVIMENTOS</b>				<b>4,410,471.00</b>
<b>BASE GRANULAR</b>				<b>560,471.00</b>
BASE GRANULAR	m3	9,595.94	49.01	470,297.02
ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA RIEGO MATERIAL DE TERRAPLEN (HUMEDAD OPTIMA)	m3	1,055.55	16.61	17,532.69
<b>MATERIAL SELECCIONADO PARA BASE GRANULAR</b>				<b>72,641.29</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO PARA BASE GRANULAR	m3	7,996.62	5.1	40,782.76
EXTRACCIÓN Y APILAMIENTO DE MATERIAL PARA BASE	m3	6,397.29	2.23	14,265.96
CARGUÍO DE MATERIAL SELECCIONADO PARA BASE GRANULAR	m3	7,996.62	1.11	8,876.25
ZARANDEO DE MATERIAL EN CANTERA PARA BASE	m3	7,996.62	1.09	8,716.32
<b>CONCRETO</b>				<b>3,850,000.00</b>
CONCRETO PRE MEZCLADO E = 18 CM	m3	11,000.00	350	3,850,000.00
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>6,077,881.72</b>

**CAPITO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Conclusiones:

- Realizados los diseños de las estructuras de pavimento flexible, para los dos métodos (MTC y AASHTO 93), se encontró, que cada una contempla diferentes parámetros generando una variación en los dimensionamientos finales de la estructura, en general se observó que las metodologías contemplaban cuatro parámetros fundamentales, tal como lo es el tránsito, la resistencia al corte del suelo de soporte (CBR), las propiedades de los materiales que constituyen la estructura de pavimento. El método más conservador es del MTC ya que esta sobre dimensionado los parámetros del diseño, basado en cuadros producto de experiencias realizadas, lo cual nos proporciona una estructura conservadora (ver figura N°16) para el caso de pavimentos rígidos la consideración del uso de dovelas y bermas dentro del diseño.
- Al analizar el presupuesto del pavimento flexible a comparación con el pavimento rígido los costos de ejecución es menor y el mantenimiento a lo largo de 20 años de vida útil es mayor. Para poder cumplir el nivel de serviciabilidad de bueno es necesario plantear un mantenimiento rutinario según el manual de conservación de carreteras del MTC. (ver cuadro N°35)
- Se comparó 3 métodos de diseño de pavimento rígido, de acuerdo a su metodología nos resulta cierto espesores de su estructura del pavimento, en la comparación con los métodos, el que tiene espesores conservadores es el método PCA, en comparación con el método AASHTO 93 y MTC, lo cual indica que a la hora de que pueda ocurrir un infra diseño o un aumento de IMD, el pavimento pueda resistir dichas cargas (ver figura N°20 y 50).
- Los métodos de diseño tiene como propósito al igual que otras estructuras de concreto y asfalto, determinar los espesores mínimos de

pavimentos, lo cual traduce menores costos, en el caso en donde los espesores son mayores, se encuentra un buen desempeño pero se requieren altos costos iniciales de construcción, pero bajos costos de mantenimiento caso del pavimento rígido. En el caso del pavimento flexible donde se diseñan menores espesores se generan bajos costos de construcción, pero altos costos de mantenimiento, por lo tanto es determinar el espesor apropiado que garantice el mejor desempeño de la vía.

**Recomendaciones:**

- Se debe de considerar que 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.
- Se recomienda a la hora de la ejecución utilizar la metodología del Concreto compactado con rodillo (CCR) para que pueda tener un mejor desempeño de la vía pavimentada con concreto hidráulico.



## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AASHTO guide for Design of Pavement Structures (*Diseño de pavimentos rígidos método AASHTO 93*)

Ministerio de Transporte y Comunicaciones: *Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras no Pavimentadas de bajo volumen de tránsito. R.M. N°304-2008-MTC/02.*

Ministerio de Transporte y Comunicaciones: *Manual de Diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. R.D. N°084-2005-MTC/14.*

Choque, H. (2012). *Evaluación de aditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería - Perú.

Gutiérrez, C. (2014). *Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio (bischofita) frente al cloruro de calcio.* (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma - Perú.

Becerra, J. (2013). *Comparación técnica y económica de ingeniería para evitar el arenamiento en una carretera.* (Tesis de Posgrado). Universidad de Piura - Perú.

Becerra, M. (2013). *Comparación técnico - económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión.* (Tesis de Posgrado). Universidad de Piura - Perú.

Burgos, N. (2008). *Comparación de varias estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, sector Polpaico – la Trampilla.* (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile - Chile.

Gobierno Regional de Huánuco: *Plan de Desarrollo Regional Concertado Huánuco 2014-2021(Reformulado), Junio 2014.*

Ministerio de Transporte y Comunicaciones: *Manual de inventario viales, R.D. N° 09-2014-MTC/14.*

Ministerio de Transporte y Comunicaciones: *Manual de carreteras de conservación vial R.D. N°17-2013-MTC/14.*

Ministerio de Transporte y Comunicaciones: *Manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos D.S. N°10-2014-MTC/14.*

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma técnica de Edificaciones (NTE) CE.010 Pavimentos Urbanos. 2010.*

## **ANEXO I: ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS**

## **ANEXO II: PLANOS TOPOGRÁFICOS**

### **ANEXO III: PANEL FOTOGRAFICO**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En la ciudad universitaria de Cayhuayna a los veinte días del mes de diciembre del 2018, siendo las dieciocho horas, se dio cumplimiento a la Resolución de Decano N° 560-2019-UNHEVAL-FICA-D y la Resolución de Decano N° 773-2018-UNHEVAL-FICA en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, para lo cual en el Auditorio de la Facultad, los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación de Tesis titulada **“EVALUACION TECNICA ECONOMICA ENTRE EL PAVIMENTO FLEXIBLE y RIGIDO PARA MEJORAR LA TRANSTABILIDAD EN EL TRAMO DE LA CARRETERA UNGUYMARAN-LAS PAMPAS-TOMAYQUICHUA-AMBO-HUANUCO 2017”** para optar el Título de Ingeniero Civil de Bachiller Fabian Noe, TRUJILLO CAMPO.

Finalizado el acto de sustentación, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

Miembros del Jurado Declararon. APROBADO con la nota de : QUINCE (15).....

Con el calificativo de : BUENO.....

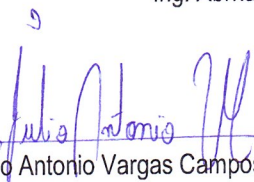
Dándose por concluido dicho acto a las: 7:30 PM.....del mismo día. 20-12-2018

Con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES:.....  
 .....

  
 Mg. Heli Mariano Santiago  
**PRESIDENTE**

  
 Ing. Abrham Adonias Santos Cienfuegos  
**SECRETARIO**

  
 Ing. Julio Antonio Vargas Campos  
**VOCAL**

c.c  
 Archivo.