

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE 1 Km. DE PAVIMENTO DE LA NUEVA VÍA DE EVITAMIENTO EN  
LA CIUDAD DE ABANCAY ( km. 1+000 a 2+000)**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR**

George Zenon Villavicencio Zambrano

**ASESOR:**

Juan Pablo Zamora Beyk.

Lima, agosto 2020

## RESUMEN

La ciudad de Abancay está ubicada al sur de la capital y se estima que tiene una población de 72,300 habitantes. Las principales actividades económicas de la ciudad son el comercio, la crianza de ganado y la elaboración de productos alimenticios. Por esta ciudad circulan las principales vías del país, como la carretera interoceánica y la vía que une la ciudad de Lima y Cusco. En la actualidad, la vía Evitamiento tiene una longitud de 12.8 km. y está conformado por 2 tramos: la primera, es una trocha carrozable en la cual solo circulan vehículos livianos; en cambio, el segundo tramo no está operativo, ya que está cubierto de maleza y árboles. Se espera que la construcción de este último tramo empiece tan pronto inicie las labores de diseño y pavimentación de la nueva vía de Evitamiento. En la presente tesis se realiza el diseño de 1km. de pavimento empleando las metodologías más usadas en el Perú: Instituto del Asfalto, Portland Cement Association y American Association of State Highway and Transportation Officials. Cada variable y parámetro usado en el diseño son datos reales obtenidos en campo y mediante ensayos; por ello, se considera que los resultados obtenidos se asemejan más a la realidad. La operatividad y funcionamiento de esta vía evitará que los vehículos de transporte de pasajeros y de carga pesada ingresen a la ciudad y circulen por las principales calles. Esto beneficiará a los ciudadanos, ya que disminuirá los accidentes vehiculares y descongestionará las calles de la ciudad. A partir del análisis técnico y económico, se concluye que el pavimento rígido resulta la mejor alternativa, ya que presenta un menor costo de inversión para la construcción y mantenimiento durante su periodo de vida.

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.*

*A mi asesor Ing. Juan Pablo, por su guía y consejos durante la elaboración de esta tesis.*



## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
TABLA DE CONTENIDOS .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS .....	vi
1. GENERALIDADES .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Descripción de Proyecto .....	1
1.3. Objetivos y metodología .....	3
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Definición de pavimentos .....	5
2.2. Clasificación de pavimentos .....	6
2.2.1. Pavimento Flexible .....	6
2.2.2. Pavimento Rígido.....	8
2.3. Datos requeridos para el diseño .....	11
2.3.1. Estudio de mecánica de suelos .....	12
2.3.2. Estudio de tráfico .....	12
2.3.3. Estudio pluviométrico .....	12
2.3.4. Estudio de fuentes de agua y canteras .....	13
3. ESTUDIO DE TRÁFICO .....	14
3.1. Índice medio diario anual.....	14
3.2. Tasa de crecimiento anual.....	14
3.3. Factor de carga equivalente por eje .....	16
3.4. Tráfico de diseño .....	20
4. EST. DE FUENTES DE AGUA, CANTERAS Y SUBRASANTE.....	22
4.1. Requisitos de fuentes de agua .....	22
4.2. Requisitos para materiales granulares .....	24
4.3. Canteras .....	27
4.4. Análisis de la subrasante .....	28
5. ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS.....	29
5.1. Estación .....	29
5.2. Clima .....	29
5.3. Precipitaciones .....	30
6. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	33

6.1. Resumen de datos .....	33
6.2. Método AASHTO.....	33
6.2.1. Parámetros de diseño .....	34
6.2.2. Estructura del pavimento flexible.....	37
6.3. Método del Instituto del Asfalto.....	43
6.3.1. Parámetros de diseño .....	43
6.3.2. Estructura del pavimento flexible.....	44
7. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	47
7.1. Resumen de datos .....	47
7.2. Método AASHTO.....	47
7.2.1. Parámetros de diseño .....	48
7.2.2. Cálculo del espesor del pavimento .....	52
7.3. Método de la PCA.....	55
7.3.1. Parámetros de diseño .....	56
7.3.2. Cálculo de espesor de la losa de concreto .....	57
8. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	69
8.1. Análisis de precios unitarios .....	70
8.2. Análisis de propuesta económica para pavimentos flexible y rígido .....	77
9. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES .....	81
BIBLIOGRAFÍA .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista de la vía de evitamiento. ....	2
Figura 2. Metodología del proyecto .....	3
Figura 3. Sección típica de un pavimento.....	5
Figura 4. Distribución de cargas en pavimentos .....	6
Figura 5. Sección típica de un pavimento flexible .....	7
Figura 6. Corte típico de un pavimento rígido .....	10
Figura 7. Tipos de pavimentos rígidos .....	11
Figura 8. Crecimiento económico regional 2009-2016.....	15
Figura 9. Mapa de clasificación climático del Perú .....	29
Figura 10. Temperatura máxima y mínima en Abancay .....	30
Figura 11. Precipitación promedio mensual .....	31
Figura 12. Precipitación promedio anual.....	32
Figura 13. Cálculo de espesor de un pavimento flexible mediante WinPas12.....	37
Figura 14. Gráfico para estimar coeficiente estructural, $a_1$ .....	38
Figura 15. Variación en el coeficiente de capa base granular, $a_2$ .....	39
Figura 16. Variación en el coeficiente de capa subbase granular, $a_3$ .....	39
Figura 17. Procedimiento para determinar $D_i$ de cada capa .....	42
Figura 18. Carta de diseño A-1 .....	44
Figura 19. Carta de diseño A-2 .....	45
Figura 20. Carta de diseño A-3 .....	45
Figura 21. Relación aproximada entre el CBR y el módulo de reacción .....	51
Figura 22. Nomograma para diseño de un pavimento rígido 1 de 2 .....	53
Figura 23. Nomograma para diseño de un pavimento rígido 2 de 2 .....	54
Figura 24. Análisis por erosión – número permisible de repeticiones .....	62
Figura 25. Análisis por fatiga – número permisible de repeticiones.....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM.....	2
Tabla 2. Elementos estructurales de pavimentos rígidos.....	9
Tabla 3. IMD por tipo de vehículo – estación grifo Piloto.....	14
Tabla 4. Tasa de crecimiento poblacional anual en Apurímac .....	15
Tabla 5. Tasa de crecimiento anual promedio .....	16
Tabla 6. EALF para pavimento flexible SN = 5 y Pt = 3 .....	17
Tabla 7. EALF para pavimento rígido D = 9” y Pt = 3 .....	17
Tabla 8. ESAL <sub>D0</sub> para pavimento flexible .....	18
Tabla 9. ESAL <sub>D0</sub> para pavimento rígido.....	19
Tabla 10. Resumen de parámetros de diseño.....	21
Tabla 11. Límites máximos permisibles en el agua .....	22
Tabla 12. Resultado de ensayos – río Mariño.....	23
Tabla 13. Resultado de ensayos – río Pachachaca .....	23
Tabla 14. Resultado de ensayos – Quebrada .....	24
Tabla 15. Requerimientos granulométricos para subbase .....	24
Tabla 16. Requerimientos de calidad para subbase.....	25
Tabla 17. Requerimientos granulométricos para base.....	25
Tabla 18. Valor relativo de soporte CBR .....	26
Tabla 19. Requerimientos de agregado grueso .....	26
Tabla 20. Requerimientos de agregado fino .....	26
Tabla 21. Parámetros de diseño - subrasante .....	28
Tabla 22. Precipitación media diaria – Abancay, mm.....	31
Tabla 23. Resumen de datos - Pavimentos flexibles.....	33
Tabla 24. Niveles de confiabilidad.....	35
Tabla 25. Desviación estandar norma, ZR.....	35
Tabla 26. Valores recomendados para coeficientes de drenaje, mi.....	40
Tabla 27. Resumen de parámetros de diseño para P. Flexible.....	41
Tabla 28. Espesor mínimo .....	41
Tabla 29. Diseño de un pavimento flexible mediante el método AASHTO .....	42
Tabla 30. Módulo de resiliencia de diseño .....	43
Tabla 31. Alternativas de diseño .....	46
Tabla 32. Espesor de un pavimento flexible mediante el método del IA.....	46
Tabla 33. Resumen de datos – Pavimentos Rígidos.....	47
Tabla 34. Valores recomendados de coeficiente de drenaje.....	49
Tabla 35. Coeficiente de transferencia de carga según tipo de pavimento.....	50
Tabla 36. Efecto de la subbase en valores de K’.....	51
Tabla 37. Resumen de parámetros de diseño para un P. Rígido.....	52

Tabla 38. Diseño de pavimento rígido mediante el método AASHTO.....	55
Tabla 39. Pesos máximos por ejes según tipo de vehículos, ton.....	57
Tabla 40. Pesos máximos por ejes según tipo de vehículos, kip.....	58
Tabla 41. Repeticiones de carga durante el periodo de diseño .....	59
Tabla 42. Esfuerzo equivalente – sin berma de concreto para eje simple/tandem.....	59
Tabla 43. Esfuerzo equivalente – sin berma/con berma para eje tridem.....	60
Tabla 44. Factor de erosión – sin berma de concreto para eje simple/tandem .....	61
Tabla 45. Factor de erosión – sin berma/con berma para eje tridem.....	61
Tabla 46. Diseño de pavimento rígido por PCA, 1ra iteración.....	64
Tabla 47. Diseño de pavimento rígido por PCA, 2da iteración .....	65
Tabla 48. Diseño de pavimento rígido por PCA, 3ra iteración.....	66
Tabla 49. Diseño de pavimento rígido por PCA, 4ta iteración .....	67
Tabla 50. Alternativas de diseño mediante el método de la PCA.....	68
Tabla 51. Actividades de mantenimiento de pavimentos flexibles .....	69
Tabla 52. Actividades de mantenimiento de pavimentos rígidos .....	69
Tabla 53. Partida: Perfilado, nivelación y compactación de la subrasante.....	70
Tabla 54. Partida: Subbase granular.....	70
Tabla 55. Partida: Base granular .....	71
Tabla 56. Partida: Imprimación asfáltica.....	71
Tabla 57. Partida: Riego de liga.....	72
Tabla 58. Partida: Pavimento de concreto asfáltico en caliente.....	72
Tabla 59. Partida: Transporte de materiales granulares para distancias menores 1000m. ....	72
Tabla 60. Partida: Transporte de materiales granulares para distancias mayores 1000m. ....	73
Tabla 61. Partida: Transporte de mezclas asfálticas para distancias menores 1000m. ....	73
Tabla 62. Partida: Transporte de mezclas asfálticas para distancias mayores 1000m. ....	73
Tabla 63. Partida: Mantenimiento rutinario.....	73
Tabla 64. Partida: Mantenimiento sellado asfáltico. ....	74
Tabla 65. Partida: Mantenimiento fresado y recapeo.....	74
Tabla 66. Partida: Concreto para pavimento rígido .....	75
Tabla 67. Partida: Dowels 1 1/4" @0.30m. L:0.46m.. .....	75
Tabla 68. Partida: Barras de sujeción 5/8" @0.90m. L:0.80m... .....	76
Tabla 69. Partida: Corte de juntas .....	76
Tabla 70. Partida: Sellado de juntas .....	76
Tabla 71. Partida: Mantenimiento rutinario – pavimento rígido .....	77
Tabla 72. Partida: Mantenimiento resellado de juntas .....	77
Tabla 73. Presupuesto de un pavimento flexible-AASHTO.....	78
Tabla 74. Presupuesto de un pavimento flexible-Instituto del Asfalto .....	78
Tabla 75. Presupuesto de un pavimento rígido-AASHTO .....	79
Tabla 76. Presupuesto de un pavimento rígido-PCA .....	79
Tabla 77. Presupuesto: Mantenimiento de pavimento flexible.....	80



Tabla 78. Presupuesto: Mantenimiento de pavimento rígido ..... 80



# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Introducción

La infraestructura vial es uno de los artífices para el crecimiento de la economía y el desarrollo del país, pues se estima que si la infraestructura mejorara en 1%, el PBI aumentaría en un 0.218%; por lo tanto, habría mayor beneficio para las personas, empresas y sobre todo al gobierno. (Vázquez y Bendezú, 2008).

Uno de los problemas que afronta el país es la accidentada geografía, pues supone una limitación para el desarrollo de la infraestructura vial, lo cual afecta significativamente a la integración territorial y al transporte de bienes y servicios, y transporte de personas; por ello, es necesario el desarrollo de nuevos proyectos viales con la finalidad de obtener mayor beneficio para los peruanos.

Sotil (2014) sostiene que en el año 2012 el Ministerio de Transporte y Comunicaciones reportó que la red de transporte vial bajo su cargo: el 48% de las vías estaban pavimentadas; sin embargo, el 43% estaban sin pavimentar y el 9% de las carreteras estaban en proyecto. La situación para el año 2019 no ha cambiado mucho, pues aún se observan vías sin pavimentar y vías que presentan un estado deplorable, lo cual supone un problema para todas las personas que se transportan de un lugar a otro.

Muchas vías pavimentadas al interior del país presentan fallas considerables y estas son ocasionadas por diferentes motivos como: realizar un diseño inadecuado, emplear materiales de mala calidad, procedimiento constructivo deficiente; sin embargo, hay otros factores como la naturaleza y el clima. Ante esto, es importante realizar un diseño adecuado con la finalidad de evitar fallas en el pavimento y gastar menos recursos económicos para el mantenimiento de las vías.

En este sentido, se desarrolló la construcción de la nueva vía de Evitamiento en la ciudad de Abancay, la cual cumplirá un rol importante y no solo en el desarrollo económico de la ciudad, sino también facilitará la movilización rápida de los vehículos de carga pesada y buses interprovinciales, ya que esta vía evitaría el ingreso de estos vehículos por las principales calles de la ciudad. Por consiguiente, la presente tesis se enfoca en realizar el diseño 1km. de la vía, empleando 2 métodos (pavimentos flexibles y pavimentos rígidos) y luego realizar un análisis económico de ambas propuestas y, por último, elegir la alternativa más conveniente.

## 1.2. Descripción de Proyecto

La nueva vía de evitamiento de la ciudad de Abancay tiene una longitud aproximada de 12.8km. (Figura 1) y se planteó realizar el diseño de pavimentos correspondiente a 1km. de la vía que conecta la antigua carretera Caminos del Inca y la vía Los Libertadores.

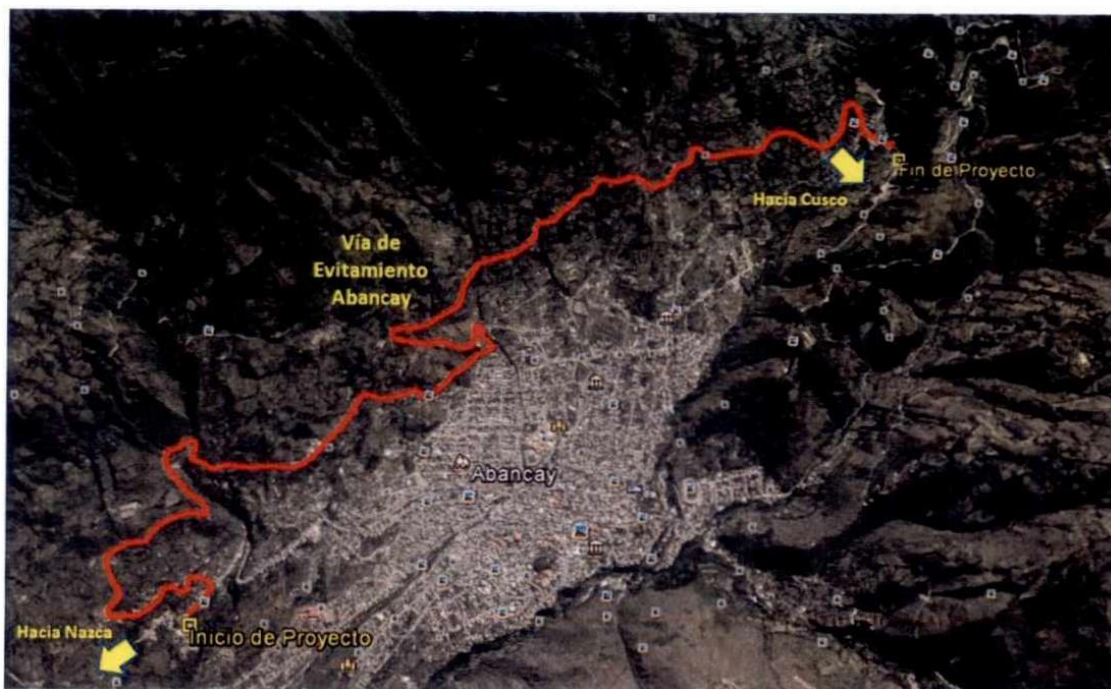


Figura 1. Vista de la vía de evitamiento.

*Nota.* Tomado de Vera & Moreno (2016) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

La ejecución de esta nueva vía permitirá aliviar el tráfico que es ocasionado por los buses interprovinciales y los vehículos de carga pesada, ya que en la actualidad estos ingresan a la ciudad y se movilizan por las principales calles de la ciudad.

### 1.2.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra en la ciudad de Abancay, departamento de Apurímac, ubicada al sur del país. La vía de Evitamiento inicia a la altura del km. 771+680 y finaliza a la altura del km. 780+850, de la actual panamericana que une las ciudades Lima y Cusco.

La zona UTM es 18L y las coordenadas de inicio y fin del proyecto son las siguientes:

Tabla 1

*Coordenadas UTM*

Tramo	Este	Norte
INICIO	726718.45 m	8491125.57 m
FIN	731910.52 m	8494783.67 m

*Nota.* Elaboración propia.

### 1.2.2. Características de la zona

Se encuentra ubicada a unos 914 km. de la capital y está situado sobre los 2400 m.s.n.m. en las faldas del nevado Ampay y al norte de la ciudad de Abancay; así mismo, está ubicada en un terreno bastante accidentado, cubierta de bastante maleza y arboles nativos de la zona. El clima en la zona se caracteriza por presentar veranos e inviernos cálidos y el resto del año nublado; por ello, la temperatura varía entre 5°C y 25°C.

En la actualidad, la vía presenta 2 tramos: el primer tramo consta del km.0+000 al km.7+100 y se caracteriza por presentar una orografía del tipo 3 (terreno accidentado), y el segundo tramo del km. 7+100 al km.12+840 y se caracteriza por presentar una orografía del tipo 4 (terreno escarpado); sin embargo, en el presente proyecto solo se analizará del km.1+000 al km.2+000.

### 1.3. Objetivos y metodología

#### Objetivo General

El objetivo de esta tesis es realizar el diseño de pavimentos de 1km de la nueva vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay, considerando 2 tipos de pavimentos: flexible y rígido.

#### Metodología

La metodología empleada es la siguiente:

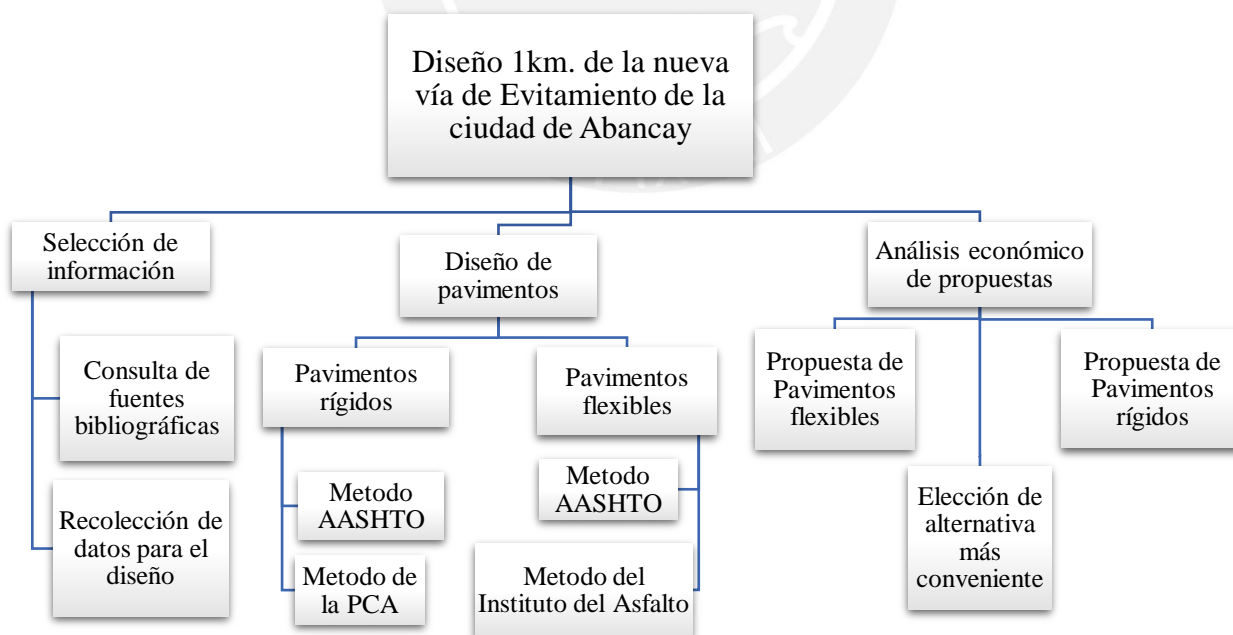


Figura 2. Metodología del proyecto

Nota. Elaboración propia.

En primer lugar, se seleccionará la información más relevante para desarrollar un buen marco teórico. Se consultará a libros, páginas web y manuales de diseño que son establecidos por entes locales (Ministerio de Transporte y otros) y por instituciones extranjeras (Portland Cement Association y American Association of State Highway and Transportation Officials). Así mismo, se realizará la recolección de datos necesarios para el diseño de pavimentos, para ello es necesario consultar a las instituciones que hayan realizado estudios previos en la zona del proyecto y solicitar la información.

En segundo lugar, luego de la recolección de datos requeridos para el diseño, se debe realizar el estudio de transporte, estudio de cantera y agua, y otros, ya que estos datos no son obtenidos de un estudio de suelos, sino de realizar investigaciones en la zona del proyecto y en las zonas aledañas. Terminado esto, se procederá a realizar el diseño de pavimentos rígidos mediante 2 métodos: Portland Cement Association y American Association of State Highway and Transportation Officials; de igual modo, se realizará el diseño de pavimentos flexibles mediante 2 métodos: American Association of State Highway and Transportation Officials y del Instituto del Asfalto.

Por último, se realizará el análisis económico de las 2 propuesta. Se estimará cuanto sería el gasto de la construcción de cada propuesta mediante la realización de análisis de precios unitarios (se tendrá en cuenta la mano de obra, la maquinaria empleada, los materiales y el mantenimiento) para luego calcular el costo total. Una vez calculado el gasto de cada alternativa, se elegirá la opción más conveniente (económico).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición de pavimentos

El pavimento se define como una estructura conformada por una o más capas que posan sobre una superficie apropiada, cuya finalidad es permitir el libre tránsito y soportar las cargas que producen las personas y los vehículos (ligeros y pesados). Esta agrupación de capas, como se muestra en la figura 3, debe proporcionar buen funcionamiento frente a cambios climáticos, permitir desplazamientos seguros y, sobre todo, placenteros. En otras palabras “*Es una estructura construida sobre el terreno existente para facilitar en forma rápida, segura, económica y confortable la circulación de tránsito*” (Olcese, 2017, p.8).

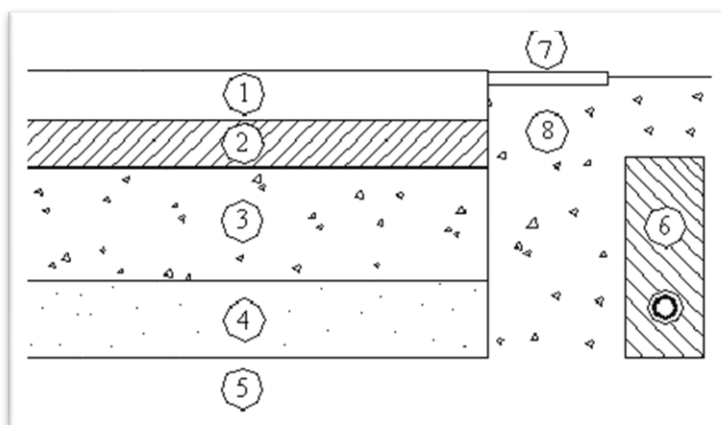


Figura 3. Sección típica de un pavimento

Nota. Tomado de UMSS (2004) Manual completo diseño de pavimentos.

Donde:

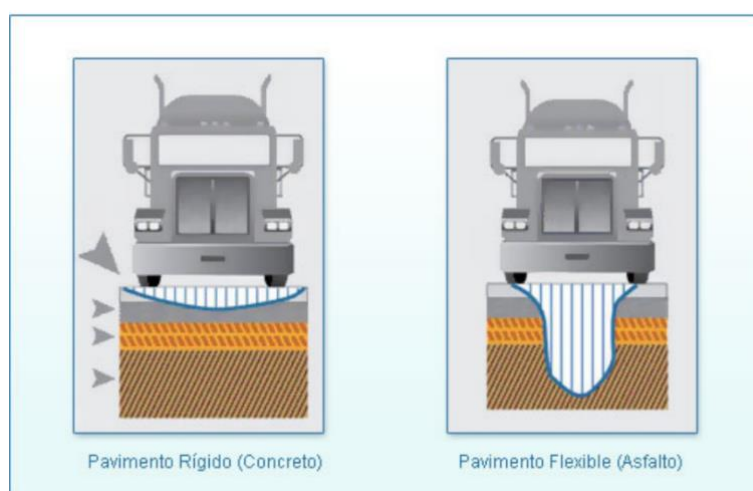
- 1) Capa de rodadura.
- 2) Capa base.
- 3) Capa sub-base.
- 4) Suelo compactado.
- 5) Subrasante.
- 6) Sub-drenaje longitudinal.
- 7) Revestimiento de hombreras.
- 8) Subbase de hombreras.

Los componentes que conforman una vía pavimentada tienen relación directa con la seguridad y la funcionalidad; por ello, es necesario realizar procedimientos constructivos correctos y, además, emplear materiales en buen estado y que cumplan con ciertos parámetros que exigen las normas locales e internacionales.

## 2.2. Clasificación de pavimentos

Según Huang (2004) existen 3 tipos de pavimentos que son los más empleados: pavimentos rígidos, flexibles y compuestos.

La diferencia entre el pavimento rígido y flexible radica en la forma de cómo se transmiten las cargas (Figura 4). El primero, al presentar mayor rigidez ocasiona que el área de distribución de cargas sea grande y que los esfuerzos sean pequeños; en cambio, el segundo presenta menor rigidez, lo cual produce que el área de distribución de cargas sea pequeña; sin embargo, presenta mayores esfuerzos.



*Figura 4. Distribución de cargas en pavimentos*

*Nota.* Tomado de Duravia (2011) Conoce el pavimento // Ciclo de vida.

### 2.2.1. Pavimento Flexible

Se define pavimento flexible a la superficie conformada por varias capas, donde los esfuerzos son mayores en las capas superiores y menores en las capas inferiores. La construcción de este tipo de pavimentos se realiza en vías donde el flujo de vehículos es considerable.

Según Huang (2004), un pavimento flexible está conformado por las siguientes capas: capa de sello asfáltico, capa de rodadura, capa aglutinante, riego de liga, riego de imprimación, base, subbase y subrasante.

En la figura 5 se muestra la sección típica de un pavimento flexible.



*Figura 5. Sección típica de un pavimento flexible*

*Nota.* Tomado de Yang Huang (2004) Pavement Analysis and Design

Capa de sellado asfáltico (Seal coat): Es una capa delgada de asfalto que es empleado para aumentar la resistencia al desplazamiento, donde los agregados que yacen en la capa de rodadura pueden volverse resbaladizos, ya que el tránsito de vehículos puede provocar que estos se pulan. Así mismo, trabaja como agente impermeabilizante de la superficie.

Capa de rodadura (Surface course): Es la capa superior de un pavimento flexible, se suele construir a base de asfalto de mezcla caliente. Esta superficie está en contacto con los vehículos; por ello, debe estar diseñada de tal modo que resista las cargas ejercidas sobre él y debe caracterizarse por ser una superficie suave y, sobre todo, resistente al deslizamiento.

Capa aglutinante (Binder course): Denominado también base de asfalto, es la capa que se encuentra debajo de la superficie de rodadura. Existen 2 motivos por el cual es empleado; el primero, el asfalto de mezcla caliente (HMA) presenta un gran espesor y realizar la compactación en una sola capa es complicado; por lo tanto, es necesario dividirla en 2 capas. El segundo, la capa aglutinante contiene más agregados de tamaño grande y menos asfalto; por lo tanto, es posible reemplazar parte de la capa de rodadura por una capa aglutinante, esto proporcionará un menor costo durante la etapa del diseño.

Riego de liga (Tack coat): Es una emulsión de asfalto diluido en agua, que es empleada para unir 2 capas; por ello, es importante asegurarnos que una capa superior se una adecuadamente a una capa inferior. Los requerimientos que debe cumplir durante su aplicación son las siguientes: debe cubrir toda la superficie a pavimentar de forma uniforme y debe ser muy delgada.

Capa de imprimación (Prime coat): Es una capa de asfalto de baja viscosidad y cuya aplicación es sobre la superficie absorbente. La función de esta es juntar la capa asfáltica con la base



granular. Esta capa se caracteriza por penetrar la superficie y tapar los orificios, lo cual genera una superficie hermética.

Base y sub-base (Base and Subbase courses): La base es una capa de materiales que está compuesta por varios tipos: materiales pétreos, escorias o piedras trituradas. Así mismo, está ubicada entre la sub-base y la capa aglutinante. La sub-base está ubicada debajo de la base y se caracteriza por reducir y distribuir esfuerzos provocados por el tráfico.

Subrasante (Subgrade): La subrasante puede ser una capa de un material o incluso el mismo suelo.

### **2.2.2. Pavimento Rígido**

Pavimento rígido se caracteriza, porque su principal estructura está constituida por una losa de concreto de alta resistencia a flexión y elevado módulo de elasticidad, cuya finalidad es disminuir los esfuerzos y distribuirlos en una superficie más grande; así mismo, por poseer, en algunos casos, juntas de contracción cuya finalidad es evitar el agrietamiento del pavimento.

Higuera (como se citó en Fernández,1985) afirma que los elementos estructurales que componen un pavimento rígido son los siguientes: Subrasante, base, subbase, elementos antifriccionantes, losa y juntas.

La Tabla 2 muestra los elementos estructurales que conforman un pavimento rígido.

Tabla 2

*Elementos estructurales de pavimentos rígidos*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>TIPO</b>	<b>FUNCIONES</b>
SUB-RASANTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>Según sección: <ul style="list-style-type: none"> <li>Subrasante en corte.</li> <li>Subrasante en terraplén.</li> <li>Subrasante mixta.</li> </ul> </li> <li>Según el material: <ul style="list-style-type: none"> <li>Subrasante en roca.</li> <li>Subrasante en suelo arenoso.</li> <li>Subrasante en suelo limoso.</li> <li>Subrasante en suelo plástico.</li> </ul> </li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servir de fundación del pavimento.</li> </ul>
BASE Y SUB-BASE	<ol style="list-style-type: none"> <li>Bases granulares simples: <ul style="list-style-type: none"> <li>Gradación abierta.</li> <li>Gradación media</li> <li>Gradación densa.</li> <li>Gradación Uniforme.</li> </ul> </li> <li>Bases de suelo estabilizada: <ul style="list-style-type: none"> <li>Suelo – cemento.</li> <li>Suelo – asfalto.</li> <li>Suelo – aditivos químicos.</li> </ul> </li> <li>Bases asfálticas.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capa de transición.</li> <li>Dar capacidad al pavimento.</li> <li>Facilitar al drenaje.</li> <li>Servir de rodadura provisional.</li> <li>Facilitar la construcción.</li> <li>Prevenir el fenómeno del bombeo.</li> </ul>
ELEMENTO ANTIFRICCIONANTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgo asfáltico.</li> <li>Tela de polietileno.</li> <li>Otros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir fricción entre la base la losa.</li> </ul>
LOSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>De concreto simple.</li> <li>De concreto reforzado.</li> <li>De concreto pre-esforzado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia estructural.</li> <li>Superficie de rodadura.</li> <li>Impermeabilización.</li> </ul>
JUNTAS	<ol style="list-style-type: none"> <li>Según su función: <ul style="list-style-type: none"> <li>De construcción – contracción.</li> <li>De expansión y alabeo.</li> </ul> </li> <li>Según su posición: <ul style="list-style-type: none"> <li>Longitudinal.</li> <li>Transversal.</li> <li>Suelo – asfalto.</li> </ul> </li> <li>Según su forma: <ul style="list-style-type: none"> <li>Al tope, caras planas.</li> <li>Con luz.</li> </ul> </li> <li>Según refuerzo: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sin pasadores.</li> <li>Con pasadores.</li> </ul> </li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilitar la construcción.</li> <li>Controlar el agrietamiento por expansión, contracción o alabeo de losas.</li> </ul>

*Nota.* Tomado de “Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carretera”, por Carlos Higuera Sandoval (Colombia), 2011.

A continuación, en la figura 6 se representará el corte típico de un pavimento rígido:

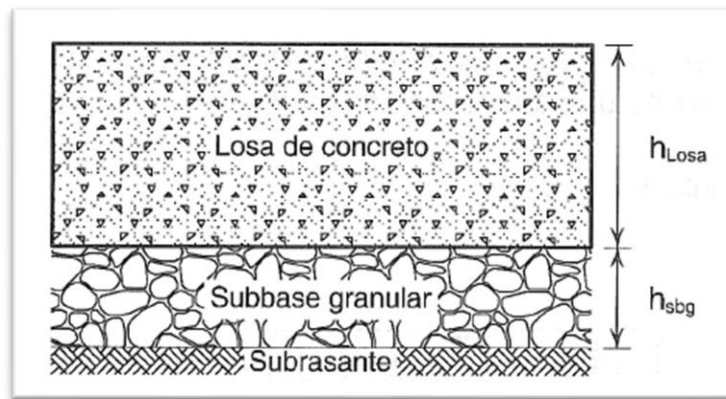


Figura 6. Corte típico de un pavimento rígido

Nota. Tomado de “Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carretera”, por Carlos Higuera Sandoval, 2011.

- Losa de concreto: Es la superficie superior del pavimento y está constituido por concreto. Esta capa se caracteriza por su alta resistencia a flexión. Debido a los materiales que lo conforman se producen cambios de volúmenes; por lo tanto, es necesario el empleo de juntas con la finalidad de evitar agrietamientos.
- Sub-base: Las principales funciones que cumple la sub-base son las siguientes: primero, evita el bombeo, ya que el agua penetra la superficie del pavimento a través de las juntas y grietas, lo cual provoca que el suelo se sature y el suelo fino llegue a la superficie; segundo, aumenta la capacidad de drenaje, ya que esta está conformada de materiales granulares, quienes se caracterizan por tener mayor número de vacíos, lo cual facilita al drenaje y; tercero, controla las variaciones de volumen que se producen en la subrasante. (Vega, 2018)
- Subrasante: Es la superficie que soporta la estructura del pavimento y puede ser la superficie natural o estar conformada en corte y relleno.

De acuerdo con Huang (2014), sostiene que los pavimentos rígidos pueden clasificarse en 4 tipos:

- Pavimento articulado de concreto liso (JPCP): Se caracteriza por no usar acero de refuerzo en su diseño, pero sí de emplear juntas de contracción para controlar los agrietamientos; la separación de las grietas depende de muchos factores, tales como el medio ambiente, las propiedades de los materiales y la experiencia del constructor. Son los más usado, debido a su alto rendimiento.

- Pavimento articulado de concreto armado (JRCP): Se caracteriza por emplear acero de refuerzo y usar juntas de contracción; a diferencia de JPCP este tipo de pavimento posee mayor distancia de separamiento entre juntas.
- Pavimento continuo de concreto reforzado (CRCP): Se caracteriza por no emplear juntas de contracción, lo cual favorece a la aparición de grietas; sin embargo, estas se mantienen unidas, ya que este pavimento emplea acero de refuerzo de forma continua.
- Pavimento de concreto pretensado (PCP): Se caracteriza por tener alta resistencia a compresión; sin embargo, posee muy poca resistencia a tracción. Este tipo de pavimentos no tiene muchos problemas con el agrietamiento, a pesar de que no posee juntas.

En la figura 7 se muestra los diferentes tipos de pavimentos rígidos.

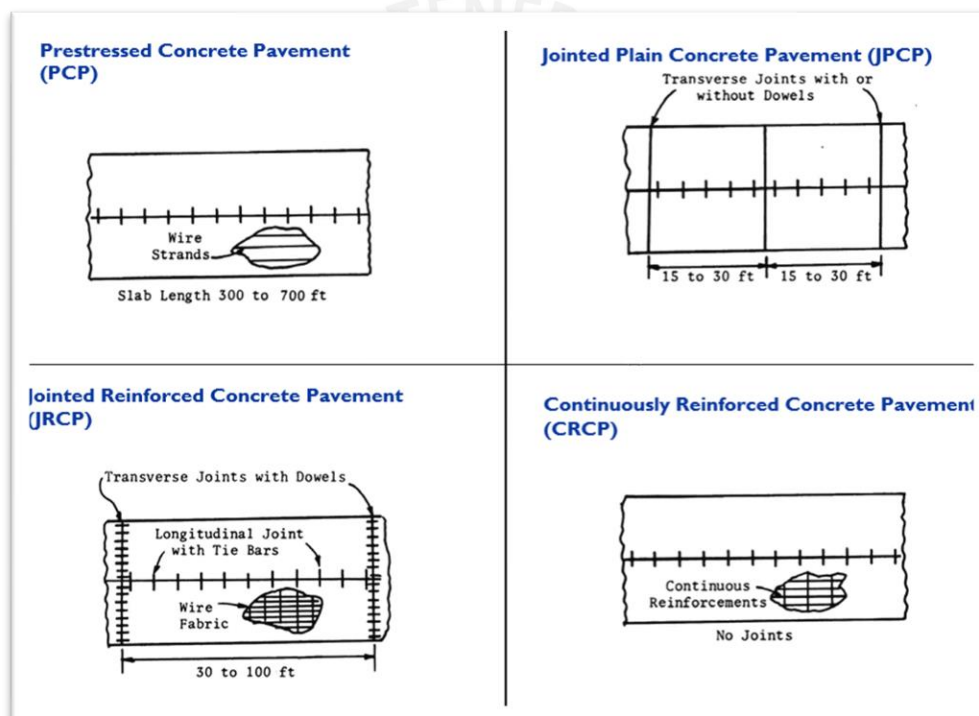


Figura 7. Tipos de pavimentos rígidos

Nota. Tomado de "Diseño de pavimentos", por Olcese, 2017.

### 2.3. Datos requeridos para el diseño

Para realizar un correcto diseño de pavimentos, es necesario realizar estudios previos, los cuales serán detallados a continuación:

### 2.3.1. Estudio de mecánica de suelos

Los ensayos realizados en los laboratorios tienen que cumplir las estipulaciones del Ministerio de Transporte o normas internacionales como las que establece el ASTM y la AASHTO. Según el Manual de Carreteras: sección suelos y pavimentos (2014) los ensayos de laboratorio necesarios a realizar son los siguientes:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-6913)
- Límite líquido y plástico (ASTM D-4318)
- Contenido de humedad (ASTM D-2216)
- Clasificación SUCS (ASTM D-2487)
- Contenido de Sulfatos (ASTM D-516)
- Contenido de Cloruros (ASTM D-512)
- Contenido de sales solubles totales (MTC – E219)
- Clasificación AASHTO (M-145)
- Modulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO (T 274)
- Proctor modificado (ASTM D-1557)
- Equivalente de arena (ASTM D-2419)
- Ensayo de expansión libre (ASTM D-4546)
- Colapsabilidad potencial (ASTM D-5333)
- Consolidación uniaxial (ASTM D-2435)

### 2.3.2. Estudio de tráfico

La demanda de tráfico es uno de los parámetros muy importantes para el diseño; por ello, se debe estimar el número de vehículos que transitarán por la vía, además, observar el número de ejes que poseen estos, ya que es necesario expresar la demanda en términos de la ESAL. Así mismo, se debe analizar cuál es la finalidad de la vía, el número de carriles y otros parámetros más que son básicos para el diseño. En el capítulo 4 se analizará detalladamente cada variable que interviene en el diseño.

### 2.3.3. Estudio pluviométrico

**Temperatura:** Un parámetro muy importante a tener en cuenta es la temperatura, pues existe gran variedad de climas en el Perú, desde climas bajo 0°C hasta superiores de 40°C. La temperatura está relacionada directamente con el pavimento, ya que a temperaturas altas la carpeta asfáltica tiende a deformarse; en cambio, a temperaturas inferiores el pavimento tiende a agrietarse.

**Precipitaciones:** Las precipitaciones tienen impacto considerable en el diseño de los pavimentos. Es necesario estimar la precipitación media de la estación más cercana al proyecto (estación de Granja San Antonio). Este parámetro nos permitirá obtener el valor de “Cd” (método AASHTO) para un pavimento rígido y “m<sub>i</sub>” para pavimentos flexibles.

#### **2.3.4. Estudio de fuentes de agua y canteras**

El estudio de canteras: Es necesario tener la ubicación exacta de la cantera y la calidad de los materiales, ya que de allí se obtendrán los agregados para emplear en la base y sub-base; así mismo, es necesario determinar la distancia al proyecto, pues la distancia influye durante la selección de la fuente de materiales.

Fuentes de agua: Es necesario determinar las fuentes de agua (ríos, lagos, abastecimiento de cisternas entre otros) y la distancia entre esta y el proyecto; así mismo, se debe verificar que la fuente no esté contaminada; por ello, se debe tomar muestras del agua, para realizar los análisis correspondientes.



### 3. ESTUDIO DE TRÁFICO

El estudio de tráfico es un parámetro muy importante y se requiere la suficiente precisión en su cálculo, ya que el diseño del pavimento depende de esta. La demanda fue calculada en base a estudios de conteo que se realizaron en la estación del grifo Piloto, la cual se encuentra muy próxima a la vía de Evitamiento.

#### 3.1. Índice medio diario anual

Para determinar la carga vehicular se realizó el conteo de vehículos (ligeros y pesados) en un tramo de la carretera que une la ciudad de Abancay y Cusco, ya que la nueva vía de Evitamiento no está operativa para la circulación de vehículos de carga pesada y/o pasajeros, pero sí para vehículos ligeros. La tabla 3 muestra el índice medio diario obtenido en la estación del grifo Piloto.

Tabla 3

*IMD por tipo de vehículo – Estación grifo Piloto*

TIPO	IMD
Automóviles	519
C2	168
C3	77
C4	2
T2S2	1
T3S2	3
T3S3	2
C2R2	2
C2R3	2
C3R2	11
C3R3	74
B2	4
B3-1	31
B4-1	1

*Nota.* Tomado de SURVIAL S.A. (2019) Proyecto corredor vial interoceánico sur Perú-Brasil, tramo I.

#### 3.2. Tasa de crecimiento anual

El manual de carreteras (2014) estima que el incremento de tráfico se puede calcular empleando la siguiente fórmula:

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

Tn: Tránsito proyectado al año “n” (veh/día)  
 To: Tránsito actual (veh/día)  
 r: Tasa anual de crecimiento  
 n: Número de años del periodo de diseño

Así mismo, esta institución sostiene que la tasa de crecimiento puede ser calculada empleando factores económicos y de crecimiento poblacional. La tasa anual de crecimiento se asocia con el crecimiento poblacional en vehículos con pasajeros (autos y buses). La tabla 4 muestra el crecimiento poblacional en la región de Apurímac.

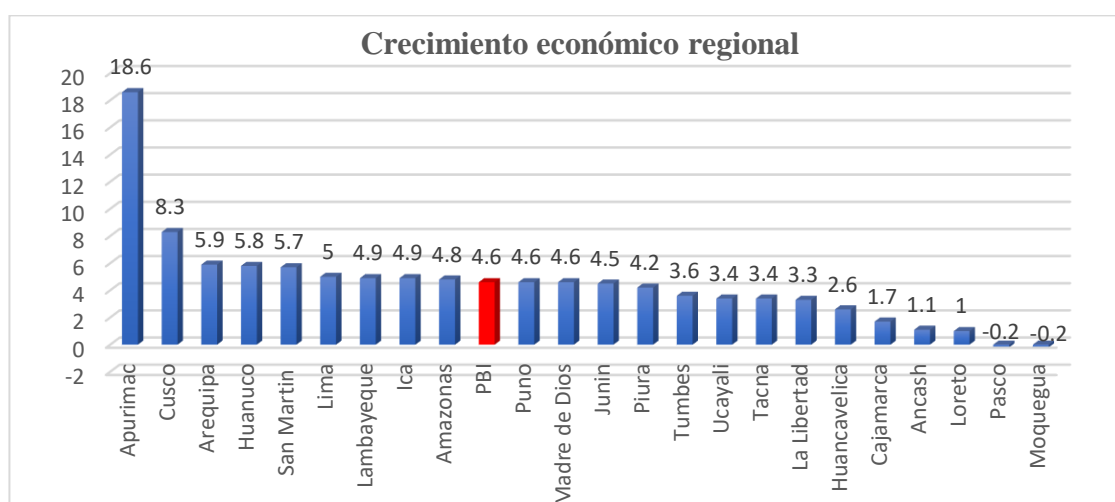
Tabla 4

*Tasa de crecimiento poblacional anual en Apurímac*

Provincia	2007		2017		Variación intercensal		Tasa de crecimiento promedio anual
	absoluto	%	absoluto	%	absoluto	%	
Total	404,190	100.0	405,759	100.0	1,569	0.4	0.0
Abancay	96,064	23.8	110,520	27.2	14,456	13.1	1.4
Andahuaylas	143,846	35.6	142,477	35.1	-1,369	-1.0	-0.1
Antabamba	12,267	3.0	11,310	2.8	-957	-8.5	-0.8
Aymaraes	29,569	7.3	24,307	6.0	-5,262	-21.6	-1.9
Cotabambas	45,771	11.3	50,656	12.5	4,885	9.6	1.0
Chincheros	51,583	12.8	45,247	11.2	-6,336	-14.0	-1.3
Grao	25,090	6.2	21,242	5.2	-3,848	-18.1	-1.7

*Nota.* Tomado de INEI (2018) Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017 Apurímac.

La tasa anual de crecimiento se asocia con el incremento de la economía (PBI) en vehículos de carga pesada. La figura 8 muestra el crecimiento económico del país entre el 2009 y el 2016.



*Figura 8. Crecimiento económico regional 2009-2016*

*Nota.* Tomado de IEDEP (S/F) Apurímac y Cusco lideran crecimiento en regiones en los últimos años.



De acuerdo con la Tabla 4, se obtiene que la tasa promedio anual en la ciudad de Abancay es de 1.4%. Así mismo, a partir de la Figura 8, se observa que el crecimiento económico en Apurímac durante el 2009 al 2016 fue de 18,6%; sin embargo, el Manual de Carreteras recomienda emplear el valor del PBI (4.6%).

Tabla 5  
*Tasa de crecimiento anual promedio*

TIPO DE TRANSPORTE	% TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO	TASA CRECIMIENTO PROMEDIO
T. Carga	38	4.6	2.62%
T. Pasajeros	62	1.4	
	100		

*Nota.* Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5, la tasa de crecimiento anual de tráfico empleada para el diseño será de 2.62%, lo cual es un valor correcto, ya que el Manual de Carreteras recomienda que este valor debe estar entre 2% y 6%.

### 3.3. Factor de carga equivalente por eje

De acuerdo con el AASHTO (1993), es necesario determinar el daño que causa el tránsito de vehículos sobre el pavimento; por ello, estableció el EALF. Este representa el daño producido por el paso de 2 ruedas cargadas con un peso de 8.2 ton. y de la configuración de los ejes.

Huang (2004) afirma que si no se conoce el valor del espesor de un pavimento rígido, durante la etapa de diseño, se puede trabajar con valor estimado de  $D = 9$ ; así mismo, sostiene que los factores equivalentes están basados en un número estructural  $SN = 5$ . Por último, considera que una servicialidad (Pt) de 2.9 es aceptable; por lo tanto, para emplear las tablas que proporciona la AASHTO se trabajará con un  $Pt = 3$ .

Para el cálculo de los ejes equivalentes, se utilizará las tablas anexadas en el Apéndice del AASHTO (D-9, D-10, D-11 y D-18, D-19, D-20) y se realizará siguiendo las recomendaciones de Huang.

La tabla 6 y la tabla 7 muestran el EALF considerado para el diseño del pavimento flexible y rígido.

Tabla 6

*EALF para pavimento flexible SN = 5 y Pt = 3*

Tipo de eje	Carga por eje (ton)	Carga por eje (kips)	EALF
Simple	1	2.2	0.0004
Simple	7	15.4	0.573
Simple	7+7	2(15.4)	1.146
Dual	11	24.3	2.71
Tándem	16	35.3	1.289
Tándem	18	39.7	1.932
Trídem	23	50.7	1.327
Trídem	25	55.1	1.781

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Tabla 7

*EALF para pavimento rígido D = 9" y Pt = 3*

Tipo de eje	Carga por eje (ton)	Carga por eje (kips)	EALF
Simple	1	2.2	0.0004
Simple	7	15.4	0.529
Simple	7+7	2(15.4)	1.058
Dual	11	24.3	3.406
Tándem	16	35.3	2.192
Tándem	18	39.7	3.456
Trídem	23	50.7	2.978
Trídem	25	55.1	4.067

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures

Terminado el cálculo del EALF por configuración del eje, se procederá a calcular el EALF por vehículo y el tráfico promedio durante un periodo de tiempo, para ello se empleará la siguiente formula.

$$ADT_{D0} = \sum EALF_{vehículo} * \text{número de vehículos}$$

Donde:

$ADT_{D0}$ : Trafico promedio durante un periodo de tiempo.

Tabla 8

*ESAL<sub>D0</sub> para pavimento flexible*

	Cargas (ton)					Factor de Eje (EALF)					EALF Vehículo	N° de vehículos	ESAL
	Eje Delantero	Conjunto de ejes posteriores				EJE DELANTERO	Conjunto de ejes posteriores						
		1°	2°	3°	4°		1°	2°	3°	4°			
Automóviles	0.9	0.9	--	--	--	0.0004	0.0004				0.0008	519	0.42
C2	7	11	--	--	--	0.573	2.71				3.283	168	551.54
C3	7	18	--	--	--	0.573	1.932				2.505	77	192.89
C4	7	23	--	--	--	0.573	1.327				1.9	2	3.80
T2S2	7	11	18	--	--	0.573	2.71	1.932			5.215	1	5.22
T3S2	7	18	18	--	--	0.573	1.932	1.932			4.437	3	13.31
T3S3	7	18	25	--	--	0.573	1.932	1.781			4.286	2	8.57
C2R2	7	11	11	11	--	0.573	2.71	2.71	2.71		8.703	2	17.41
C2R3	7	11	11	18	--	0.573	2.71	2.71	1.932		7.925	2	15.85
C3R2	7	18	11	11	--	0.573	1.932	2.71	2.71		7.925	11	87.18
C3R3	7	18	11	18	--	0.573	1.932	2.71	1.932		7.147	74	528.88
B2	7	11	--	--	--	0.573	2.71				3.283	4	13.13
B3-1	7	16	--	--	--	0.573	1.289				1.862	31	57.72
B4-1	7+7	16	--	--	--	1.146	1.289				2.435	1	2.44
												<b>ESAL<sub>D,0</sub></b>	<b>1498.34</b>

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

ESAL<sub>D0</sub> para pavimento rígido

	Cargas (ton)					Factor de Eje (EALF)					EALF Vehículo	N° de vehículos	ESAL
	Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores				Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores						
		1°	2°	3°	4°		1°	2°	3°	4°			
Automóviles	0.9	0.9	--	--	--	0.0004	0.0004				0.001	519	0.42
C2	7	11	--	--	--	0.529	3.406				3.935	168	661.08
C3	7	18	--	--	--	0.529	3.456				3.985	77	306.85
C4	7	23	--	--	--	0.529	2.978				3.507	2	7.01
T2S2	7	11	18	--	--	0.529	3.406	3.456			7.391	1	7.39
T3S2	7	18	18	--	--	0.529	3.456	3.456			7.441	3	22.32
T3S3	7	18	25	--	--	0.529	3.456	4.067			8.052	2	16.10
C2R2	7	11	11	11	--	0.529	3.406	3.406	3.406		10.747	2	21.49
C2R3	7	11	11	18	--	0.529	3.406	3.406	3.456		10.797	2	21.59
C3R2	7	18	11	11	--	0.529	3.456	3.406	3.406		10.797	11	118.77
C3R3	7	18	11	18	--	0.529	3.456	3.406	3.456		10.847	74	802.68
B2	7	11	--	--	--	0.529	3.406				3.935	4	15.74
B3-1	7	16	--	--	--	0.529	2.192				2.721	31	84.35
B4-1	7+7	16	--	--	--	1.058	2.192				3.250	1	3.25
												ESAL <sub>D,0</sub>	2085.38

Nota. Elaboración propia.

### 3.4. Tráfico de diseño

Culminado el cálculo de tráfico promedio ( $ADT_0$ ) para cada pavimento, como paso siguiente se debe determinar equivalent single axle load (ESAL); sin embargo, antes de su cálculo, es necesario determinar parámetros previos que intervienen en el cálculo de la ESAL.

$$ESAL = (ADT)_0(T)(T_f)(G)(D)(L)(365)(Y)$$

Donde:

$ADT_0$ : Tráfico promedio.  
 T: Porcentaje de camiones en el ADT.  
 $T_f$ : factor camión o número de ESAL por camión.  
 G: Tasa de crecimiento .  
 D: Factor de distribución direccional.  
 L: Factor de líneas de tráfico.  
 Y: Periodo de diseño en años.

- Factor de distribución direccional (D): Para una vía en 1 sentido el valor de D será igual a 1 y en caso de 2 sentidos será igual a 0.5; por ello, para la nueva vía de evitamiento que consta 2 sentidos el factor de distribución direccional es igual a 0.5.
- Factor de líneas de tráfico (L): la AASHTO estableció que para una vía de 2 sentidos y 1 carril en cada dirección el valor del factor de líneas de tráfico es igual a 1.
- Periodo de diseño en años (Y): se estableció un período de diseño de 15 años.
- Tasa de crecimiento (G): de acuerdo con Huang (2014), recomienda seguir las sugerencias que establece la AASHTO para el cálculo de la tasa de crecimiento. La AASHTO indica que para calcular el valor GY es necesario el empleo de la siguiente formula:

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento anual (2.62%)  
 Y: Periodo de crecimiento (15)

Empleando la fórmula establecida por la AASHTO, se obtuvo como valor de  $GY = 18.09$  y  $G = 1.21$  para pavimentos flexibles y rígidos.

- T y  $T_f$ : debido a que se realizó un conteo real del número de camiones, no es necesario estimar el porcentaje de vehículos pesado con respecto al tránsito promedio ni el número ESAL por camión; por lo tanto, ambos valores serán igual a 1.

Se presenta la tabla 10, donde muestra el resumen de parámetros de diseño para un pavimento flexible y rígido.

Tabla 10  
*Resumen de parámetros de diseño*

	<b>Flexible</b>	<b>Rígido</b>
<b>ADT<sub>D0</sub></b>	1498.34	2085.38
<b>D</b>	0.5	0.5
<b>L</b>	1	1
<b>GY</b>	18.09	18.09
<b>Y</b>	15	15
<b>G</b>	1.21	1.21
<b>T</b>	1	1
<b>TF</b>	1	1
<b>ESAL</b>	4.95E+06	6.88E+06

*Nota.* Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos y mostrados en la Tabla 10, se observa que el pavimento a diseñar estará expuesto a valores de ESAL mayores a  $10^6$ ; por lo tanto, se concluye que sobre la vía de evitamiento se registrará tráfico alto.

## 4. EST. DE FUENTES DE AGUA, CANTERAS Y SUBRASANTE

### 4.1. Requisitos de fuentes de agua

La ubicación y la distancia de la fuente de agua al proyecto, es un factor importante cuando se hace la elección, además es necesario que la fuente tenga la suficiente disponibilidad y que cumpla con estándares necesarios para su uso. Hay muchas fuentes de agua como los ríos, agua potable, agua no potable, agua combinada y agua recuperada; sin embargo, es necesario que cumplan con los requisitos necesarios para su uso en la elaboración de concreto.

La tabla 11 presenta los límites permisibles que debe cumplir una fuente de agua.

Tabla 11

*Límites máximos permisibles en el agua*

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad Und.</b>
Cloruros	300 p.p.m.
Sulfatos	300 p.p.m.
Sales de magnesio	150 p.p.m.
Sales solubles totales	500 p.p.m.
pH	6-8
Sólidos en suspensión	500 p.p.m.
Materia orgánica	3 p.p.m.
Alcalinidad total	1000 p.p.m.
Álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ )	600 p.p.m.

*Nota.* Tomado de SEDAPAL (2017) Especificaciones técnicas de obras de concreto.

Para la elaboración de concreto, humedecimiento de agregados y otras actividades se analizaron 3 fuentes de agua: fuente río Mariño, fuente río Pachachaca y fuente la Quebarada. Estas posibles fuentes han sido sometidas a exámenes para analizar los componentes del agua; así mismo, se analizaron el estado de las vías y accesos.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos de cada una de las fuentes.

#### a) Río Mariño

La vía de acceso al río Mariño requiere adecuado mantenimiento y mejoramiento, ya que es una trocha que se encuentra en mal estado. Se realizaron ensayos de calidad de agua para el uso en mezclas de concreto de cemento portland y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12

*Resultado ensayos – río Mariño*

<b>Ensayo</b>	<b>Und.</b>	<b>Río Mariño</b>	<b>Calificación</b>
Sales solubles Totales	Ppm	208	Ok
Sulfatos	Ppm	6.81	Ok
Cloruros	Ppm	64.10	Ok
Materia orgánica	Ppm	2.11	Ok
pH	-	7.55	Ok

*Nota.* Tomado de Vera & Moreno (2015) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

### **b) Río Pachachaca**

El río Pachachaca se ubica a la altura del kilómetro 438+461 de la vía que une las ciudades de Nazca y Abancay. El acceso a la fuente es por una trocha de 100m. de longitud que se encuentra en regular estado. Se realizaron ensayos de calidad de agua para el uso en mezclas de concreto de cemento portland y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13

*Resultado ensayos – río Pachachaca*

<b>Ensayo</b>	<b>Und.</b>	<b>Río Mariño</b>	<b>Calificación</b>
Sales solubles Totales	Ppm	238	Ok
Sulfatos	Ppm	158.84	Ok
Cloruros	Ppm	7.63	Ok
Materia orgánica	Ppm	2.61	Ok
pH	-	7.63	Ok

*Nota.* Tomado de Vera & Moreno (2015) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

### **c) La Quebrada**

La fuente más cercana al proyecto es la fuente la Quebrada, esta se ubica en la vía de evitamiento; sin embargo, el acceso a esta requiere un mejoramiento. Se realizaron ensayos de calidad de agua para el uso en mezclas de concreto de cemento portland y se obtuvieron los siguientes resultados:



Tabla 14

*Resultado ensayos – Quebrada*

<b>Ensayo</b>	<b>Und.</b>	<b>Río Mariño</b>	<b>Calificación</b>
Sales solubles Totales	Ppm	452	Ok
Sulfatos	Ppm	176.30	Ok
Cloruros	Ppm	14.11	Ok
Materia orgánica	Ppm	2.93	Ok
pH	-	7.38	Ok

*Nota.* Tomado de Vera & Moreno (2015) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las 3 fuentes, se concluyen que son aptos para la elaboración de concreto y/o humedecimiento de agregados.

#### **4.2. Requisitos para materiales granulares**

Los agregados empleados para la base y subbase del pavimento flexible deben cumplir con los siguientes requerimientos:

##### **I. Subbase**

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones recomienda que los agregados que serán usados como subbase deben cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 15

*Requerimientos granulométricos para Subbase*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa en peso</b>			
	<b>Gradación A</b>	<b>Gradación B</b>	<b>Gradación C</b>	<b>Gradación D</b>
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013)

Así mismo, es necesario que se realicen los siguientes ensayos y que cumplan con los requerimientos que establece el MTC.

Tabla 16

*Requerimientos de calidad para Subbase*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	MTC E207	50 % máximo	
CBR de laboratorio	MTC E132	40 % mínimo	
Límite Líquido	MTC E110	25 % máximo	
Índice de Plasticidad	MTC E111	6 % máximo	4 % máximo
Equivalente de arena	MTC E114	25 % mínimo	35 % mínimo
Sales Solubles Totales	MTC E219	1 % máximo	
Partículas Chatas y Alargadas	---	20 % máximo	

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013)

## II. Base

Los materiales granulares empleados para la base, deben cumplir con los requerimientos granulométricos que establece El Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Tabla 17

*Requerimientos granulométricos para Base*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013)

Así mismo, el material granular debe satisfacer con las siguientes características físico-mecánicas:

Tabla 18

*Valor relativo de soporte CBR*

CBR	Tráfico en ejes equivalentes (<10 <sup>6</sup> )	Min. 80 %
	Tráfico en ejes equivalentes (>10 <sup>6</sup> )	Min. 100 %

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013)

Adicionalmente, existen requisitos de acuerdo con el tipo de agregado (grueso y fino). Se estableció que un material es agregado fino cuando la totalidad de sus partículas pasan la malla N° 4; caso contrario sucede con el agregado grueso, pues sus partículas son retenidas en la malla N° 4.

Las siguientes tablas muestran los requisitos que deben cumplir los agregados finos y gruesos.

Tabla 19

*Requerimientos de agregado grueso.*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Partículas con una cara fracturada	MTC E210	80 % mínimo	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E210	40 % mín.	50 % mín.
Abrasión los ángeles	MTC E207	40 % máximo	
Partículas Chatas y Alargadas	---	15 % máximo	
Sales Solubles Totales	MTC E219	0.5 % máximo	
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E209	---	18 % máx.

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013).

Tabla 20

*Requerimientos de agregado fino*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Índice plástico	MTC E111	4% máx.	2 % mín.
Equivalentes de arena	MTC E114	35 % mín.	45 % mín.
Sales solubles	MTC E219	0.5 % máximo	
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E209	---	15%

*Nota.* Tomado de Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013).

### 4.3. Canteras

Se analizaron todas las canteras cercanas a la ciudad; sin embargo, se eligió la cantera ubicada a la altura del puente Sahuynto, la cual se encuentra ubicada a 20 minutos y 14.4 km. del proyecto, y cuenta con la cantidad requerida para el desarrollo del proyecto. Los materiales ubicados en dicha cantera fueron sometidos a los siguientes ensayos y los resultados serán adjuntos en el anexo:

- Análisis Granulométrico de agregados gruesos y finos. (ASTM C136 / MTC E204)
- Determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. (ASTM D4318 / MTC E110 / MTC E111).
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (ASTM D1557 / MTC E115)
- Equivalente de arena, suelos y agregados finos. (ASTM D2419 / MTC E114)
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados. (ASTM D5821 / MTC E210)
- Índice de aplanamiento de los agregados para carreteras. (MTC E221 / NLT 354)
- CBR de los suelos. (ASTM D1883 / MTC E132 / EG2000)
- Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles. (ASTM D1888 / MTC E219)

A partir de los Ensayos que se realizaron, se concluye lo siguiente:

- De acuerdo con el análisis granulométrico del material empleado para la subbase (tipo A) cumple con los requerimientos establecidos en la Tabla 16; así mismo, mediante el ensayo California Bearing Ratio (CBR), referido al 100% de máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1", se obtuvo como resultado 73% y es mayor al valor mínimo admitido (40%). No presenta límite líquido ni plástico; por lo tanto, tampoco presenta índice de plasticidad. A partir del ensayo equivalente de arena, se obtuvo como resultado 41%, lo cual es mayor al mínimo recomendado. En conclusión, el material es apto para emplear como subbase.
- El material empleado como base granular (tipo A) cumple con los requerimientos granulométricos para base granular; así mismo, mediante el ensayo California Bearing Ratio (CBR), referido al 100% de máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1", se obtuvo como resultado 102.4%, lo cual muestra un valor aceptable, ya que para un tráfico equivalente  $>10^6$  establece que el mínimo es 100%. No presenta límite líquido ni

plástico; por lo tanto, tampoco presenta índice de plasticidad. El porcentaje con una cara fracturada es 85.7% y con 2 caras fracturadas es 68.2% y son mayores a los valores mínimos que recomienda el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. A partir del ensayo de índice de aplanamiento se obtuvo como resultado que las partículas chatas y largas son el 8%. En conclusión, el material es apto para emplear como base.

#### 4.4. Análisis de la subrasante

Para el diseño de pavimentos es necesario realizar el estudio de mecánica de suelos de la subrasante, con la finalidad de obtener parámetros importantes como la clasificación de los suelos (AASHTO y SUCS) y el valor del CBR al 95%. A continuación, se presentará el procedimiento seguido: se realizó una calicata en la progresiva 1+200 y se obtuvieron 2 muestras; la primera M-1 a una profundidad de -0.40m. y la segunda M-2 a una profundidad de -1.50m. Por último, la muestra M-2 fue sometida a diferentes ensayos.

La tabla 21 muestra los parámetros de diseño de la subrasante.

Tabla 21

*Parámetros de diseño – Subrasante*

Progresiva (km.)	Clasificación		CBR		PROCTOR ASTM	
	AASHTO	SUCS	100%	95%	Dmax	Hopt.
1+200	A-2-4(0)	SM	32.4	25.6	2.136	9.5

*Nota.* Tomado de Vera & Moreno (2015) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la subrasante, el pavimento será diseñado sobre un suelo granular, específicamente sobre una arena limosa; así mismo, para el diseño del pavimento se considerará el CBR al 95% y se obtuvo un resultado de 25.6%, lo cual muestra que la subrasante tendrá un comportamiento bueno.

## 5. ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS

### 5.1. Estación

La estación elegida para realizar los estudios pluviométricos está ubicada en la provincia de Abancay, específicamente en el distrito de Tamburco. La estación granja San Antonio se encuentra a una latitud de  $13^{\circ}36'17.7''$ , longitud de  $72^{\circ}51'25''$  y a una altitud de 2795 msnm. Para la presente tesis se analizó la información desde el 2015 hasta la actualidad.

### 5.2. Clima

Para analizar el clima en la ciudad de Abancay, se recurrió al mapa de clasificación climático que fue establecido por el SENAMHI, quien es el encargado de analizar y determinar los datos hidrometeorológicos a nivel nacional. La figura 9 muestra el mapa de clasificación climático en el Perú.

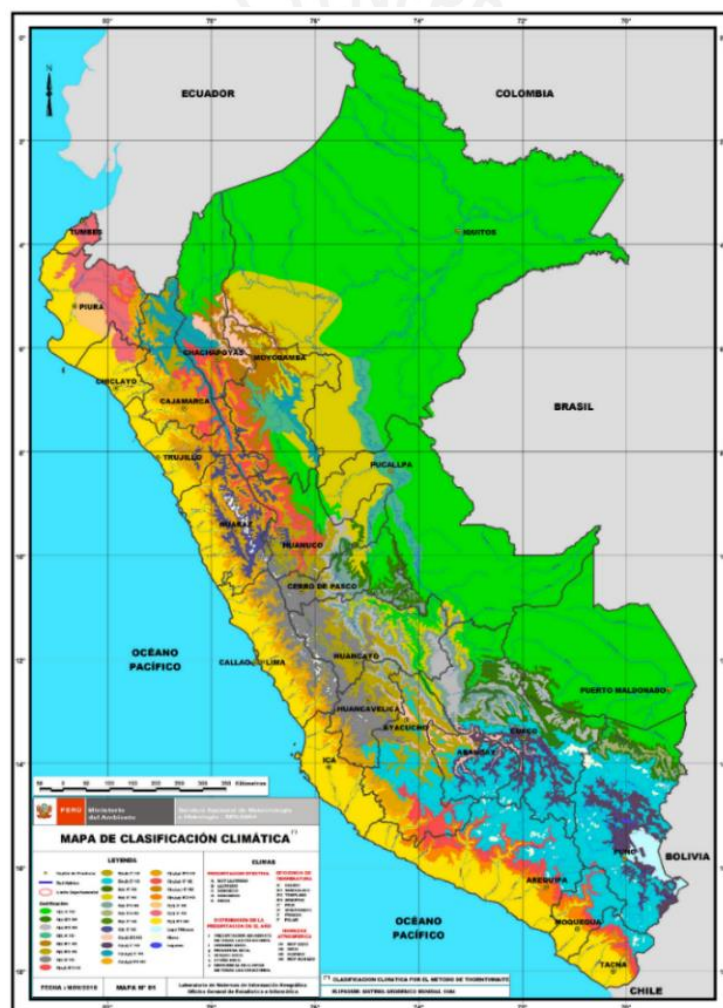


Figura 9. Mapa de clasificación climático del Perú

Nota. Tomado de SENAMHI (2019)

De acuerdo con la Figura 9, la ubicación del proyecto pertenece a una zona cuya codificación es C(o,i) B”2 H3; esto quiere decir que la precipitación afectiva es semiseca y que presenta otoños e inviernos secos; así mismo, la temperatura es templada y la humedad atmosférica es húmeda. Por otro lado, según el portal Weather Spark (2019) la temperatura en la ciudad de Abancay varía de acuerdo con la temporada, ya que durante la temporada templada se registra una temperatura máxima de 24 °C y mínima de 11°C en promedio; sin embargo, durante la temporada fresca se registraron temperaturas máximas y mínimas de 23 °C y 5°C en promedio.

A continuación, se mostrará la temperatura máxima y mínima en promedio:

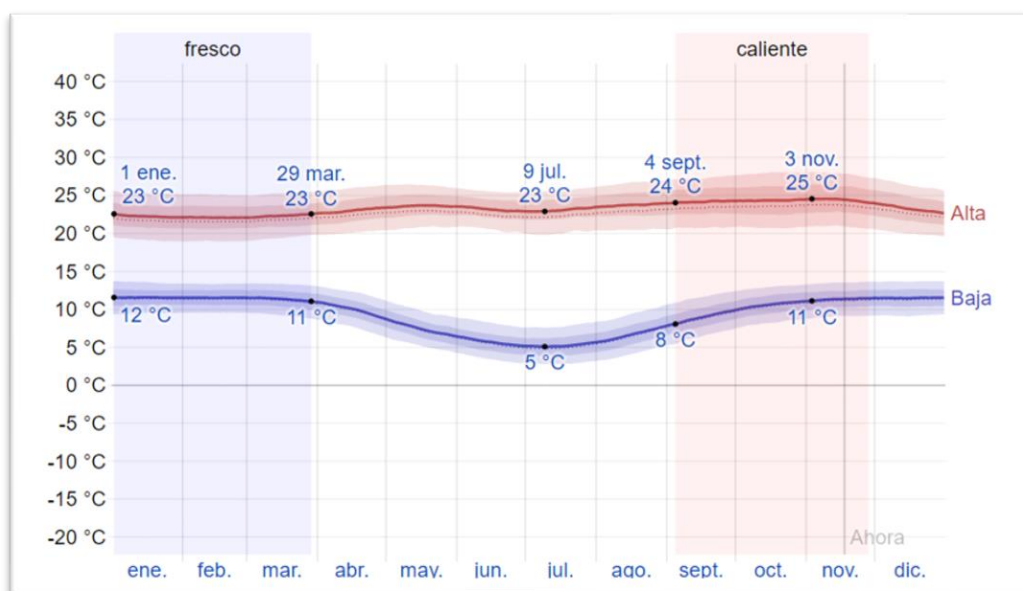


Figura 10. Temperatura máxima y mínima en Abancay

Nota. Tomado de Weather Spark (2019) El clima promedio en Abancay

Acorde con la Figura 10, podemos concluir que la temperatura máxima en promedio varía entre 23 y 25 °C durante el año, y la temperatura mínima varía entre 12 y 5°C, siendo los meses de junio y julio los más fríos en la ciudad. Para la presente tesis, se trabajará con una temperatura máxima de 24 °C y mínima de 10°C en promedio.

### 5.3. Precipitaciones

A partir de los datos hidrometeorológicos que se obtienen a cada hora en la estación Granja San Antonio, se calculó la precipitación media diaria a partir del 2015 hasta la actualidad. La tabla 22 muestra la precipitación media diaria obtenida en la estación más cercana al proyecto.

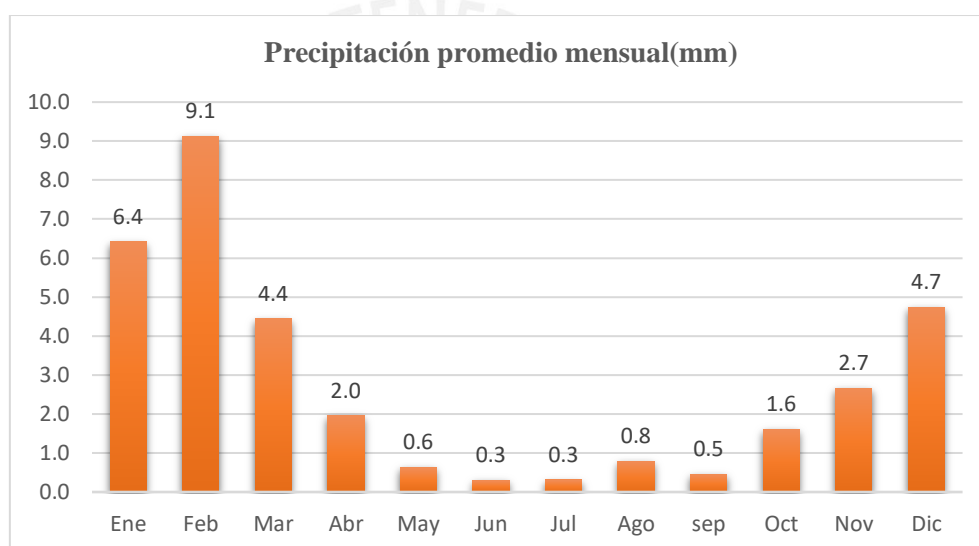
Tabla 22

*Precipitación media diaria – Abancay, mm*

	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>
<b>2015</b>	6.9	8.2	4.9	2.5	0.6	0.0	0.3	1.0	0.3	1.3	3.1	5.0
<b>2016</b>	2.2	9.7	1.5	2.9	0.1	0.2	0.3	0.5	0.0	0.0	3.3	5.5
<b>2017</b>	7.7	7.6	5.5	1.8	1.4	0.1	0.0	0.6	0.7	1.8	2.3	4.7
<b>2018</b>	5.7	9.9	5.7	1.6	0.4	1.2	0.6	1.7	0.5	3.3	2.0	3.7
<b>2019</b>	9.6	10.3	4.6	1.0	0.7	0.0	0.4	0.0	0.7			

*Nota.* Tomado de SENAMHI (2019)

A partir de la tabla 22, se procedió a calcular la precipitación promedio mensual y anual.

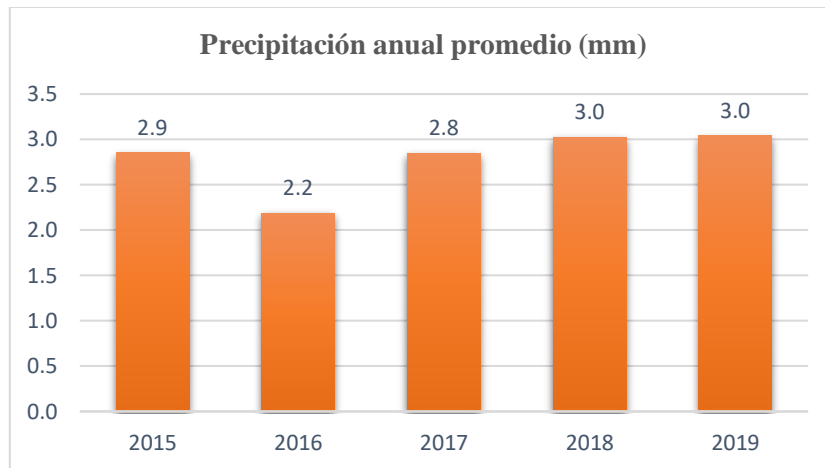


*Figura 11. Precipitación promedio mensual*

*Nota.* Elaboración propia

Según la Figura 11, se observa que durante la mitad del año se presentan lluvias fuertes, especialmente entre los meses de noviembre y marzo, ya que presentan precipitaciones superiores a los 2.5mm; sin embargo, entre los meses de mayo y septiembre se registran solo lloviznas; por ello, las precipitaciones durante estos meses son inferiores a 1mm.

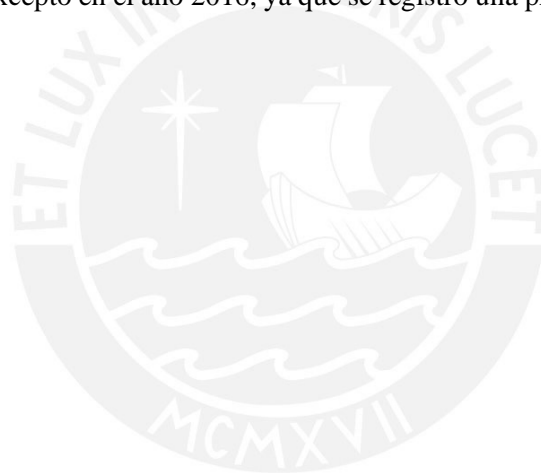




*Figura 12. Precipitación promedio anual*

*Nota.* Elaboración propia

A partir de la Figura 12, concluimos que en los últimos años la precipitación promedio total se ha mantenido constante, excepto en el año 2016, ya que se registró una precipitación anual de 2.2mm. en promedio.



## 6. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

En el presente capítulo se realizará el diseño de pavimentos flexibles, considerando el método establecido por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y por el Instituto del Asfalto; así mismo, se analizarán y determinarán las variables que intervienen en el desarrollo de cada método.

### 6.1. Resumen de datos

En capítulos anteriores se realizó el estudio de tráfico, estudio de mecánica de suelos y canteras, y los estudios pluviométricos. La tabla 23 muestra el resumen de datos necesarios para realizar el diseño de un pavimento flexible.

Tabla 23

*Resumen de datos – Pavimentos flexibles*

<b>ESTUDIOS DE TRÁFICOS</b>	
Tasa de crecimiento	2.62%
ESAL para pavimento flexible	4.95E+06
<b>ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>	
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)
Clasificación SUCS	SM
CBR 95%	25.6
<b>ESTUDIO DE CANTERAS</b>	
Nombre de la cantera	Puente Sahuynto
Tipo de gradación	A
Clasificación SUCS y AASHTO base	GP-GM / A-1-a(0)
Clasificación SUCS y AASHTO subbase	GW / A-1-a(0)
CBR base	102.40%
CBR subbase	73%
<b>ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS</b>	
Temperatura	24°C -10°C
Máxima precipitación anual	9.1 mm
Máxima precipitación mensual	3.0 mm

*Nota.* Elaboración propia

### 6.2. Método AASHTO

El diseño de pavimento flexible estará basado en las consideraciones que toma el manual AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (1993). La metodología establecida por el AASHTO tiene en cuenta muchos factores como el comportamiento del pavimento, tráfico,

materiales de construcción, drenaje y otros parámetros importantes; por ello, desarrollo una ecuación que este en función de estos parámetros y permita calcular el número estructural (SN).

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \text{Log}_{10}(\text{SN}+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

- $W_{18}$ : Número provisto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18 kips.  
 $Z_R$ : Desviación estándar normal.  
 $S_0$ : Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento de la estructura.  
 $\Delta\text{PSI}$ : Diferencia entre el índice de servicialidad inicial de diseño y el índice terminal de servicialidad terminal de diseño.  
 $M_R$ : Módulo resiliente (psi).

Así mismo, la AASHTO estableció como método alternativo a la fórmula el empleo de nomogramas para determinar del número estructural (SN).

### 6.2.1. Parámetros de diseño

- **Tráfico de diseño:** De acuerdo con el IMD y otras variables indicadas en el capítulo 3, se calculó el equivalent single axle load (ESAL) cuyo resultado para un pavimento flexible es 4.95E+06. Este resultado muestra que sobre la nueva vía de Evitamiento habrá un tráfico alto.
- **Periodo de diseño:** Para la vía de Evitamiento se estableció como periodo de diseño igual a 15 años, debido a que habrá un tráfico alto.
- **Confiabilidad (R):** Para el diseño de una vía es necesario considerar un cierto grado de confiabilidad que nos asegure que el pavimento sobrevivirá para el periodo que fue diseñado. Así mismo, la AASHTO (1993) sostiene que el nivel de confiabilidad dependerá de la condición rural o urbana, y de la clasificación funcional.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (1993) sostiene que una vía, de acuerdo con su función, se clasifica en los siguientes:

- a) Interestatal y otras.
- b) Arterial
- c) Colector
- d) Local

A partir de las características, se concluye que esta será una vía interestatal y cuya condición es rural.

Tabla 24

*Niveles de confiabilidad*

Functional Classification	Recommended 35eve lof Realiabilily	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85 – 99.9	80 – 99.9
Principal Arterials	80 – 99	75 – 95
Collectors	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el nivel de confiabilidad recomendado por la AASHTO estará entre 80 y 99.9%; por lo tanto, se optó por elegir el promedio. En conclusión, la confiabilidad es igual a 90%.

- **Desviación estándar normal ( $Z_R$ ):** La AASHTO establece que la confiabilidad está relacionada directamente con la desviación estándar normal.

Tabla 25

*Desviación estándar normal,  $Z_R$* 

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

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Según la tabla 25, para una confiabilidad de 90%, corresponde una desviación estándar normal ( $Z_R$ ) de -1.282.

- **Desviación estándar general ( $S_0$ ):** Olcese (2017) afirma que la desviación estándar general se trata de un coeficiente que toma en consideración los errores cometidos durante el proceso constructivo y, además, tiene en cuenta las variaciones de las propiedades de los materiales, estimaciones de tráfico y otros.

La AASHTO (1993) sugiere emplear un valor de 0.44 cuando el tráfico ha sido medido y 0.49 cuando ha sido estimado. De acuerdo con el capítulo 3, la empresa SURVIAL S.A. realizó el conteo de vehículos; por ello, el valor de la desviación estándar general ( $S_0$ ) es igual a 0.44.

- **Módulo de resiliencia de la subrasante ( $M_R$ ):** El módulo de resiliencia es una medida de las características elásticas del suelo que reconoce sus propiedades no lineales. (Olcese, 2017).

La Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (2010) establece el cálculo del módulo de resiliencia en función al tipo de suelo, sin la necesidad de realizar ensayos de laboratorio. Para la subrasante cuyo tipo de suelo según SUCS es "SM", indica que el  $M_R$  es igual a 20000psi y para una clasificación según la AASHTO "A-2-4(0)" el  $M_R$  es igual a 20000psi. Sin embargo, la AASHTO (2008) establece una ecuación que relaciona el CBR de la subrasante con el módulo de resiliencia:

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64}$$

En conclusión, se tomará en consideración lo establecido por la AASHTO, ya que se realizaron ensayos de laboratorio. Para un CBR de 25.6% de la subrasante se obtuvo como resultado que el módulo de resiliencia es igual a 20355psi.

- **Pérdida de servicialidad ( $\Delta PSI$ ):** La AASHTO (1993) sostiene que la servicialidad inicial es 4.2 para un pavimento flexible estable. En el capítulo 3, se estableció un  $P_t$  igual a 3, ya que se tomó en cuenta las consideraciones que estableció Huang, quien indicó que un valor de 2.9 es aceptable. La pérdida de servicialidad se define como la diferencia entre la servicialidad inicial y final.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

De acuerdo con la ecuación, se obtuvo como resultado  $\Delta PSI$  igual a 1.2.

### 6.2.2. Estructura del pavimento flexible

La AASHTO (1993) recomienda emplear la siguiente ecuación, para el cálculo del número estructural, en la cual intervienen variables como el coeficiente de drenaje y otros.

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

Donde:

- SN: Número estructural.
- A<sub>i</sub>: Coeficiente de capa i.
- D<sub>i</sub>: Espesor de capa i.
- m<sub>i</sub>: Coeficiente de drenaje de la capa i.

- **Número estructural (SN):**

*“Es un número adimensional abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento, requerida para un número de combinaciones de soporte del suelo (MR), ESALs, ΔPSI, y m<sub>i</sub>. El SN requerido puede ser convertido a espesores reales de carpeta de rodadura base y subbase, por medio de coeficientes de capa apropiados que representan la resistencia relativa de los materiales de construcción”.* (RNE, 2010, p.43). De acuerdo con la fórmula establecida en la sección 6.2, se calculó el número estructural cuyo resultado es 3.25.

Así mismo, se verificó el resultado empleando el software WinPAS 12 (2014) desarrollado por la American Concrete Pavement Association. La figura 13 muestra el cálculo del espesor de un pavimento flexible empleando el software WinPas12

The screenshot shows the 'Asphalt Design Inputs' window in WinPas12. The window is titled 'Asphalt Design Inputs' and contains two main sections: 'Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs' and 'Asphalt Pavement Design/Analysis'. In the first section, the 'Asphalt Structural Number' is set to 3.25. Below it is a 'Calculate Asphalt Structural Number' button. Other inputs include 'Total Flexible ESALs' (4,950,000), 'Reliability' (90.00%), 'Overall Standard Deviation' (0.44), 'Subgrade Resilient Modulus' (20,354.0 psi), 'Initial Serviceability' (4.20), and 'Terminal Serviceability' (3.00). In the second section, the 'Asphalt Structural Number' is displayed as 3.25, and there is a 'Solve For' button. The window also has 'Save and Close' and 'Help' buttons on the right side.

Figura 13. Cálculo de espesor de un pavimento flexible mediante WinPas12

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la comparación de ambos resultados, se concluye que el número estructural calculado es el correcto.

- **Coefficiente de capa ( $a_1$ ):** El coeficiente de capa muestra la resistencia que posee cada capa que conforma el pavimento; por ello, para cada coeficiente se le asigna un número, con la finalidad de convertir el espesor en número estructural (SN). Para el diseño de un pavimento flexible se establecieron 3 coeficientes:

$a_1$ : corresponde a la carpeta asfáltica

$a_2$ : corresponde a la base granular

$a_3$ : corresponde a la subbase granular

Para determinar el valor de  $a_1$ , la AASHTO recomienda emplear la Figura 14, donde el coeficiente  $a_1$  depende de su módulo de elasticidad. La AASHTO (1993) recomienda para una carpeta asfáltica en caliente el valor de  $a_1$ , está en el rango de 0.40 y 0.44; sin embargo, para la presente tesis se trabajará con un valor igual a 0.40.

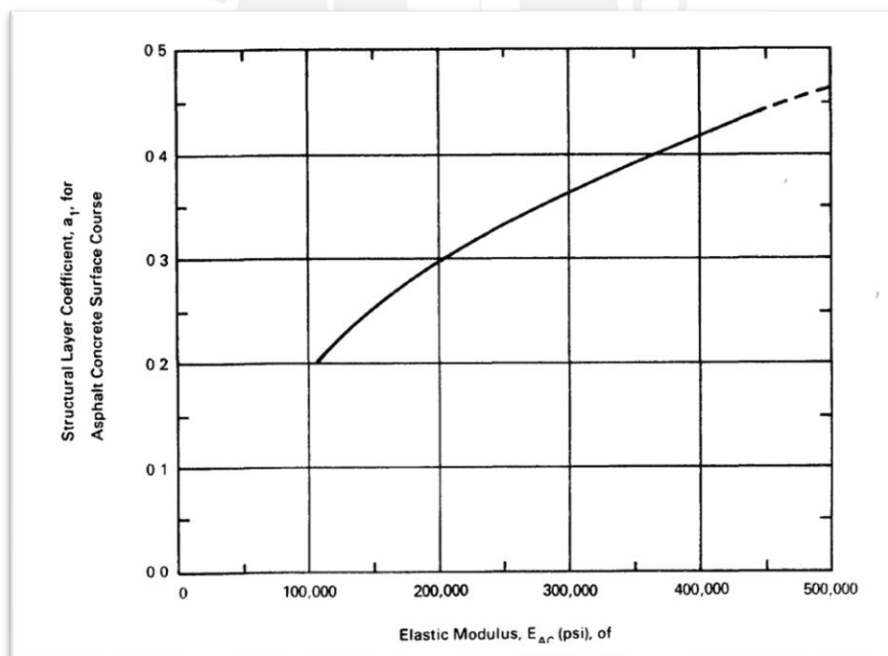


Figura 14. Gráfico para estimar coeficiente estructural,  $a_1$

Nota. Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Para determinar el valor de  $a_2$ , se siguió las consideraciones establecidas por el Ministerio de transporte, quien indica que el CBR de la base es igual a 100%; por lo tanto, de acuerdo con la figura 15, el valor de  $a_2$  es 0.14.

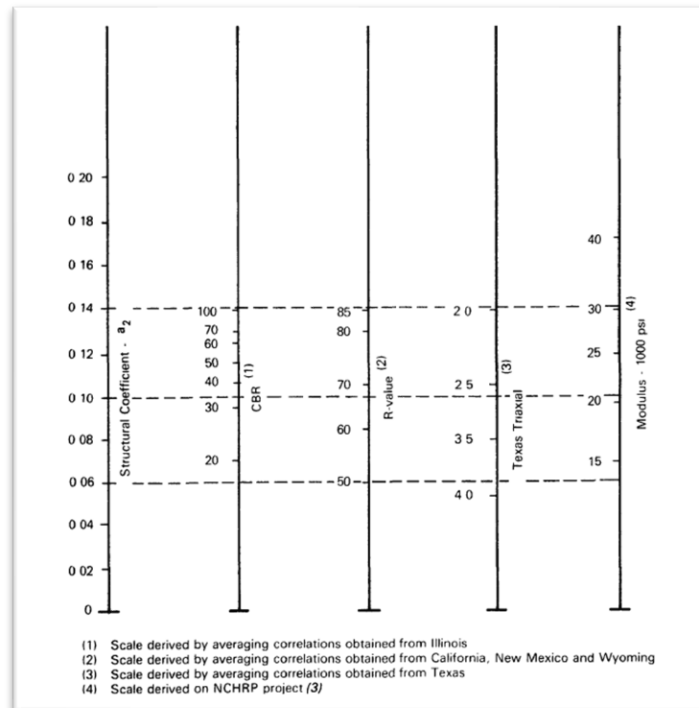


Figura 15. Variación en el coeficiente de capa base granular,  $a_2$

Nota. Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Así mismo, para determinar el valor de  $a_3$ , se empleará el valor recomendado por el MTC, quien indica que el CBR para una subbase es 40%; por ello, a partir de la figura 16, el valor de  $a_3$  es igual a 0.12.

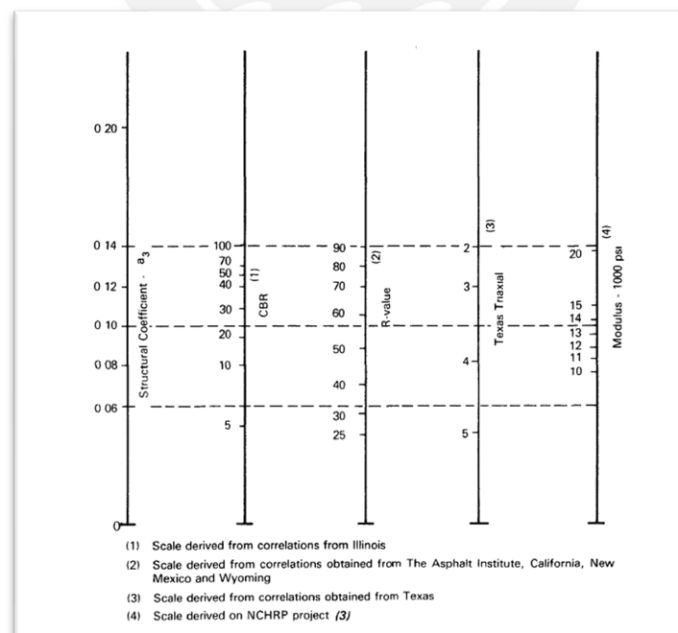


Figura 16. Variación en el coeficiente de capa subbase granular,  $a_3$

Nota. Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.



- **Coefficiente de drenaje ( $m_i$ ):** Para determinar el coeficiente de drenaje, es necesario determinar la calidad del drenaje de la base y subbase, y esto depende de su composición; así mismo, el porcentaje de tiempo en el cual es pavimento está saturado, este último depende de la precipitación anual promedio. La tabla 26 presenta los valores de  $m_i$  recomendados:

Tabla 26

*Valores recomendados para coeficientes de drenaje,  $m_i$*

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	1% <	1-5%	5-25%	>25%
Excellent	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Good	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Fair	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Poor	1.15 – 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Very poor	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

La base está conformada por grava ligeramente limosa, mal graduada y se caracteriza por tener buena calidad de drenaje; así mismo, la subbase está conformada por grava bien graduada y presenta las mismas condiciones que la base. Para la presente tesis, se optó por un valor conservador para el coeficiente de drenaje de la base y subbase igual a 1.

Por último, presentaremos el resumen de parámetros que se obtuvieron en los incisos 6.1.1 y 6.1.2, para el diseño de un pavimento flexible:

Tabla 27

*Resumen de parámetros de diseño para P. Flexible*

TRÁFICO ACUMULADO (ejes de 8.2ton) ESAL =	4.95	x 10 <sup>6</sup>
CBR Subrasante =	25.6	%
MÓDULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE, Mr =	20.35	ksi
CONFIABILIDAD R =	90	%
DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Zr) =	1.282	
VARIABILIDAD (So) =	0.44	
NIVEL DE SERVICIO FINAL, Pt =	3	
PSI =	1.2	
SN OBTENIDO =	3.25	
a1 =	0.40	
a2 =	0.14	
m2 =	1	
a3 =	0.12	
m3 =	1	

*Nota.* Elaboración propia.

Como paso previo para calcular los espesores de cada capa, se determinará el espesor mínimo de la carpeta asfáltica y de la base, ya que según la AASHTO (1993) estos valores dependen de la ESAL que fue calculado en el estudio de tráfico. La tabla 28 muestra el espesor mínimo que debe cumplir el espesor de la base y el asfalto.

Tabla 28

*Espesor mínimo*

Traffic, ESAL	Asphalt Concrete(in)	Aggregate Base (in)
>50,000	1.0	4.0
50,001 - 150,000	2.0	4.0
150,001 -500,000	2.5	4.0
500,001 - 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 - 7,000,000	3.5	6.0
< 7,000,000	4.0	6.0

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

En el estudio de tráfico se determinó que la ESAL es  $4.95 \times 10^6$ ; por lo tanto, el espesor mínimo para la carpeta asfáltica es 3.5in y para la base será 6in como mínimo. Terminado esto, se procederá a calcular el espesor de cada capa mediante el proceso iterativo que recomienda la AASHTO.

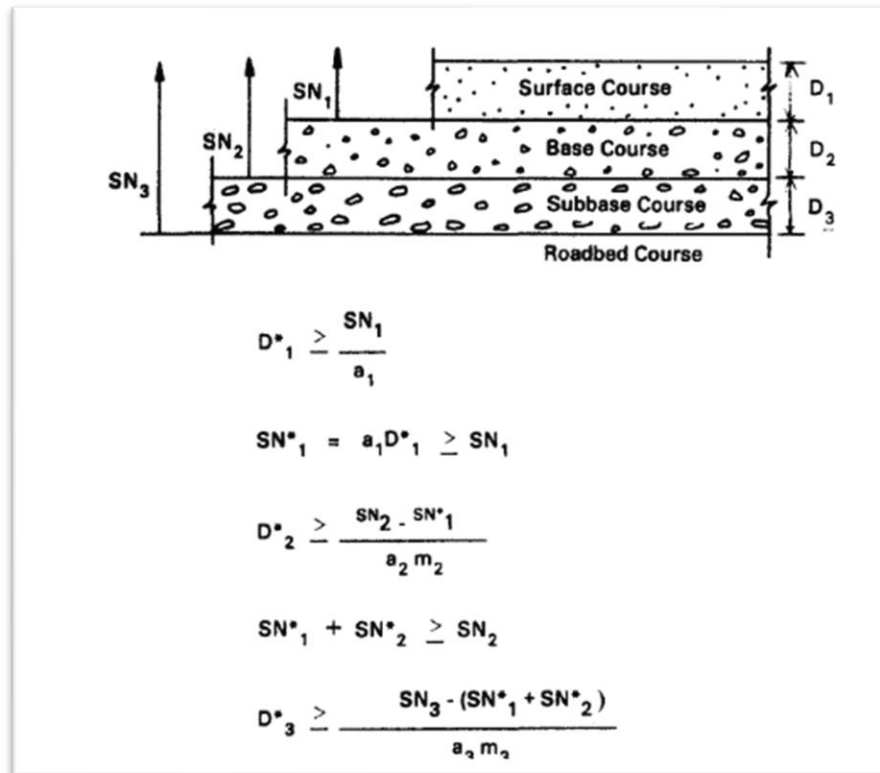


Figura 17. Procedimiento para determinar  $D_i$  de cada capa

Nota. Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Sin embargo, la AASHTO (1993) presenta otro método alternativo en la cual asocia el número estructural, determinado por la ecuación de diseño de pavimentos flexibles, con el coeficiente de capa ( $a_i$ ), espesor de capa ( $D_i$ ) y el coeficiente de drenaje ( $m_i$ ):

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

Esta fórmula nos permitirá realizar el cálculo del espesor mediante procesos iterativos; así mismo, se tomará en cuenta los espesores mínimos que recomienda la AASHTO. La tabla 29 presenta las alternativas de diseño de un pavimento flexible mediante el método AASHTO.

Tabla 29

Diseño de pavimento flexible mediante el método AASHTO

	Carpeta asfáltica (in)	Base (cm)	Subbase (cm)
opción 1	3.5	15	20
opción 2	3.5	20	20
opción 3	3.5	20	20
opción 4	4.0	15	20
opción 5	4.0	20	20

Nota. Elaboración propia.

### 6.3. Método del Instituto del Asfalto

El Instituto del Asfalto publicó antiguamente 8 ediciones sobre diseño de pavimentos; sin embargo, estos están basados en criterios empíricos. En el año 1981, se publicó la 9na edición que a diferencia de las primeras esta está basada en una metodología empírica mecanicista. En esta edición, se publicaron gráficos, para un régimen, que están en función de la temperatura y fueron desarrollados por el software DAMA. En el año 1991, se actualizó la 9na edición y se publicaron gráficos para 3 regímenes de diferentes temperaturas. (Huang, 2004)

El diseño del pavimento flexible se enfocará en 2 criterios: criterio de fatiga y criterio de deformación permanente; así mismo, se tomará en cuenta las consideraciones que desarrolló el Instituto del Asfalto en su publicación Thickness Design: Asphalt Pavement Structures For Highways and Streets.

#### 6.3.1. Parámetros de diseño

- **Tráfico de diseño:** Como se explicó en el inciso 3, se realizó el conteo de vehículos y esto nos permitió calcular el Índice Medio Diario y otras variables importantes. El IMD nos permitió calcular la ESAL, cuyo resultado para un pavimento flexible fue  $4.95E+06$ .
- **Caracterización de materiales:** El Instituto del Asfalto (1991) recomienda el análisis del suelo a una profundidad mínima de 0.6m.; así mismo, sostiene que se deben realizar por lo menos 6 o 8 pruebas para determinar el módulo de resiliencia de diseño. El resultado empleado para el diseño debe ser un valor inferior al 60, 75 o 87.5% de todos los valores obtenidos en las pruebas. Estos porcentajes se definen como valores percentiles y se relaciona con la ESAL.

Tabla 30

Módulo de resiliencia de diseño

ESAL	Design Subgrade Resilient Modulus percentile value (%)
$10^4$ or less	60.0
Between $10^4$ and $10^6$	75
$10^6$ or more	87.5

Nota. Tomado de The Asphalt Institute. (1991). THICKNESS DESIGN: Asphalt Pavements for Highways and Streets.

A partir de la Tabla 30, el módulo de resiliencia de diseño debe ser inferior al 87.5% de todas las pruebas, ya que la ESAL es  $4.95 \times 10^6$ .

Para el diseño mediante esta metodología, se realizó el análisis del suelo hasta una profundidad de -1.5m. y se obtuvo un único resultado de módulo de resiliencia; por ello, asumiremos que este cumple con las condiciones mencionadas anteriormente. Del análisis se obtuvo que el CBR es 25.6% y empleando la fórmula elaborada por la AASHTO se determinó que el módulo de resiliencia de diseño es 20355psi.

- **Temperatura media anual del aire:** De acuerdo con los Estudios Pluviométricos que se realizaron en Abancay, se obtuvo que la temperatura máxima promedio es 24°C y la mínima promedio es 10°C. Para el diseño se empleará un valor promedio, entre la temperatura máxima y mínima, de 17°C.

### 6.3.2. Estructura del pavimento flexible

El Instituto del Asfalto empleó el software DAMA para determinar el espesor mínimo de un pavimento flexible, cuyas propiedades satisfacen el criterio de fatiga y criterio de deformación permanente. Este software desarrollo ábacos de diseño para 3 diferentes temperaturas del aire (7 °C, 15.5°C y 24°C); así mismo, para cada temperatura se desarrollaron cartas de diseño quienes están en función de la ESAL y el módulo de resiliencia.

Para el diseño, se determinó que la temperatura promedio en el proyecto es 17°C; por ello, se empleará el ábaco del Instituto del Asfalto para una temperatura de 15.5°C. A continuación, se calculará los espesores para una ESAL de  $4.95 \times 10^6$  y módulo de resiliencia de diseño es 20355psi (140Mpa).

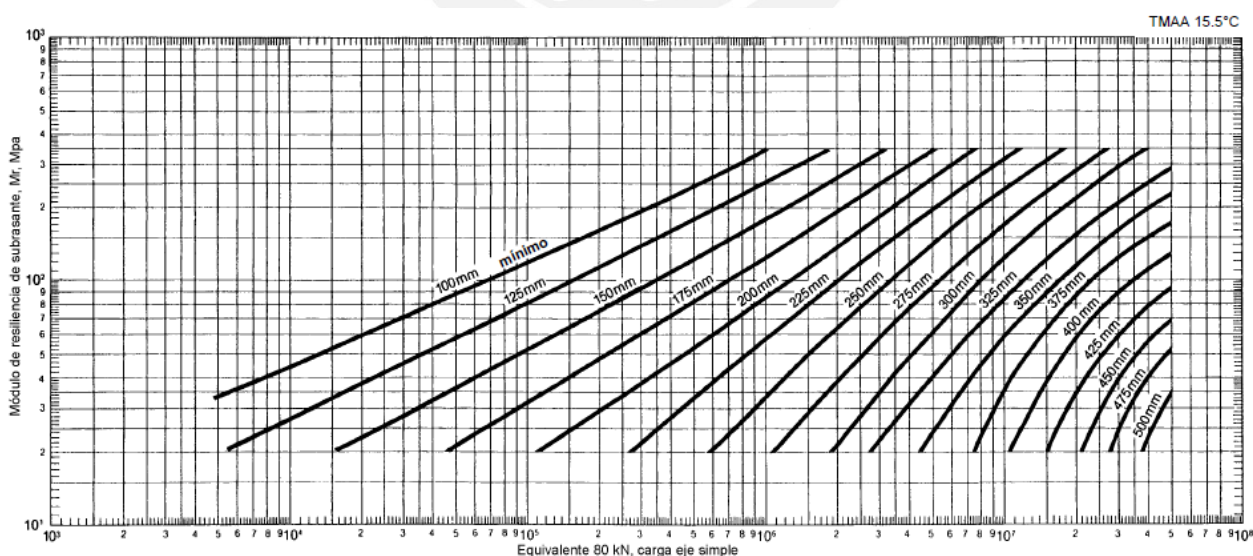


Figura 18. Carta de diseño A-1

*Nota.* Tomado de The Asphalt Institute. (1991). THICKNESS DESIGN: Asphalt Pavements for Highways and Streets.

La carta de diseño A-1 es usado cuando la carpeta asfáltica está en todo su espesor. De acuerdo con los datos y la Figura 18, se obtuvo que el espesor de la carpeta asfáltica es 24cm.

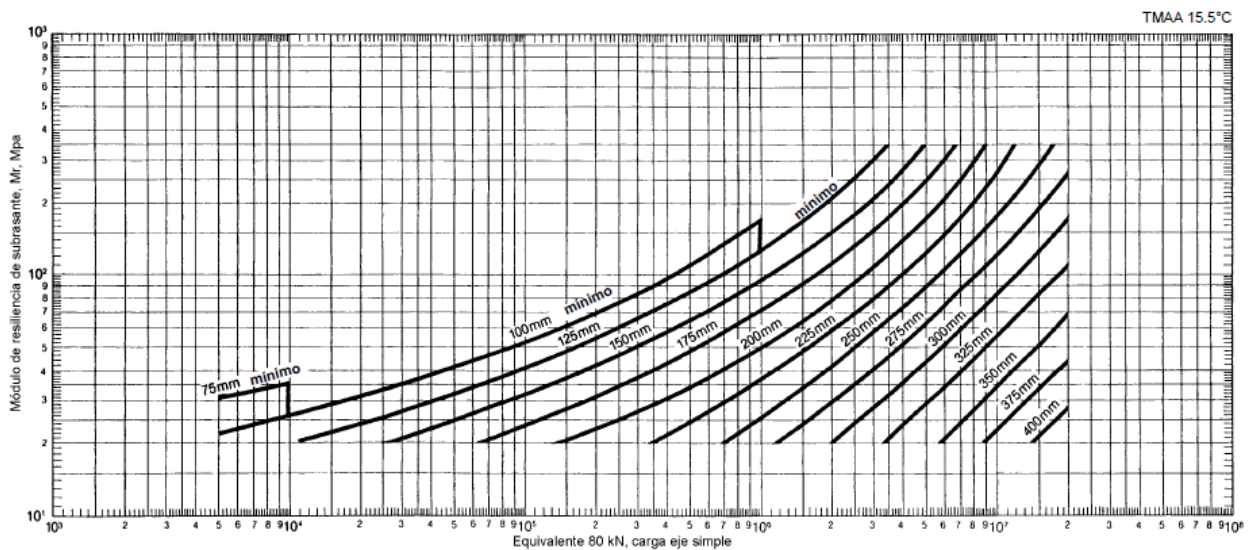


Figura 19. Carta de diseño A-2

*Nota.* Tomado de The Asphalt Institute. (1991). THICKNESS DESIGN: Asphalt Pavements for Highways and Streets.

La carta de diseño A-2 asume el empleo de una base de agregados no tratados de 15cm de espesor. De acuerdo con la figura 19, el espesor de la carpeta asfáltica es 14cm y la base de 15cm.

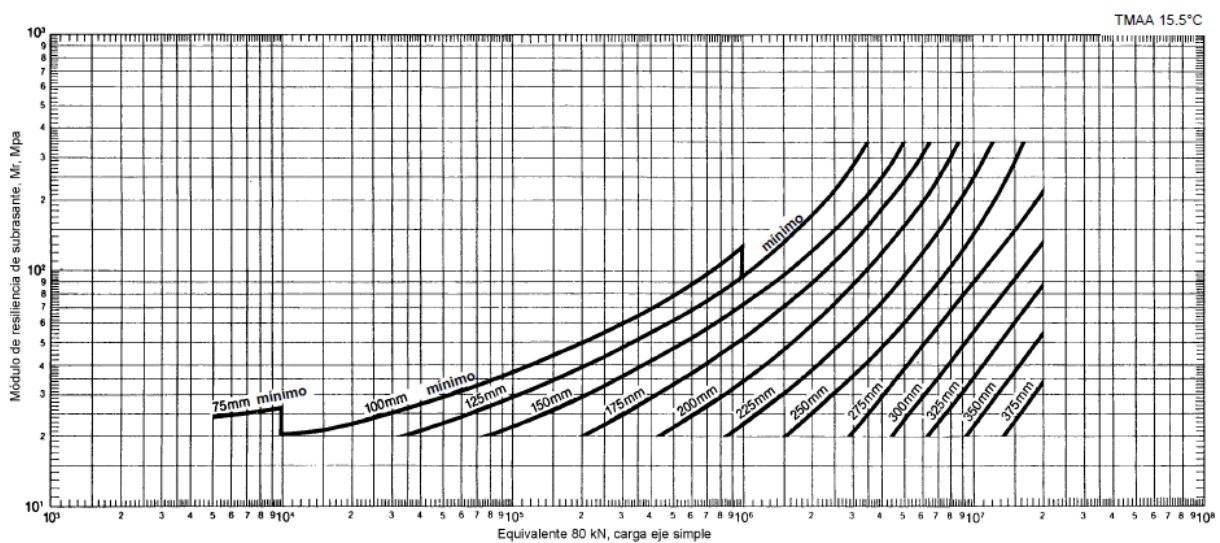


Figura 20. Carta de diseño A-3

*Nota.* Tomado de The Asphalt Institute. (1991). THICKNESS DESIGN: Asphalt Pavements for Highways and Streets.

La carta de diseño A-3 asume el empleo de una base de agregados no tratados de 30cm de espesor. De acuerdo con la figura 20, el espesor de la carpeta asfáltica es 14cm y base de 30cm.

A partir de los resultados obtenidos en los ábacos se determinará el número estructural empleando los coeficientes de capa y los coeficientes de drenaje que fueron calculados en el inciso 6.2.2. La tabla 31 muestra las posibles alternativas de diseño mediante el método del Instituto del Asfalto.

Tabla 31

*Alternativas de diseño*

	<b>Carpeta asfáltica (cm)</b>	<b>Base(cm)</b>	<b>SN</b>
Opción 1	24	-	3.78
Opción 2	14	15	3.03
Opción 3	14	30	3.86

*Nota.* Elaboración propia.

Analizando las alternativas de diseño, se observa que la opción 2 presenta un menor número estructural en comparación de la opción 1 y la opción 3. Este valor de 3.03 permitirá diseñar un pavimento flexible con menores espesores en comparación a los espesores obtenidos mediante el método de AASHTO.

Empleando el Número Estructural de la opción 2, se calcularon nuevas alternativas que satisfagan con los criterios del Instituto del Asfalto.

Tabla 32

*Espesores de un pavimento flexible mediante el método del IA*

	<b>Carpeta asfáltica (in)</b>	<b>Base (cm)</b>	<b>subbase (cm)</b>	<b>SN</b>
opción 1	4	15	15	3.14
opción 2	4	15	20	3.37
opción 3	4	20	20	3.65
opción 4	4	20	25	3.88

*Nota.* Elaboración propia.

## 7. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

En este capítulo se desarrollará el diseño de pavimentos rígidos, considerando el método establecido por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el método de la Portland Cement Association. Además, se analizarán y determinarán las variables necesarias que intervienen en el diseño.

### 7.1. Resumen de datos

En incisos anteriores, se realizó el estudio de tráfico, el estudio de mecánica de suelos y el estudio pluviométrico. La tabla 33 muestra el resumen de datos necesarios para realizar el diseño de un pavimento rígido.

Tabla 33

*Resumen de datos – Pavimentos Rígidos*

<b>ESTUDIOS DE TRÁFICOS</b>	
Tasa de crecimiento	2.62%
ESAL para pavimento rígido	6.88E+06
<b>ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS</b>	
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)
Clasificación SUCS	SM
CBR 95%	25.6
<b>ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS</b>	
Temperatura	24°C -10°C
Máxima precipitación anual	9.1 mm
Máxima precipitación mensual	3.0 mm

*Nota.* Elaboración propia.

### 7.2. Método AASHTO

El diseño de pavimento rígido estará basado en las consideraciones que toma el manual AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (1993). La AASHTO desarrolló una ecuación, que involucra muchas variables, con la finalidad de calcular el espesor de concreto.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 7.35 * \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 * p_t) * \log_{10}\left(\frac{S'_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * j * [D^{75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}}]}\right)$$

Donde:

$W_{18}$ : Número provisto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18 kips.  
 $Z_R$ : Desviación estándar normal.



- $S_0$ : Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento de la estructura.
- D: Espesor del pavimento de concreto.
- $\Delta PSI$ : Diferencia entre el índice de servicialidad inicial de diseño y el índice terminal de servicialidad terminal de diseño.
- $P_t$ : Índice de servicialidad o servicio final
- $C_d$ : Coeficiente de drenaje.
- J: Coeficiente de transmisión de carga en las juntas.
- $E_c$ : Módulo de elasticidad del concreto.
- K: Módulo de reacción de la subrasante.
- $S'_c$ : Módulo de rotura del concreto.

Así mismo, como método adicional a la ecuación, la AASHTO estableció el empleo de nomogramas para determinar el espesor.

### 7.2.1. Parámetros de diseño

- **Tráfico de diseño:** De acuerdo con el estudio de tráfico que se realizó para un pavimento rígido, se obtuvo como resultado que la ESAL es  $6.88E+06$ . Este resultado muestra que sobre la vía habrá tráfico alto.
- **Periodo de diseño:** Como se trata de una vía con afluencia vehicular alta y de acuerdo con las especificaciones del proyecto, se estableció que el periodo de diseño será de 15 años.
- **Confiabilidad ( $R$ ):** El concepto de confiabilidad se introdujo al diseño de pavimento rígidos, debido a la variabilidad de los procesos constructivos y de los materiales; por ello, se consideró a la confiabilidad como un factor de seguridad, con la finalidad de aumentar el tráfico calculado (MTC, 2014). Es por ello que la confiabilidad depende del tipo de vía y de su condición (rural o urbana).

De acuerdo con las características de la vía y sus especificaciones, se concluyó que el tipo de vía es interestatal y cuya condición es rural; por ello, a partir de la Tabla 24 se determinó que la confiabilidad recomendada por la AASHTO varía entre 80 y 99.9%. Para el presente diseño se optó por emplear un valor promedio igual a 90%.

- **Desviación estándar normal ( $Z_R$ ):** A partir de la Tabla 25, se concluye que para una vía de confiabilidad 90%, corresponde una desviación estándar normal igual a -1.282.
- **Desviación estándar general ( $S_0$ ):** La AASHTO (1993) recomienda emplear un valor de 0.39 cuando la variación de tráfico futuro fue estimada y 0.34 cuando el tráfico fue medido. Para la presente tesis, se realizó el conteo de vehículos; por ello, la desviación estándar general es igual a 0.34.

**Pérdida de servicialidad ( $\Delta_{PSI}$ ):** La AASHTO (1993) sostiene que la servicialidad inicial ( $P_o$ ) para un pavimento rígido es 4.5. Así mismo, en el capítulo 3, se estableció que la servicialidad final ( $P_t$ ) es 3, ya que Huang (2004) considera valores aceptables de  $P_t$  mayores o iguales a 2.9. La pérdida de servicialidad se define como la diferencia entre la servicialidad inicial y final.

$$\Delta_{PSI}=P_o - P_t$$

A partir de la ecuación, se obtuvo como resultado que la pérdida de servicialidad ( $\Delta_{PSI}$ ) es igual a 1.5.

- **Coefficiente de drenaje ( $C_d$ ):** El coeficiente de drenaje depende de 2 parámetros para cuantificarlo: las condiciones de drenaje, la cual se calcula de acuerdo con el tiempo que tarde el agua a ser evacuado del pavimento y el tiempo el cual el pavimento está expuesto a la saturación, este valor depende de la precipitación media anual. (Universidad Mayor San Simón, 2004).

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) recomienda los siguientes valores de coeficiente de drenaje:

Tabla 34

*Valores recomendados de coeficiente de drenaje*

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	1% <	1-5%	5-25%	>25%
Excellent	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Good	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Fair	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Poor	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Very poor	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

De acuerdo con la Tabla 34, se observa que el coeficiente de drenaje varía entre 1.00 y 1.25, un valor elevado de  $C_d$  implica que la calidad del drenaje es buena. Para el presente diseño se optó por un valor de  $C_d$  igual a 1, ya que se espera que la calidad del drenaje sea buena.

- **Coefficiente de transmisión de las cargas juntas ( $J$ ):**

*“Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras.*

Sus valores dependen del tipo de pavimento, la existencia o no de una berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas”. (MTC, 2014, p.233).

Así mismo, el libro AASHTO Guide For Design of Pavement Structures (1993) recomienda emplear la tabla 35 para determinar el coeficiente de carga según el tipo de pavimento:

Tabla 35

*Coeficiente de transferencia de carga según tipo de pavimento*

Shoulder	Asphalt		Tied P.C.C.	
	Yes	No	Yes	No
Load Transfer Devices				
Pavement Type				
1. Plain jointed and jointed reinforced	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
2. CRCP	2.9 - 3.2	N/A	2.3 - 2.9	N/A

*Nota.* Tomado de AASHTO (1993) AASHTO guide for design of pavement structures.

Para la presente tesis se optó por emplear soportes laterales (berma con carpeta de asfalto); por lo tanto, el coeficiente de transmisión de cargas será 3.2.

- **Módulo de elasticidad del concreto (Ec):** Es un parámetro muy importante para el diseño de un pavimento rígido y según el Reglamento Nacional de Edificaciones, el módulo de elasticidad tiene cierta proporción con la resistencia mínima equivalente a la compresión del concreto ( $f'c$ ):

$$E_c = 15000 \cdot \sqrt{f'c}$$

Así mismo, el Manual de carreteras (2014) sostiene que para una vía en la cual la ESAL varía entre 5,000,000 y 15,000,000 recomienda emplear un valor de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . A partir de la fórmula, el módulo de elasticidad es igual a  $259,808 \text{ kg/cm}^2$  o  $3.7 \times 10^6 \text{ psi}$ .

- **Módulo de rotura del concreto (Mr, S'c):** Según el Manual de carreteras (2014) el módulo de rotura a 28 días se relaciona con la resistencia a compresión del concreto y esta expresado de la siguiente manera:

$$M_r = \alpha \cdot \sqrt{f'c}$$

Donde “ $\alpha$ ” varía entre 1.99 y 3.18. Para determinar el módulo de rotura se optó por un valor promedio de  $\alpha$ ; en consiguiente, para un valor de  $f'c$  de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , se obtuvo como resultado de  $M_r$  igual a  $44.77 \text{ kg/cm}^2$  o  $637 \text{ psi}$ .

- **Módulo de reacción de la subrasante (K):** Para el cálculo del módulo de reacción de la subrasante, se empleará el gráfico presentado por el libro Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements(1984), que relaciona el CBR de la subrasante con el módulo de reacción. La figura 21 muestra la relación existente entre estas 2 variables.

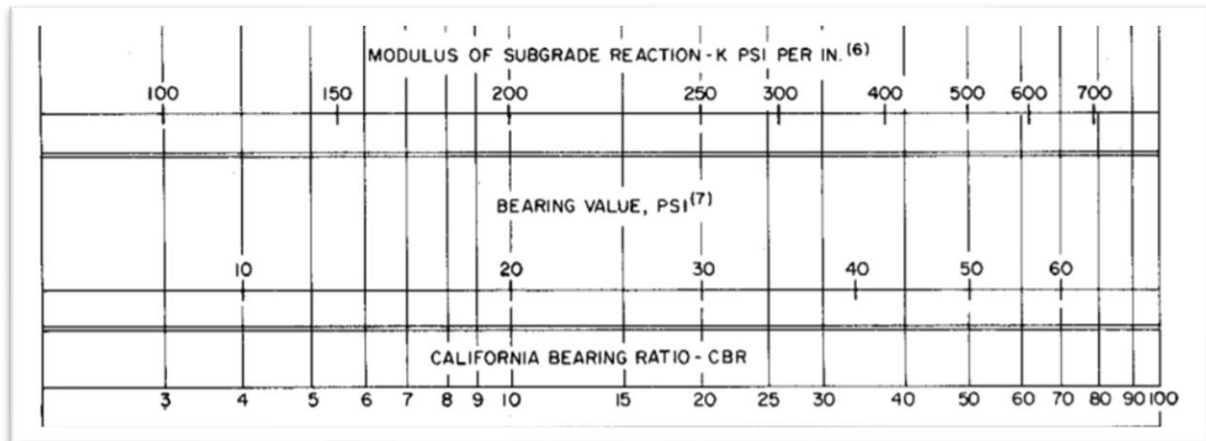


Figura 21. Relación aproximada entre el CBR y el módulo de reacción

Nota. Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

A partir de la Figura 21, se estableció que el módulo de reacción de la subrasante para un valor de CBR de 25.6% es 290psi.

- **Módulo de reacción efectivo (k´):** El módulo de reacción efectivo está relacionado directamente con el espesor de la subbase; por ello, la PORTLAND CEMENT ASSOCIATION desarrollo lo siguiente:

Tabla 36

Efecto de la subbase en valores de K´

Subgrade K value, pci	Subbase K´ value, pci			
	4 in	6 in	9 in	12 in
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Nota. Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

Para una subbase de espesor 15cm, se obtuvo como resultado  $K' = 320$  pci.

Por último, presentaremos el resumen de parámetros que se obtuvieron para el diseño de un pavimento rígido:

Tabla 37

*Resumen de parámetros de diseño para P. Rígido*

TRÁFICO ACUMULADO (ejes de 8.2ton kip) ESAL =	6.88	$\times 10^6$
RESISTENCIA DEL CONCRETO =	300	kg/cm <sup>2</sup>
MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO =	44.77	kg/cm <sup>2</sup>
MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO =	259808	kg/cm <sup>2</sup>
MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE, K =	290	pci
COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J) =	3.2	
TIPO DE VÍA =	Interestatal	
CONFIABILIDAD, R =	90.00	%
DESVIACIÓN ESTANDAR NORMA (Zr) =	-1.282	
VARIABILIDAD (So) =	0.34	
NIVEL DE SERVICIO FINAL, Pt =	3	
$\Delta$ PSI =	1.5	
Cd =	1	

*Nota.* Elaboración propia.

### 7.2.2. Cálculo del espesor del pavimento

Para el cálculo del espesor del pavimento rígido es necesario aplicar la fórmula que se indicó en el inciso 7.2, para ello se empleara en dicha ecuación los parámetros que se hallaron en el inciso 7.2.1; por lo tanto, para una subbase de espesor 15cm se obtiene como espesor de la losa de concreto "D" igual a 25cm.

Así mismo, para corroborar lo mencionado anteriormente, se empleará los nomogramas (figuras 22 y 23) que recomienda la AASHTO.

NOMOGRAMA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS 1 DE 2

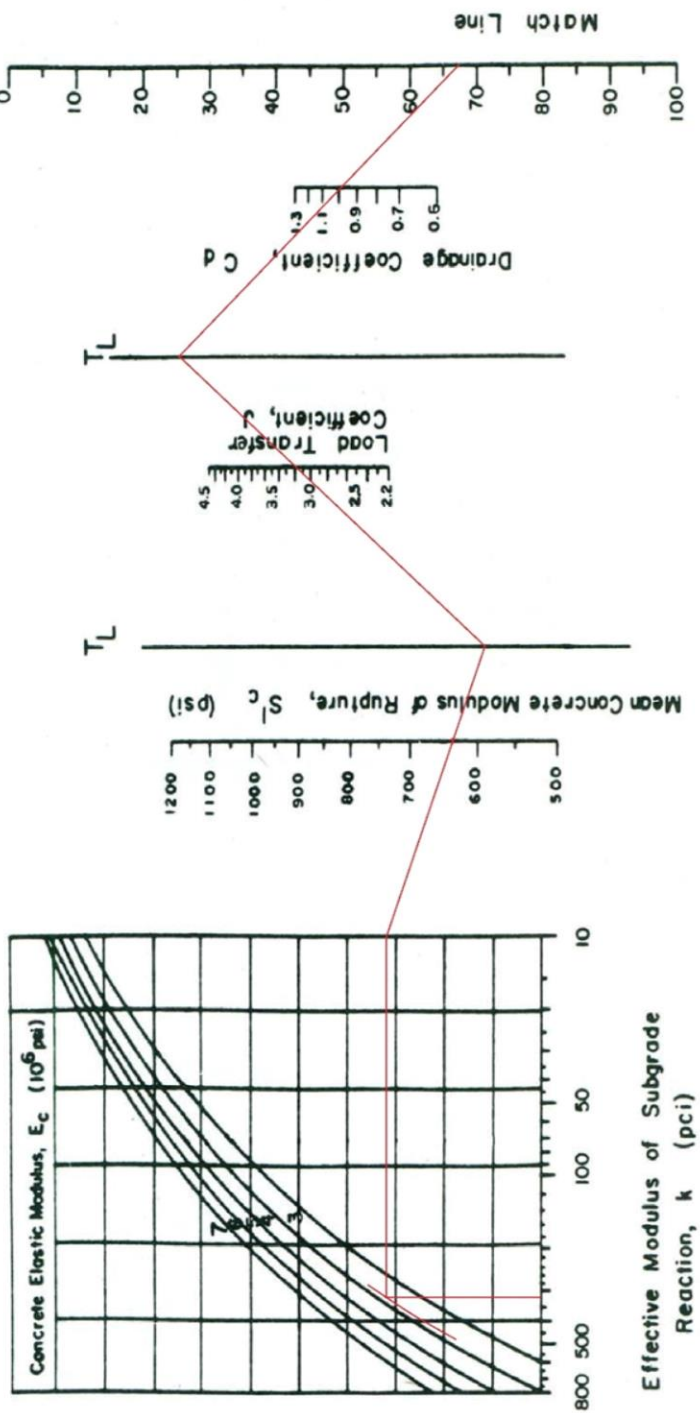


Figure 3.7. Design Chart for Rigid Pavement Based on Using Mean Values for Each Input Variable (Segment 1)

OBLIGATORIO MOSTRAR LAS LINEAS DETRAZO EN EL NOMOGRAMA

Figura 22. Nomograma para diseño de un pavimento rígido 1 de 2

Nota. Elaboración propia.

NOMOGRÁMA PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS 2 DE 2

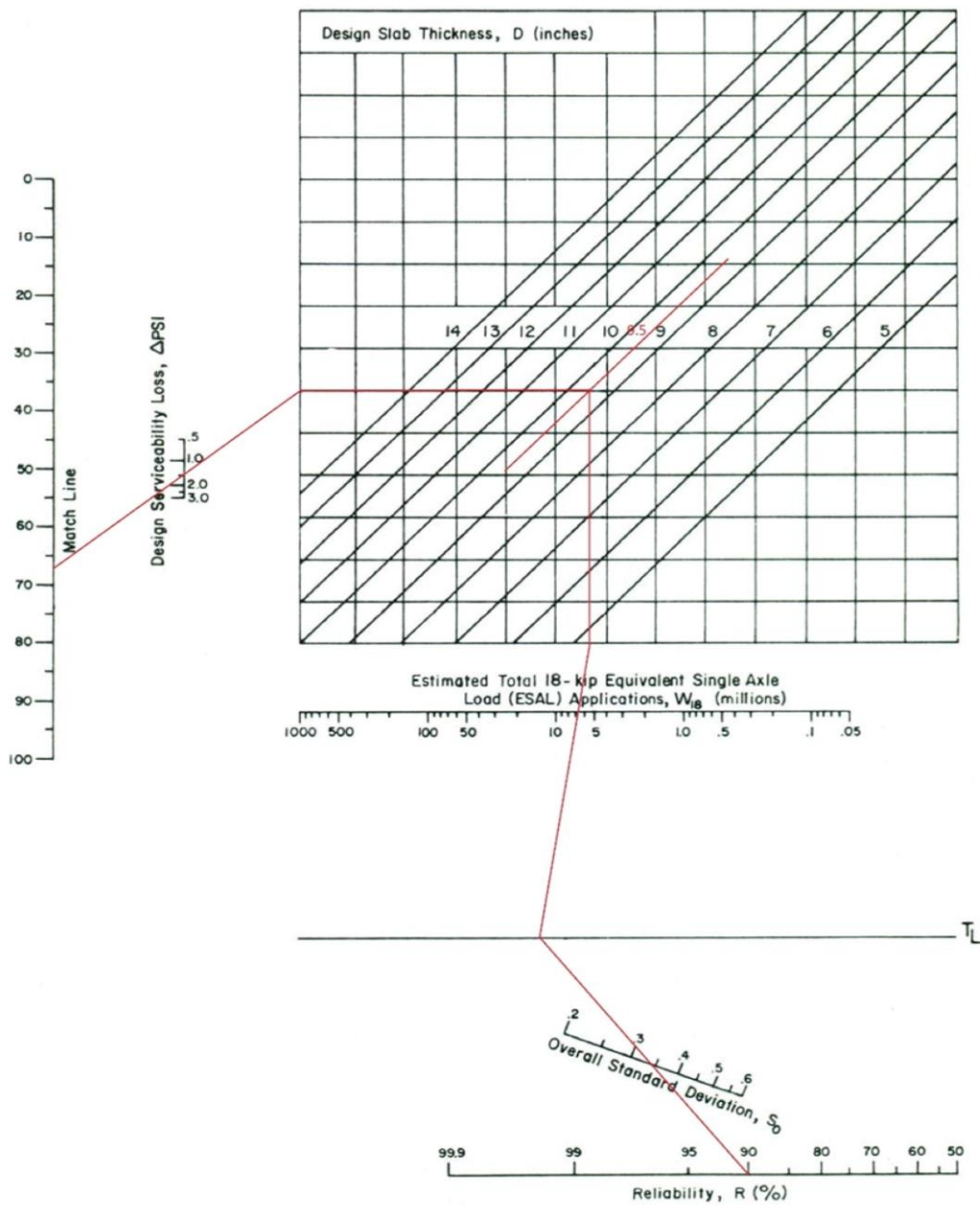


Figure 3.7. Continued—Design Chart for Rigid Pavements Based on Using Mean Values for Each Input Variable (Segment 2)

OBLIGATORIO MOSTRAR LAS LÍNEAS DETRAZO EN EL NOMOGRÁMA

Figura 23. Nomograma para diseño de un pavimento rígido 2 de 2

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con el nomograma se obtuvo que el espesor de la losa de concreto es igual a 9.5in. o 25cm, cuyo espesor de la subbase es 15cm. Para reducir el espesor de la losa será necesario incrementar el espesor de la subbase; por ello, se analizará la disminución del espesor de la losa de concreto para cada incremento del espesor de la subbase.

Tabla 38

*Diseño de pavimento rígido mediante el método AASHTO*

Alternativa	Subbase (cm)	K' (pci)	losa de concreto (cm)
1	15	320	25
2	20	345	25
3	25	377	24
4	30	415	24

*Nota.* Elaboración propia.

Se observa que a medida que se incrementa en 5cm el espesor de la subbase, el módulo de reacción efectiva se incrementa notoriamente; sin embargo, el espesor de la losa de concreto no varía demasiado.

### 7.3. Método de la PCA

La metodología desarrollada por la Portland Cement Association fue publicada por primera vez en el año de 1966, para luego actualizarlo en 1984. Este método es aplicable para pavimentos que presentan las siguientes características: pavimento de concreto reforzado con juntas, pavimentos de concreto simple con juntas y pavimentos con refuerzo continuo.

Para el cálculo del espesor de un pavimento rígido es necesario tomar en cuenta las siguientes variables (PCA, 1984):

- a) Módulo de ruptura ( $M_r$ ).
- b) Frecuencias, pesos y tipos de ejes de camión.
- c) Periodos de diseño.
- d) Resistencia de la subrasante ( $K$ ), entre otros.

Así mismo, los criterios de diseño consideran el análisis de la fatiga y la erosión:

- (a) *Fatiga, para mantener los esfuerzos del pavimento debidos a la acción de cargas repetidas, dentro de límites seguros previniendo así el agrietamiento por fatiga;* y
- (b) *erosión, para limitar los efectos de las deflexiones del pavimento en el borde de las losas,*



*juntas y esquinas controlando así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas. El criterio por erosión es necesario ya que algunas formas de daños del pavimento tales como bombeo, fallas, y daños de las bermas no son debidos a la fatiga. (PCA, 1984, p.4)*

Estos parámetros y variables necesarios para el diseño se analizarán y desarrollan en los incisos siguientes.

### 7.3.1. Parámetros de diseño

- **Periodo de diseño:** El tiempo de vida de un pavimento rígido puede variar desde menos de 20 años o incluso más de 40 años; sin embargo, es un parámetro que depende de la calidad de los materiales y de la propia ejecución del proceso constructivo. Para el presente diseño se optó que el periodo de diseño será de 15 años, ya que esta vía permitirá el transporte de carga pesada y de pasajeros.
- **Tasa de crecimiento anual:** De acuerdo con el estudio de tráfico que se realizó en el capítulo 3, se determinó que la tasa de crecimiento anual es 2.62%.
- **Módulo de rotura del concreto ( $M_r$ ,  $S'c$ ):** Según el Manual de carreteras (2014) el módulo de rotura a 28 días se relaciona con la resistencia a compresión del concreto y esta expresado de la siguiente manera:

$$M_r = \alpha * \sqrt{f'c}$$

Donde “ $\alpha$ ” varía entre 1.99 y 3.18. Para determinar el módulo de rotura se optó por un valor promedio de  $\alpha$ . Así mismo, este manual recomienda que para una vía con ESAL igual a  $6.88 \times 10^6$  corresponde un  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ ; por lo tanto, aplicando la fórmula se obtiene un  $M_r = 44.77 \text{ kg/cm}^2$  o 637psi.

- **Módulo de reacción de la subrasante ( $k$ ):** De acuerdo con la Figura 21 del inciso 7.2.1, para un CBR de la subrasante de 25.6 % se obtuvo que el módulo de reacción de la subrasante es 290psi.
- **Módulo de reacción efectivo ( $k'$ ):** El módulo de reacción efectivo está relacionado directamente con el espesor de la subbase; por ello, de acuerdo con la Tabla 36, para una subbase de espesor 15cm, se obtuvo como resultado  $K' = 320 \text{ pci}$ .
- **Load Safety Factor (LSF):** Según la Portland Cement Association (1984) el factor de seguridad de carga depende del tipo de vía: para una vía interestatal le corresponde un LSF

de 1.2, para una vía arterial de tráfico moderado corresponde un LSF de 1.1 y para una vía con pequeños volúmenes de tráfico corresponde un LSF de 1.0.

Para el presente trabajo, el LSF será igual a 1.2, ya que el diseño de pavimento será sobre una vía interestatal.

- **Parámetros complementarios:** Para el diseño se emplearán pasadores, que son barras lisas de acero en cada junta de contracción. Así mismo, analizar si es necesario utilizar bermas y que tipo de berma emplear (concreto o asfalto). Las bermas de concreto permiten reducir los esfuerzos flexores y las deflexiones; sin embargo, presenta un mayor costo que la berma de asfalto (PCA, 1984).

### 7.3.2. Cálculo de espesor de la losa de concreto

En primer lugar, es necesario determinar el tipo y la cantidad de vehículos, ya que es necesario saber las cargas que ejercen los ejes de los vehículos. Para ello, nos guiaremos del estudio de tráfico que se realizó anteriormente. La tabla 39 y 40 muestran los pesos por ejes según el tipo de vehículo.

Tabla 39

*Pesos máximos por ejes según tipo de vehículos, ton*

	Cargas (ton)				
	Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores			
		1°	2°	3°	4°
Automóviles	0.9	0.9	--	--	--
C2	7	11	--	--	--
C3	7	18	--	--	--
C4	7	23	--	--	--
T2S2	7	11	18	--	--
T3S2	7	18	18	--	--
T3S3	7	18	25	--	--
C2R2	7	11	11	11	--
C2R3	7	11	11	18	--
C3R2	7	18	11	11	--
C3R3	7	18	11	18	--
B2	7	11	--	--	--
B3-1	7	16	--	--	--
B4-1	7+7	16	--	--	--

*Nota.* Elaboración propia.

Tabla 40

*Pesos máximos por ejes según tipo de vehículos, kip*

	Cargas (kip)				
	Eje delantero	Conjunto de ejes posteriores			
		1°	2°	3°	4°
Automóviles	2	2	--	--	--
C2	15	24	--	--	--
C3	15	40	--	--	--
C4	15	51	--	--	--
T2S2	15	24	40	--	--
T3S2	15	40	40	--	--
T3S3	15	40	55	--	--
C2R2	15	24	24	24	--
C2R3	15	24	24	40	--
C3R2	15	40	24	24	--
C3R3	15	40	24	40	--
B2	15	24	--	--	--
B3-1	15	35	--	--	--
B4-1	15+15	35	--	--	--

*Nota.* Elaboración propia.

En segundo lugar, se determinará las repeticiones que ejercen los diferentes tipos de vehículos durante el tiempo de periodo (15 años), para ello será necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$n_i = n_o * G * D * L * Y * 365$$

Donde:

$n_i$ : número de repeticiones durante el periodo de diseño.

$N_o$ : número de repeticiones iniciales.

G: Factor de crecimiento.

D: Factor de distribución direccional.

L: Factor de líneas de tráfico.

Y: Periodo de diseño en años.

Como se analizó anteriormente, se determinó que el factor de distribución direccional (D) es 0.5, el factor de crecimiento (G) es 1.21, el factor de líneas de tráfico (L) es 1 y el periodo de diseño (Y) es 15 años.

La tabla 41 presenta las repeticiones en kips que producen los vehículos durante todo el periodo de diseño.

Tabla 41

*Repeticiones de carga durante el periodo de diseño*

Carga (kip)	Repeticiones actuales	Repeticiones durante el periodo de diseño
<b>SIMPLE</b>		
2	1038	3426758
15	379	1251196
24	279	921065
<b>TANDEM</b>		
35	32	105642
40	247	815423
<b>TRIDEM</b>		
51	2	6603
55	2	6603

*Nota.* Elaboración propia.

Culminado el cálculo de los parámetros necesarios para el diseño, se procederá a seguir las recomendaciones que realiza la PCA (1984), quien estableció realizar 2 tipos de análisis: fatiga y erosión. Así mismo, el procedimiento que recomienda es asumir espesores de losa hasta alcanzar las condiciones óptimas a nivel de erosión y fatiga.

Para el análisis de fatiga se determinará el esfuerzo equivalente para el eje simple y eje tándem en una vía con pasadores y sin bermas de concreto; por ello, estos esfuerzos se hallarán empleando la siguiente tabla recomendada por la Portland Cement Association.

Tabla 42

*Esfuerzo equivalente – sin berma de concreto para eje simple/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

*Nota.* Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

Para nuestro diseño, se asumirá un espesor de losa de concreto de 23cm. y subbase de 15cm; por lo tanto, el módulo de reacción efectivo es 320pci. Con estos valores, se procederá a utilizar Tabla 42 y realizar interpolaciones, lo cual nos permitió hallar lo siguiente: esfuerzo equivalente para un eje simple es 188pci y para un eje tándem es 161pci. Del mismo modo, empleando la Tabla 43 se calculará el esfuerzo equivalente para un eje trídem.

Tabla 43

*Esfuerzo equivalente – Sin berma/con berma para eje trídem*

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	510/431	456/392	437/377	428/369	419/362	414/360	412/359
4.5	439/365	380/328	359/313	349/305	339/297	331/292	328/291
5	387/317	328/281	305/266	293/258	282/250	272/244	269/242
5.5	347/279	290/246	266/231	253/223	240/214	230/208	226/206
6	315/249	261/218	237/204	223/196	209/187	198/180	193/178
6.5	289/225	238/196	214/183	201/175	186/166	173/159	168/156
7	267/204	219/178	196/165	183/158	167/149	154/142	148/138
7.5	247/187	203/162	181/151	168/143	153/135	139/127	132/124
8	230/172	189/149	168/138	156/131	141/123	126/116	120/112
8.5	215/159	177/138	158/128	145/121	131/113	116/106	109/102
9	200/147	166/128	148/119	136/112	122/105	108/98	101/94
9.5	187/137	157/120	140/111	129/105	115/98	101/91	93/87
10	174/127	148/112	132/104	122/98	108/91	95/84	87/81
10.5	163/119	140/105	125/97	115/92	103/86	89/79	82/76
11	153/111	132/99	119/92	110/87	98/81	85/74	78/71
11.5	142/104	125/93	113/86	104/82	93/76	80/70	74/67
12	133/97	119/88	108/82	100/78	89/72	77/66	70/63
12.5	123/91	113/83	103/78	95/74	85/68	73/63	67/60
13	114/85	107/79	98/74	91/70	81/65	70/60	64/57
13.5	105/80	101/75	93/70	87/67	78/62	67/57	61/54
14	97/75	96/71	89/67	83/63	75/59	65/54	59/51

*Nota.* Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

Realizando un procedimiento similar al anterior, se determinó que para una losa de concreto de 23cm y subbase de 15cm ( $K_{\text{efect}}=320$  pci.) el esfuerzo equivalente trídem sin berma es 121pci. El factor de relación de esfuerzos se calculará entre el cociente del esfuerzo equivalente por tipo de eje y el módulo de rotura del concreto.

Para el análisis de erosión se determinará el factor de erosión-sin bermas de concreto para el eje simple y eje tándem. A continuación, emplearemos la tabla recomendada por la Portland Cement Association.

Tabla 44

Factor de erosión – sin berma de concreto para eje simple/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

Nota. Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements

A partir de la Tabla 44, se obtuvo que el factor de erosión sin berma de concreto para un eje simple y tándem es 2.63 y 2.76 respectivamente. Del mismo modo, se determinará el factor de erosión para un eje trídem, para ello se empleará la Tabla 45.

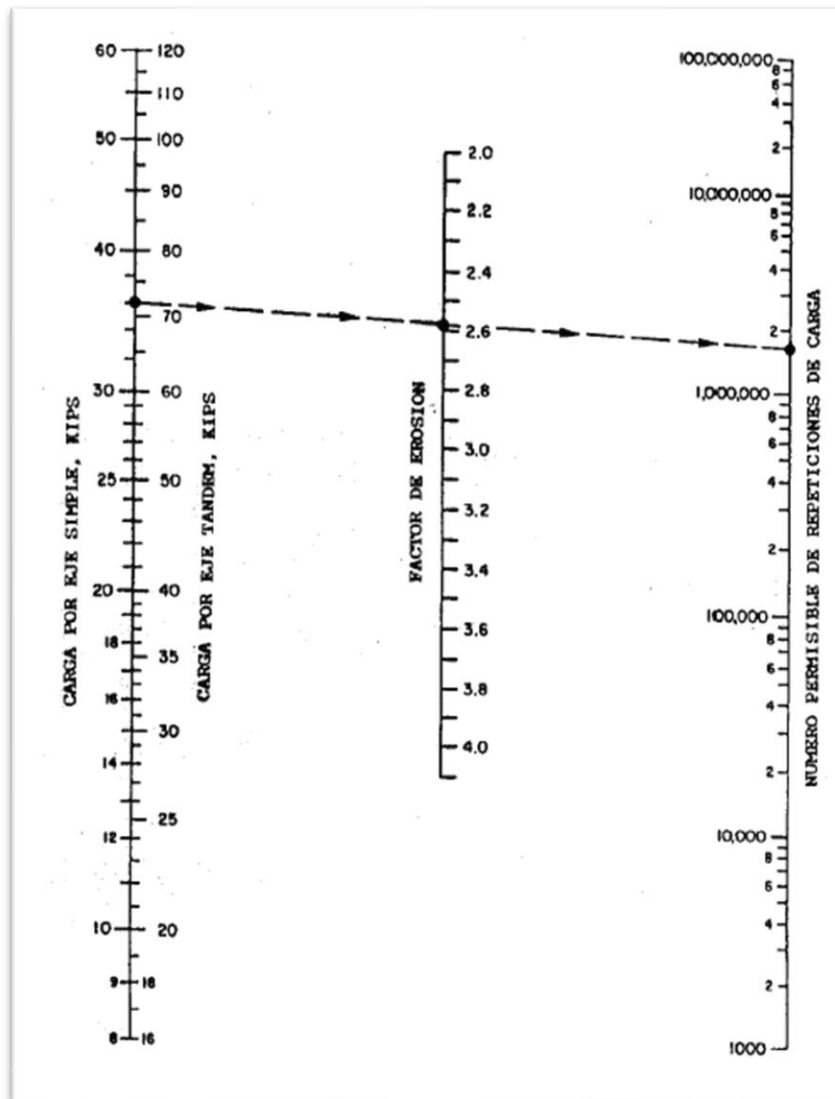
Tabla 45

Factor de erosión – Sin berma/con berma para eje trídem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.89/3.33	3.82/3.20	3.75/3.13	3.70/3.10	3.61/3.05	3.53/3.00
4.5	3.78/3.24	3.69/3.10	3.62/2.99	3.57/2.95	3.50/2.91	3.44/2.87
5	3.68/3.16	3.58/3.01	3.50/2.89	3.46/2.83	3.40/2.79	3.34/2.75
5.5	3.59/3.09	3.49/2.94	3.40/2.80	3.36/2.74	3.30/2.67	3.25/2.64
6	3.51/3.03	3.40/2.87	3.31/2.73	3.26/2.66	3.21/2.58	3.16/2.54
6.5	3.44/2.97	3.33/2.82	3.23/2.67	3.18/2.59	3.12/2.50	3.08/2.45
7	3.37/2.92	3.26/2.76	3.16/2.61	3.10/2.53	3.04/2.43	3.00/2.37
7.5	3.31/2.87	3.20/2.72	3.09/2.56	3.03/2.47	2.97/2.37	2.93/2.31
8	3.26/2.83	3.14/2.67	3.03/2.51	2.97/2.42	2.90/2.32	2.86/2.25
8.5	3.20/2.79	3.09/2.63	2.97/2.47	2.91/2.38	2.84/2.27	2.79/2.20
9	3.15/2.75	3.04/2.59	2.92/2.43	2.86/2.34	2.78/2.23	2.73/2.15
9.5	3.11/2.71	2.99/2.55	2.87/2.39	2.81/2.30	2.73/2.18	2.68/2.11
10	3.06/2.67	2.94/2.51	2.83/2.35	2.76/2.26	2.68/2.15	2.63/2.07
10.5	3.02/2.64	2.90/2.48	2.78/2.32	2.72/2.23	2.64/2.11	2.58/2.04
11	2.98/2.60	2.86/2.45	2.74/2.29	2.68/2.20	2.59/2.08	2.54/2.00
11.5	2.94/2.57	2.82/2.42	2.70/2.26	2.64/2.16	2.55/2.05	2.50/1.97
12	2.91/2.54	2.79/2.39	2.67/2.23	2.60/2.13	2.51/2.02	2.46/1.94
12.5	2.87/2.51	2.75/2.36	2.63/2.20	2.56/2.11	2.48/1.99	2.42/1.91
13	2.84/2.48	2.72/2.33	2.60/2.17	2.53/2.08	2.44/1.96	2.39/1.88
13.5	2.81/2.46	2.68/2.30	2.56/2.14	2.49/2.05	2.41/1.93	2.35/1.86
14	2.78/2.43	2.65/2.28	2.53/2.12	2.46/2.03	2.38/1.91	2.32/1.83

*Nota.* Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements

Para el eje trídem, se obtuvo que el factor de erosión es 2.85. Por último, para determinar el número de repeticiones permitidas durante el análisis de erosión, se empleará la figura 24:



*Figura 24. Análisis por erosión – número permisible de repeticiones*

*Nota.* Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

Previo al uso de la Figura 24, es necesario determinar la carga por tipo de eje (simple o tándem) y el factor de erosión, para luego trazar una recta hasta que corte en un punto a la recta vertical que indica el número permisible de repeticiones de carga. Para el análisis de fatiga se realizará

procedimiento similar; sin embargo, cambiará el factor de erosión por factor de relación de esfuerzos.

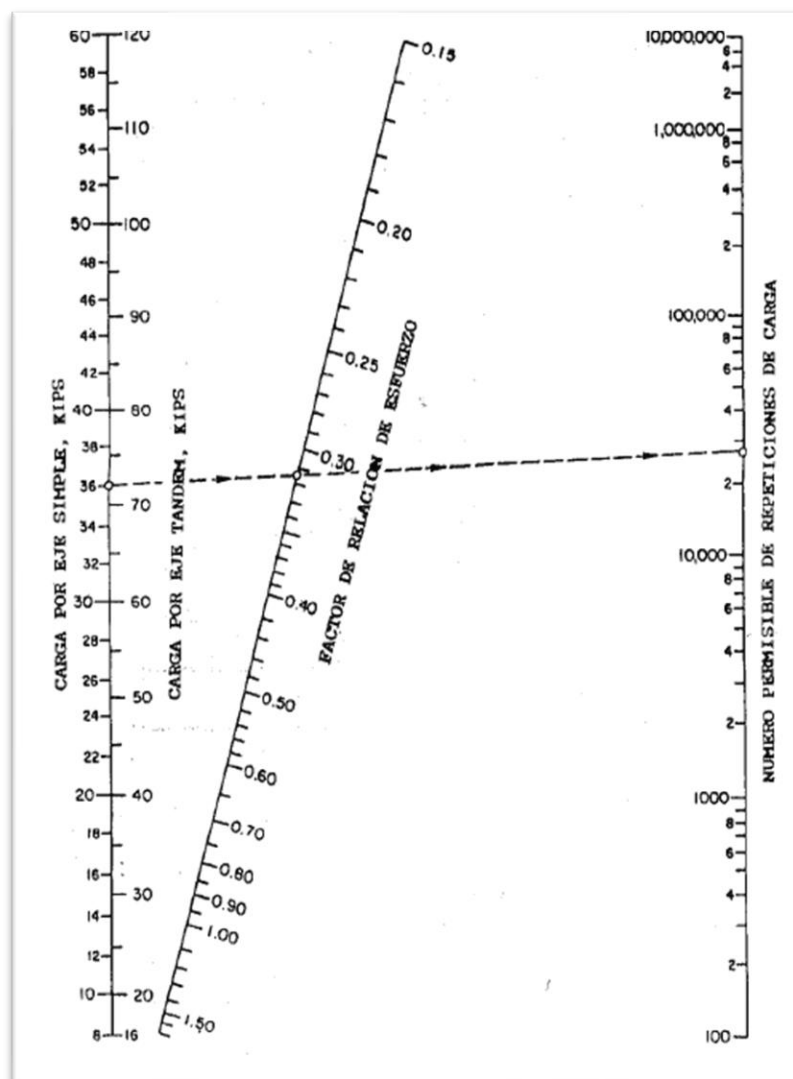


Figura 25. Análisis por fatiga – número permisible de repeticiones

Nota. Tomado de Portland Cement Association (1984). Thickness design for concrete highway and street pavements.

La Portland Cement Association (1984) sostiene que para el uso de la Figura 24 y la Figura 25, no requiere realizar interpolaciones muy precisas y en caso la intersección no se encuentre dentro de la recta, el número de repeticiones se puede considerar como ilimitada.

Finalmente, para calcular el espesor de la losa de concreto se utilizará el formato que emplea la PCA en su libro Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements (1984):



Tabla 46

Diseño de pavimento rígido por PCA, 1ra iteración

Espesor de prueba:	<u>23cm</u>	Espesor de subbase:	<u>15cm</u>
Módulo de reacción efect.:	<u>320pci</u>	Juntas con dowels:	<u>si</u>
Módulo de rotura:	<u>637pci</u>	Bemas de concreto:	<u>no</u>
Factor de seguridad de carga:	<u>1.2</u>	Periodo de diseño:	<u>15</u>

Carga por eje (kips)	Multiplicado por LSF	Repetición Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones permisibles	% de fatiga	Repeticiones permisibles	% de daño
<b>EJES SIMPLES</b>	Esfuerzo equivalente: 188					
	Factor de relación de esfuerzos: 0.296					
	Factor de erosión: 2.63					
2	2.4	3,426,758	Ilimitado	-	Ilimitado	-
15	18	1,251,196	Ilimitado	-	Ilimitado	-
24	28.8	921,065	6,000,000	15.4%	4,500,000	20.5%
<b>EJES TANDEM</b>	Esfuerzo equivalente: 161					
	Factor de relación de esfuerzos: 0.253					
	Factor de erosión: 2.76					
35	42	105,642	Ilimitado	-	16,000,000	0.7%
40	48	815,423	Ilimitado	-	5,500,000	14.8%
<b>EJES TRIDEM</b>	Esfuerzo equivalente: 121					
	Factor de relación de esfuerzos: 0.189					
	Factor de erosión: 2.85					
51	20.4	6,603	Ilimitado	-	8,000,000	0.1%
55	22	6,603	Ilimitado	-	5,000,000	0.1%
			<b>TOTAL</b>	<b>15.4%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>36.2%</b>

Nota. Elaboración propia.

Analizando el resultado de la primera iteración, se observa que el porcentaje de daño es 36.2% y el porcentaje de fatiga es 15.4%, si bien el pavimento cumple con las especificaciones de la PCA, sería recomendable que el % fatiga disminuya; por ello, para la siguiente iteración se mantuvo el mismo espesor de la losa, pero se incrementó el espesor de la subbase a 30cm y se muestra a continuación los resultados:

Tabla 47

Diseño de pavimento rígido por PCA, 2ra iteración

Espesor de prueba:	<u>23cm</u>	Espesor de subbase:	<u>30cm</u>
Módulo de reacción efect.:	<u>415pci</u>	Juntas con dowels:	<u>si</u>
Módulo de rotura:	<u>637pci</u>	Bemas de concreto:	<u>no</u>
Factor de seguridad de carga:	<u>1.2</u>	Periodo de diseño:	<u>15</u>

Carga por eje (kips)	Multiplicado por LSF	Repetic. Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones permisibles	% de fatiga	Repeticiones permisibles	% de daño
<b>EJES SIMPLES</b>						
		Esfuerzo equivalente:	181			
		Factor de relación de esfuerzos:	0.284			
		Factor de erosión:	2.62			
2	2.4	3,426,758	Ilimitado	-	Ilimitado	-
15	18	1,251,196	Ilimitado	-	Ilimitado	-
24	28.8	921,065	Ilimitado	-	4,600,000	20.0%
<b>EJES TANDEM</b>						
		Esfuerzo equivalente:	152			
		Factor de relación de esfuerzos:	0.239			
		Factor de erosión:	2.73			
35	42	105,642	Ilimitado	-	20,000,000	0.5%
40	48	815,423	Ilimitado	-	7,000,000	12%
<b>EJES TRIDEM</b>						
		Esfuerzo equivalente:	114			
		Factor de relación de esfuerzos:	0.179			
		Factor de erosión:	2.81			
51	20.4	6,603	Ilimitado	-	10,000,000	0.1%
55	22	6,603	Ilimitado	-	6,000,000	0.1%
			<b>TOTAL</b>	<b>0%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>32.4%</b>

Nota. Elaboración propia.

Se observa que en esta segunda iteración el porcentaje de fatiga disminuyó a 0 y que el porcentaje de daño disminuyó en 4%. Esto nos muestra que el diseño es estructuralmente óptimo; sin embargo, se pretende reducir aún más el % de daño; por ello, se incrementará en 1cm el espesor de la losa y se reducirá la subbase a 15cm.

Tabla 48

Diseño de pavimento rígido por PCA, 3ra iteración

Espesor de prueba:	<u>24cm</u>	Espesor de subbase:	<u>15cm</u>
Módulo de reacción efect.:	<u>320pci</u>	Juntas con dowels:	<u>si</u>
Módulo de rotura:	<u>637pci</u>	Bemas de concreto:	<u>no</u>
Factor de seguridad de carga:	<u>1.2</u>	Periodo de diseño:	<u>15</u>

Carga por eje (kips)	Multiplicado por LSF	Repetic. Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones permisibles	% de fatiga	Repeticiones permisibles	% de daño
<b>EJES SIMPLES</b>	Esfuerzo equivalente:	172				
	Factor de relación de esfuerzos:	0.27				
	Factor de erosión:	2.56				
2	2.4	3,426,758	Ilimitado	-	Ilimitado	-
15	18	1,251,196	Ilimitado	-	Ilimitado	-
24	28.8	921,065	Ilimitado	-	9,000,000	10.2%
<b>EJES TANDEM</b>	Esfuerzo equivalente:	151				
	Factor de relación de esfuerzos:	0.237				
	Factor de erosión:	2.7				
35	42	105,642	Ilimitado	-	22,000,000	0.5%
40	48	815,423	Ilimitado	-	9,000,000	9.1%
<b>EJES TRIDEM</b>	Esfuerzo equivalente:	114				
	Factor de relación de esfuerzos:	0.178				
	Factor de erosión:	2.8				
51	20.4	6,603	Ilimitado	-	12,500,000	0.1%
55	22	6,603	Ilimitado	-	6,900,000	0.1%
<b>TOTAL</b>				<b>0.0%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>19.9%</b>

Nota. Elaboración propia.

Analizando la tercera iteración, se observa que el porcentaje de fatiga se mantuvo en 0% y que el porcentaje de daño sigue disminuyendo. Por último, se realizará una última iteración para una subbase de espesor de 30cm. y el espesor de subbase se mantendrá igual:

Tabla 49

Diseño de pavimento rígido por PCA, 4ta iteración

Espesor de prueba:	24cm	Espesor de subbase:	30cm
Módulo de reacción efect.:	415pci	Juntas con dowels:	si
Módulo de rotura:	637pci	Bemas de concreto:	no
Factor de seguridad de carga:	1.2	Periodo de diseño:	15

Carga por eje (kips)	Multiplicado por LSF	Repetic. Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones permisibles	% de fatiga	Repeticiones permisibles	% de daño
<b>EJES SIMPLES</b>						
Esfuerzo equivalente:		167				
Factor de relación de esfuerzos:		0.263				
Factor de erosión:		2.55				
2	2.4	3,426,758	Ilimitado	-	Ilimitado	-
15	18	1,251,196	Ilimitado	-	Ilimitado	-
24	28.8	921,065	Ilimitado	-	9,000,000	10.2%
<b>EJES TANDEM</b>						
Esfuerzo equivalente:		142				
Factor de relación de esfuerzos:		0.223				
Factor de erosión:		2.63				
35	42	105,642	Ilimitado	-	58,000,000	0.2%
40	48	815,423	Ilimitado	-	16,500,000	5%
<b>EJES TRIDEM</b>						
Esfuerzo equivalente:		107				
Factor de relación de esfuerzos:		0.168				
Factor de erosión:		2.76				
51	20.4	6,603	Ilimitado	-	20,000,000	0%
55	22	6,603	Ilimitado	-	10,000,000	0.1%
			<b>TOTAL</b>	<b>0%</b>	<b>TOTAL</b>	<b>15.5%</b>

Nota. Elaboración propia.

Para finalizar, se realizará un cuadro de resumen de los distintos resultados que se obtuvieron durante el proceso iterativo, y se seleccionará la alternativa óptima a nivel de desempeño y costo.

Tabla 50

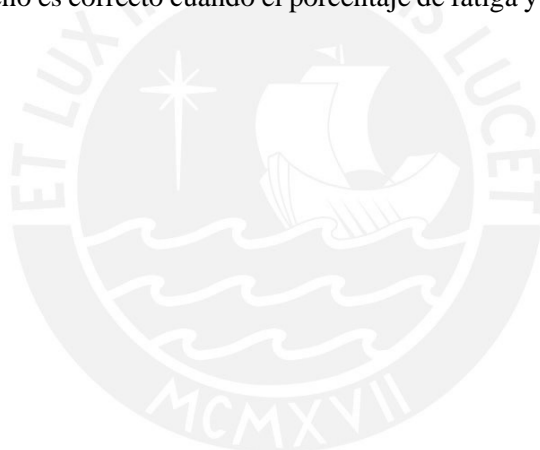
*Alternativas de diseño mediante el método de la PCA*

<b>Estructura</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	<b>Opción 4</b>
Losa de concreto (cm)	23	23	24	24
Subbase (cm)	15	30	15	30
% Fatiga	15.4	0	0	0
% Daño	36.2	32.4	19.9	15.5

*Nota.* Elaboración propia.

Se observa que con cada incremento del espesor de la subbase el porcentaje de fatiga y daño se reducen considerablemente, del mismo modo ocurre con el incremento de 1cm. de la losa de concreto.

Por otro lado, si bien la alternativa posee un porcentaje de fatiga y daño considerablemente mayor que las demás alternativas, se considera un diseño válido y óptimo, ya que la PCA sostiene que un diseño es correcto cuando el porcentaje de fatiga y daño son inferiores al 100%.



## 8. ANÁLISIS ECONÓMICO

En capítulos anteriores se realizó el diseño de pavimentos flexibles y rígidos, según diferentes metodologías. A partir de estos resultados se realizará el análisis económico con la finalidad de obtener la alternativa más económica.

- Para el proceso constructivo se consideró que el ancho de rodadura es de 7.20m. (doble sentido), berma lateral de 1.20m. (doble sentido) y longitud de 1000m.
- Para estimar el costo de conservación de pavimento se incluyeron partidas de mantenimiento rutinario y periódico; sin embargo, solo se está considerando algunas actividades básicas, ya que el presente proyecto se encuentra en etapa de diseño.

Las actividades de mantenimiento a desarrollar durante el periodo de vida del pavimento seguirán las siguientes frecuencias:

Tabla 51

*Actividades de mantenimiento de pavimentos flexible*

Actividades/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mantenimiento rutinario		x		x		x		x		x		x		x	
Sellado asfáltico						x						x			
Fresado y recapeo de pavimento asfáltico										x					

*Nota.* Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 51, se consideró que el mantenimiento rutinario se realizaría cada 2 años, el sellado asfáltico cada 6 años y el fresado y recapeo 10 años después de la construcción del pavimento.

Tabla 52

*Actividades de mantenimiento de pavimentos flexible*

Actividades/año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Mantenimiento rutinario		x		x		x		x		x		x		x	
Resellado de juntas					x					x					x

*Nota.* Elaboración propia.

A partir de la tabla 52, se consideró que el mantenimiento rutinario debe realizarse cada 2 años durante el periodo de vida del pavimento y el resellado de juntas cada 5 años.

## 8.1. Análisis de precios unitarios

### a. Pavimento Flexible

Tabla 53

Partida: Perfilado, nivelación y compactación de la subrasante

Partida	00001	PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE					
Rendimiento	m <sup>2</sup> /DIA	MO.	3,080.0000	EQ.	3,080.0000	Costo unitario directo por : m <sup>2</sup> 1.71	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0026	27.66	0.07	
	OFICIAL	hh	1.0000	0.0026	17.07	0.04	
	PEON	hh	4.0000	0.0104	15.41	0.16	
						<b>0.28</b>	
<b>Equipos</b>							
	MOTONIVELADORA DE 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0026	209.02	0.54	
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO DE 101-135 HP 10-12 TON	hm	1.0000	0.0026	146.08	0.38	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.28	0.01	
						<b>0.94</b>	
<b>Subpartidas</b>							
	AGUA PARA LA OBRA	m <sup>3</sup>		0.0300	16.70	0.50	
						<b>0.50</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 54

Partida: Subbase granular

Partida	00002	SUBBASE GRANULAR					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO.	412.0000	EQ.	412.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup> 41.12	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0194	27.66	0.54	
	PEON	hh	4.0000	0.0777	15.41	1.20	
						<b>1.73</b>	
<b>Equipos</b>							
	MOTONIVELADORA DE 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0194	209.02	4.06	
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO DE 101-135 HP 10-12 TON	hm	1.0000	0.0194	146.08	2.84	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.73	0.05	
						<b>6.95</b>	
<b>Subpartidas</b>							
	MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR	m <sup>3</sup>		1.2000	25.36	30.43	
	AGUA PARA LA OBRA	m <sup>3</sup>		0.1200	16.70	2.00	
						<b>32.44</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 55

*Partida: Base granular*

Partida	00003	BASE GRANULAR		Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>			61.21
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO. 357.0000	EQ. 357.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0224	27.66	0.62	
	PEON	hh	4.0000	0.0896	15.41	1.38	
						<b>2.00</b>	
	<b>Equipos</b>						
	MOTONIVELADORA DE 145 - 150 HP	hm	1.0000	0.0224	209.02	4.68	
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO DE 101-135 HP 10-12 TON	hm	1.0000	0.0224	146.08	3.27	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	2.00	0.06	
						<b>8.02</b>	
	<b>Subpartidas</b>						
	MATERIAL DE SUBBASE GRANULAR	m <sup>3</sup>		1.2000	40.99	49.19	
	AGUA PARA LA OBRA	m <sup>3</sup>		0.1200	16.70	2.00	
						<b>51.19</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 56

*Partida: Imprimación asfáltica*

Partida	00004	IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA		Costo unitario directo por : m <sup>2</sup>			3.98
Rendimiento	m <sup>2</sup> /DIA	MO. 4,500.0000	EQ. 4,500.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0018	27.66	0.05	
	PEON	hh	6.0000	0.0107	15.41	0.16	
						<b>0.21</b>	
	<b>Materiales</b>						
	ALFÁLTO LÍQUIDO MC-30	l		1.1000	2.81	3.09	
						<b>3.09</b>	
	<b>Equipos</b>						
	COMPRESORA NEUMÁTICA 87 HP 250-330 PCM	hm	1.0000	0.0018	77.58	0.14	
	MINICARGADOR 70 HP 0.5 YD3	hm	1.0000	0.0018	87.96	0.16	
	CAMIÓN IMPRIMADOR 210 HP 2000 GLN	hm	1.0000	0.0018	112.64	0.20	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.21	0.01	
						<b>0.51</b>	
	<b>Subpartidas</b>						
	ARENA ZARANDEADA	m <sup>3</sup>		0.0057	29.22	0.17	
						<b>0.17</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.



Tabla 57

*Partida: Riego de liga*

Partida	00005	RIEGO DE LIGA					
Rendimiento	m <sup>2</sup> /DIA	MO.	3,500.0000	EQ.	3,500.0000	Costo unitario directo por : m <sup>2</sup>	1.28
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0023	27.66	0.06	
	PEON	hh	4.0000	0.0091	15.41	0.14	
						<b>0.20</b>	
	<b>Materiales</b>						
	CEMENTO ASFÁLTICO	l		0.2550	1.67	0.43	
						<b>0.43</b>	
	<b>Equipos</b>						
	COMPRESORA NEUMÁTICA 87 HP 250-330 PCM	hm	1.0000	0.0023	77.58	0.18	
	MINICARGADOR 70 HP 0.5 YD3	hm	1.0000	0.0023	87.96	0.20	
	CAMIÓN IMPRIMADOR 210 HP 2000 GLN	hm	1.0000	0.0023	112.64	0.26	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.20	0.01	
						<b>0.65</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la const. de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 58

*Partida: Pavimento de concreto asfáltico en caliente*

Partida	00006	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO.	238.0000	EQ.	238.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	516.91
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
	OPERARIO	hh	1.0000	0.0336	21.71	0.73	
	PEON	hh	6.0000	0.2017	15.41	3.11	
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0336	27.66	0.93	
						<b>4.77</b>	
	<b>Equipos</b>						
	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 105 HP	hm	1.0000	0.0336	138.50	4.66	
	RODILLO NEUMÁTICO AUTOPROPULSADO 135 HP 9-26 TON	hm	1.0000	0.0336	139.57	4.69	
	RODILLO TANDEM VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 111-130 HP 9-11 TON	hm	1.0000	0.0336	203.80	6.85	
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	4.77	0.24	
						<b>16.44</b>	
	<b>Subpartidas</b>						
	MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE	m <sup>3</sup>		1.3000	381.31	495.70	
						<b>495.70</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la const. de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 59

*Partida: Transporte de materiales granulares para distancias menores 1000m.*

Partida	00007	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS MENORES 1000 M.					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO.	413.0000	EQ.	413.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup> k	7.03
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	<b>Mano de Obra</b>						
	OFICIAL	hh	0.4714	0.0091	17.07	0.16	
						<b>0.16</b>	
	<b>Equipos</b>						
	CAMIÓN VOLQUETE 6X4 330 HP DE 15 m <sup>3</sup>	hm	1.0000	0.0194	242.96	4.71	
	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 200-250 HP 4-4.1 YD <sup>3</sup>	hm	0.4714	0.0091	237.95	2.17	
						<b>6.88</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la const. de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 60

Partida: Transporte de materiales granulares para distancias mayores 1000m.

Partida	<b>00008</b>	<b>TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES PARA DISTANCIAS MAYORES 1000 M.</b>					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO. 1,450.0000	EQ. 1,450.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup> k		<b>1.34</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
	<b>Equipos</b>						
	CAMIÓN VOLQUETE 6X4 330 HP DE 15 m <sup>3</sup>	hm	1.0000	0.0055	242.96	1.34	
						<b>1.34</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 61

Partida: Transporte de mezclas asfálticas para distancias menores 1000m.

Partida	<b>00009</b>	<b>TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MENORES 1000 M.</b>					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO. 219.0000	EQ. 219.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup> k		<b>9.50</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
	<b>Mano de Obra</b>						
	OFICIAL	hh	1.0000	0.0365	17.07	0.62	
						<b>0.62</b>	
	<b>Equipos</b>						
	CAMIÓN VOLQUETE 6X4 330 HP DE 15 m <sup>3</sup>	hm	1.0000	0.0365	242.96	8.88	
						<b>8.88</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 62

Partida: Transporte de mezclas asfálticas para mayores menores 1000m.

Partida	<b>00010</b>	<b>TRANSPORTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DISTANCIAS MAYORES 1000 M.</b>					
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO. 1,338.0000	EQ. 1,338.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup> k		<b>1.45</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
	<b>Equipos</b>						
	CAMIÓN VOLQUETE 6X4 330 HP DE 15 m <sup>3</sup>	hm	1.0000	0.0060	242.96	1.45	
						<b>1.45</b>	

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 63

Partida: Mantenimiento rutinario – pavimento asfáltico

Partida	<b>00011</b>	<b>MANTENIMIENTO RUTINARIO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO</b>					
Rendimiento		MO.	EQ.	Costo unitario directo por : km		<b>7,245.00</b>	
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
	<b>Subpartida</b>						
	MANTENIMIENTO RUTINARIO	km		1.0000	7,245.00	7,245.00	
						<b>7,245.00</b>	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 64

Partida: Mantenimiento sellado asfáltico

Partida	00012	SELLADO ASFÁLTICO			Costo unitario directo por : m <sup>2</sup>			3.52
Rendimiento	m <sup>2</sup> /DIA	MO.	3,000.0000	EQ.	3,000.0000			
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	0.5000	0.0013	27.66	0.04		
	OFICIAL	hh	1.0000	0.0027	17.07	0.05		
	PEON	hh	8.0000	0.0213	15.41	0.33		
						<b>0.41</b>		
<b>Materiales</b>								
	ARENA	hm		0.0057	32.61	0.19		
	EMULSIÓN ASFALTICA	hm		0.2640	6.54	1.73		
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.41	0.02		
						<b>1.93</b>		
<b>Equipos</b>								
	BARREDORA MECANICA 10-20 HP	hm	1.00	0.0027	39.96	0.11		
	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 5.5-20Ton	hm	1.00	0.0027	119.21	0.32		
	ESPARCIDORA DE ARIDOS	hm	1.00	0.0027	110.00	0.29		
	TRACTOR DE TIRO DE 80 HP	hm	1.00	0.0027	62.92	0.17		
	CAMION IMPRIMADOR 6 X 2, 178 - 210 HP 2,000 gal	hm	1.00	0.0027	109.46	0.29		
						<b>1.18</b>		

Nota: Modificado de MTC (2010) Estudio de mantenimiento periódico de la autopista Ramiro Priale y la Carretera Central.

Tabla 65

Partida: Mantenimiento fresado y recapeo

Partida	00013	FRESADO Y RECAPEO DE PAVIMENTO ASFALTICO			Costo unitario directo por : m <sup>2</sup>			34.67
Rendimiento	MO.	EQ.						
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Subpartida</b>								
	FRESADO DE CARPETA ASFALTICA	m <sup>2</sup>		1.0000	2.60	2.60		
	RECAPEO DE CARPETA ASFALTICA	m <sup>2</sup>		1.0000	32.07	32.07		
						<b>34.67</b>		

Nota. Elaboración propia.

## b. Pavimento Rígido

Tabla 66

*Partida: Concreto para pavimento rígido*

Partida	00014	CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO			Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>			429.48
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	MO.	18.0000	EQ.	18.0000			
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	0.5000	0.2222	27.66	6.15		
	OPERARIO	hh	3.0000	1.3333	21.71	28.95		
	OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	17.07	22.76		
	PEON	hh	6.0000	2.6667	15.41	41.09		
<b>98.95</b>								
<b>Materiales</b>								
	GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.3800	9.67	3.67		
	LUBRICANTE, GRASAS Y FILTROS	%eq		5.0000	8.22	0.41		
	CEMENTO PORTLAND TIPO I	bol		11.0000	22.27	244.97		
	ADITIVO CURADOR	gal		0.1700	31.27	5.32		
<b>254.37</b>								
<b>Equipos</b>								
	VIBRADOR CONCRETO 4 HP	hm	1.0000	0.4444	7.54	3.35		
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	98.95	4.95		
	MEZACLADORA DE CONCRETO 18HP 11-12	hm	1.0000	0.4444	10.95	4.87		
<b>13.17</b>								
<b>Subpartidas</b>								
	PIEDRA CHANCADA	m <sup>3</sup>		0.7500	37.62	28.22		
	ARENA CHANCADA	m <sup>3</sup>		0.5000	61.88	30.94		
	AGUA PARA OBRA	m <sup>3</sup>		0.2300	16.70	3.84		
<b>63.00</b>								

Nota. Tomado de MTC (2019) Estudio definitivo para la const. de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay.

Tabla 67

*Partida: Dowels 1 1/4" @0.30m. L:0.46m.*

Partida	00015	DOWELS 1 1/4" @0.30m. L:0.46m.			Costo unitario directo por : kg			4.42
Rendimiento	kg/DIA	MO.	290.0000	EQ.	290.0000			
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0276	17.07	0.47		
	OFICIAL	hh	0.0100	0.0003	27.66	0.01		
<b>0.48</b>								
<b>Materiales</b>								
	FIERRO LISO 1 1/4"	kg		1.0000	3.76	3.76		
<b>3.76</b>								
<b>Equipo</b>								
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.48	0.02		
	CIZALLA	hm	1.0000	0.0276	5.80	0.16		
<b>0.18</b>								

Nota. Modificado de Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (2019).

Tabla 68

Partida: Barras de sujeción 5/8" @0.90m. L:0.80m.

Partida	00016	BARRAS DE SUJECIÓN 5/8" @0.9m. L:0.80m.						
Rendimiento	kg/DIA	MO. 290.0000	EQ. 290.0000	Costo unitario directo por : Kg			3.64	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	0.5000	0.0138	27.66	0.38		
	OFICIAL	hh	0.0100	0.0003	17.07	0.00		
<b>0.39</b>								
<b>Materiales</b>								
	FIERRO CORRUGADO 5/8"	kg		1.0000	3.07	3.07		
<b>3.07</b>								
<b>Equipo</b>								
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.39	0.02		
	CIZALLA	hm	1.0000	0.0276	5.80	0.16		
<b>0.18</b>								

Nota. Modificado de Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (2019).

Tabla 69

Partida: Corte de juntas

Partida	00017	CORTE DE JUNTAS						
Rendimiento	m/DIA	MO. 200.0000	EQ. 200.0000	Costo unitario directo por : m			4.06	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	0.5000	0.0200	27.66	0.55		
	OPERARIO	hh	1.0000	0.0400	21.71	0.87		
	PEON	hh	1.0000	0.0400	15.41	0.62		
<b>2.04</b>								
<b>Equipos</b>								
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.04	0.10		
	CORTADORA DE PAVIMENTO	hm	1.0000	0.0400	6.14	0.25		
<b>0.35</b>								
<b>Subpartidas</b>								
	AGUA PARA LA OBRA	m <sup>3</sup>		0.1000	16.70	1.67		
<b>1.67</b>								

Nota. Modificado de Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (2019).

Tabla 70

Partida: Sellado de juntas

Partida	00018	SELLADO DE JUNTAS						
Rendimiento	m/DIA	MO. 750.0000	EQ. 750.0000	Costo unitario directo por : m			9.30	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>								
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0011	27.66	0.03		
	OPERARIO	hh	6.0000	0.0640	21.71	1.39		
	PEON	hh	2.0000	0.0213	15.41	0.33		
<b>1.75</b>								
<b>Materiales</b>								
	SELLANTE ELÁSTICO DE POLIUTERANO	kg		0.4400	15.50	6.82		
	IMPRIMANTE PARA SELLANTES	L		0.0210	30.86	0.65		
<b>7.47</b>								
<b>Equipos</b>								
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.75	0.09		
<b>0.09</b>								

Nota. Modificado de Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca – Puno (2019).

Tabla 71

Partida: *Mantenimiento rutinario – pavimento rígido*

Partida	00019	MANTENIMIENTO RUTINARIO DE PAVIMENTO RIGIDO					
Rendimiento	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : km			7,553.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Subpartida						
	MANTENIMIENTO RUTINARIO	km		1.0000	7,553.00	7,553.00	
						7,553.00	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 72

Partida: *Mantenimiento resellado de juntas*

Partida	00020	RESELLADO DE JUNTAS					
Rendimiento	MO.	EQ.	Costo unitario directo por : ml			8.41	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Subpartida						
	RESELLADO DE JUNTAS DE PAVIMENTOS (INCLUYE RETIRO, LIMPIEZA, SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	ml		1.0000	8.41	8.41	
						8.41	

Nota. Elaboración propia.

## 8.2. Análisis de propuesta económica para pavimentos flexible y rígido

Para calcular el costo que demanda la construcción de 1km. de pavimento (flexible o rígido) en la nueva vía de Evitamiento se considerará los diseños que se realizaron en capítulos anteriores. Así mismo, se consideró que la distancia del proyecto a la cantera de agregados es 14.4 km. Se asumió que tanto la cantera, la planta de elaboración de asfalto y concreto se ubican en el mismo lugar.

Para el diseño de pavimentos rígidos se realizará juntas transversales cada 4.5m. y junta longitudinal a 3.6m.; así mismo, las barras de amarre (sujeción) tendrán un diámetro de 5/8", una longitud de 80cm. y espaciadas cada 90cm, y las pasajuntas (dowels) en las juntas transversales tendrán un diámetro de 1 ¼", una longitud de 46cm y espaciadas cada 30cm.

A continuación, se procederá a calcular el costo que demandará la construcción y mantenimiento:

## a. Pavimento flexible

Tabla 73

*Presupuesto de un pavimento flexible – AASHTO*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo				
				Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
00001	Perfilado, compactación y nivelado de la subrasante	1.71	m <sup>2</sup>	16,416.00	16,416.00	16,416.00	16,416.00	16,416.00
00002	Subbase granular	41.12	m <sup>3</sup>	98,688.00	78,950.40	78,950.40	78,950.40	78,950.40
00003	Base granular	61.21	m <sup>3</sup>	88,142.40	117,523.20	117,523.20	88,142.40	117,523.20
00004	Imprimación asfáltica	3.98	m <sup>2</sup>	38,208.00	38,208.00	38,208.00	38,208.00	38,208.00
00005	Riego de liga	1.28	m <sup>2</sup>	12,288.00	12,288.00	12,288.00	12,288.00	12,288.00
00006	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	516.91	m <sup>3</sup>	441,151.67	441,151.67	441,151.67	504,173.34	504,173.34
00007	Trans. Materiales granulares para D< 1000m.	7.03	m <sup>3</sup> K	26,995.20	26,995.20	26,995.20	23,620.80	26,995.20
00008	Trans. Materiales granulares para D> 1000m.	1.34	m <sup>3</sup> K	74,096.64	74,096.64	74,096.64	64,834.56	74,096.64
00009	Trans. Mezcla asfáltica para D< 1000m.	9.5	m <sup>3</sup> K	8,107.68	8,107.68	8,107.68	9,265.92	9,265.92
00010	Trans. Mezcla asfáltica para D> 1000m.	1.45	m <sup>3</sup> K	17,819.83	17,819.83	17,819.83	20,365.52	20,365.52
				S/821,913	S/831,557	S/831,557	S/856,265	S/898,282

Nota. Elaboración propia.

Tabla 74

*Presupuesto de un pavimento flexible – Instituto del Asfalto*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo			
				Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
00001	Perfilado, compactación y nivelado de la subrasante	1.71	m <sup>2</sup>	16,416.00	16,416.00	16,416.00	16,416.00
00002	Subbase granular	41.12	m <sup>3</sup>	59,212.80	78,950.40	78,950.40	98,688.00
00003	Base granular	61.21	m <sup>3</sup>	88,142.40	88,142.40	117,523.20	117,523.20
00004	Imprimación asfáltica	3.98	m <sup>2</sup>	38,208.00	38,208.00	38,208.00	38,208.00
00005	Riego de liga	1.28	m <sup>2</sup>	12,288.00	12,288.00	12,288.00	12,288.00
00006	Pavimento de concreto asfáltico en caliente	516.91	m <sup>3</sup>	504,173.34	504,173.34	504,173.34	504,173.34
00007	Trans. Materiales granulares para D< 1000m.	7.03	m <sup>3</sup> K	20,246.40	23,620.80	26,995.20	30,369.60
00008	Trans. Materiales granulares para D> 1000m.	1.34	m <sup>3</sup> K	55,572.48	64,834.56	74,096.64	83,358.72
00009	Trans. Mezcla asfáltica para D< 1000m.	9.5	m <sup>3</sup> K	9,265.92	9,265.92	9,265.92	9,265.92
00010	Trans. Mezcla asfáltica para D> 1000m.	1.45	m <sup>3</sup> K	20,365.52	20,365.52	20,365.52	20,365.52
				S/823,891	S/856,265	S/898,282	S/930,656

Nota. Elaboración propia.

## b. Pavimento rígido

Tabla 75

*Presupuesto de un pavimento rígido – AASHTO*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo			
				Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
00001	Perfilado, compactación y nivelado de la subrasante	1.71	m <sup>2</sup>	16,416.00	16,416.00	16,416.00	16,416.00
00014	Concreto para pavimento rígido	429.48	m <sup>3</sup>	773,064.00	773,064.00	742,141.44	742,141.44
00003	Base granular	61.21	m <sup>3</sup>	66,106.80	88,142.40	110,178.00	132,213.60
00015	Dowels 1 1/4" @0.30m. L:0.46m.	4.41	kg	64,427.01	64,427.01	64,427.01	64,427.01
00016	Barras de sujeción 5/8" @0.90m. L:0.80m.	3.64	kg	5,021.02	5,021.02	5,021.02	5,021.02
00017	Corte de juntas	4.06	m	10,556.00	10,556.00	10,556.00	10,556.00
00018	Sellado de juntas	9.3	m	24,180.00	24,180.00	24,180.00	24,180.00
00007	Trans. Materiales granulares para D< 1000m.	7.03	m <sup>3</sup> K	7,592.40	10,123.20	12,654.00	15,184.80
00008	Trans. Materiales granulares para D> 1000m.	1.34	m <sup>3</sup> K	20,839.68	27,786.24	34,732.80	41,679.36
00009	Trans. Mezcla de concreto para D< 1000m.	9.5	m <sup>3</sup> K	17,100.00	17,100.00	16,416.00	16,416.00
00010	Trans. Mezcla de concreto para D> 1000m.	1.45	m <sup>3</sup> K	37,584.00	37,584.00	36,080.64	36,080.64
				S/1,042,887	S/1,074,400	S/1,072,803	S/1,104,316

*Nota.* Elaboración propia.

Tabla 76

*Presupuesto de un pavimento rígido – PCA*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo			
				Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
00001	Perfilado, compactación y nivelado de la subrasante	1.71	m <sup>2</sup>	16,416.00	16,416.00	16,416.00	16,416.00
00014	Concreto para pavimento rígido	429.48	m <sup>3</sup>	711,218.88	711,218.88	742,141.44	742,141.44
00003	Base granular	61.21	m <sup>3</sup>	66,106.80	132,213.60	66,106.80	132,213.60
00015	Dowels 1 1/4" @0.30m. L:0.46m.	4.41	kg	64,427.01	64,427.01	64,427.01	64,427.01
00016	Barras de sujeción 5/8" @0.90m. L:0.80m.	3.64	kg	5,021.02	5,021.02	5,021.02	5,021.02
00017	Corte de juntas	4.06	m	10,556.00	10,556.00	10,556.00	10,556.00
00018	Sellado de juntas	9.3	m	24,180.00	24,180.00	24,180.00	24,180.00
00007	Trans. Materiales granulares para D< 1000m.	7.03	m <sup>3</sup> K	7,592.40	15,184.80	7,592.40	15,184.80
00008	Trans. Materiales granulares para D> 1000m.	1.34	m <sup>3</sup> K	20,839.68	41,679.36	20,839.68	41,679.36
00009	Trans. Mezcla de concreto para D< 1000m.	9.5	m <sup>3</sup> K	15,732.00	15,732.00	16,416.00	16,416.00
00010	Trans. Mezcla de concreto para D> 1000m.	1.45	m <sup>3</sup> K	34,577.28	34,577.28	36,080.64	36,080.64
				S/976,667	S/1,071,206	S/1,009,777	S/1,104,316

*Nota.* Elaboración propia.



## c. Costo de mantenimiento

Tabla 77

*Presupuesto: Mantenimiento de pavimento flexible*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo
00011	Mantenimiento rutinario de pavimento asfáltico	7,245.00	km	50,715.00
00012	Sellado asfáltico	3.52	m <sup>2</sup>	50,688.00
00013	Fresado y recapeo de pavimento asfáltico	34.67	m <sup>2</sup>	249,624.00
			TOTAL	S/351,027

Nota. Elaboración propia.

Tabla 78

*Presupuesto: Mantenimiento de pavimento rígido*

Partida	Descripción	P.U. (S/.)	Und.	Costo
00019	Mantenimiento rutinario de pavimento rígido	7,553.00	km	52,871.00
00020	Resellado de juntas	8.41	ml	65,598.00
			TOTAL	S/118,469

Nota. Elaboración propia.

## 9. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de capítulos anteriores, se llegó a las siguientes conclusiones:

El parque automotor en la ciudad de Abancay ha excedido su capacidad, a ello sumado los vehículos de carga pesada y de transporte de personas quienes en la actualidad vienen circulando por las principales avenidas, todo ello genera caos, congestión y accidentes de tránsito; por ello, es de suma urgencia el desarrollo del proyecto de pavimentación de la nueva vía de Evitamiento, ya que evitaría que los vehículos pesados ingresen a la ciudad.

Del estudio de tráfico se concluye que el medio de transporte más empleado son los automóviles, quienes representan más del 50% del Índice Medio Diario; así mismo, para el cálculo de la tasa crecimiento se emplearon factores económicos y de crecimiento poblacional. Por otro lado, equivalent single axle load (ESAL) para un pavimento flexible es  $4.95E+06$  y para un pavimento rígido es  $6.88E+06$ .

El estudio de tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos, ya que de esta depende mucho el espesor del pavimento; por ello, es recomendable realizar el conteo de vehículos para tener un valor exacto del Índice Medio Diario, ya que el cálculo de la ESAL comienza a partir de este valor.

De acuerdo con el estudio de fuentes de agua, se concluye que las 3 fuentes seleccionadas (río Mariño, río Pachachaca y la Quebrada) cumplen con los requisitos exigidos para su uso en la elaboración de pavimentos. Del estudio de canteras, si bien hay canteras de agregados que están relativamente más cercanos al proyecto, estas no cumplían con los requisitos de disponibilidad y calidad que exige el Ministerio de Transporte y Comunicaciones; por ello, a pesar de que la cantera ubicada a la altura del puente Sahuynto se encuentra más lejana al proyecto fue la opción elegida, ya que está cumplía con los requisitos exigidos y con la disponibilidad suficiente de agregados para abastecer al proyecto.

Del estudio de mecánica de suelos realizado en la cantera seleccionada, se determinó que el CBR al 100% de M.D.S de la base granular es 102.4% y de la subbase granular es 73%; así mismo, del EMS realizado sobre la vía de Evitamiento, determinó que el material de la subrasante es una arena limosa y que el resultado del ensayo California Bearing Ratio(CBR) al 95% de la máxima densidad seca fue 25.6 %, este resultado indica que la subrasante tendrá un comportamiento entre excelente y bueno.

A partir de los estudios pluviométricos, se concluye que los meses de intensas lluvias son entre los meses noviembre y marzo, y que los meses sequía o de lloviznas son entre los meses de mayo y

septiembre. Por otro lado, la temperatura en la zona del proyecto se caracteriza por ser caliente durante todo el año, ya que se registraron temperaturas máximas de 24°C y mínimas de 10°C.

Para el diseño de pavimentos flexibles se desarrollaron 2 metodologías: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993) y el Instituto del Asfalto (1991). La diferencia radica en que el primero emplea parámetros como periodo de diseño, desviación estándar, confiabilidad, tráfico, módulo de resiliencia y servicialidad para su diseño; en cambio, el Instituto del Asfalto recomienda emplear cartas de diseño que fueron elaborados mediante el software DAMA y para el uso de estas es necesario calcular parámetros como la temperatura, la ESAL y el módulo de resiliencia. Del diseño realizado mediante el método AASHTO, se observó que el Número Estructural calculado para las diferentes alternativas variaba entre 3.41 y 3.65; en cambio, mediante el método del Instituto del Asfalto se observó que el SN calculado para las diferentes alternativas variaba entre 3.14 y 3.88. Si bien el segundo método permite obtener un número estructural más reducido, es necesario analizar el costo que demandaría la construcción para determinar si está alternativa es la más económica. Se recomienda emplear el software WinPAS 12 para el cálculo del SN de un pavimento flexible mediante el método AASHTO, ya que este está basado en la guía de diseño de pavimento AASHTO (1993).

Para el diseño de pavimentos rígidos se desarrollaron 2 metodologías: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993) y Portland Cement Association (1984). La diferencia radica en que el primero emplea parámetros como periodo de diseño, desviación estándar, confiabilidad, tráfico, módulo de resiliencia y servicialidad para su diseño; en cambio, el método de la PCA está basado en los criterios de fatiga y erosión. Otra diferencia entre estos métodos es que el método de la AASHTO, a partir del IMD, calcula la ESAL y lo emplea en el diseño; sin embargo, el método de la PCA emplea el IMD para calcular las cargas que ejercen los ejes de los vehículos y en consiguiente calcular el número de repeticiones durante el periodo de diseño. Del diseño realizado mediante el método AASHTO se observó que el espesor de la losa de concreto calculado para las diferentes alternativas variaba entre 25 y 24cm; en cambio, mediante el método de la PCA variaba entre 23 y 24cm. Así mismo, se verificó que el análisis por fatiga es poco influyente y quien controla el diseño es el análisis por erosión. Se recomienda emplear el software WinPAS 12 para el cálculo del espesor de losa de concreto de un pavimento rígido mediante el método AASHTO, ya que este está basado en la guía de diseño de pavimento AASHTO (1993).

Del análisis económico, se concluye que los materiales de mayor costo e incidencia son el concreto asfáltico y el concreto para pavimento rígido, ya que representan más del 50% de la inversión; por ello, se calcularon varias alternativas para cada método, esto con la finalidad de encontrar un pavimento que resulte económico.

Por otra parte, al realizar la comparación de costos que implica solo el proceso constructivo, se determinó que el pavimento flexible resulta la propuesta de menor inversión, específicamente la alternativa 1 por el método AASHTO. Así mismo, al analizar el costo de mantenimiento, se determinó que el pavimento rígido presenta menor costo de inversión para su conservación. Cabe resaltar que solo se consideraron actividades básicas de mantenimiento, ya que no es posible determinar que futuras fallas presentará el pavimento durante su periodo de vida; por todo lo expuesto, si sumamos el costo de construcción y costo de mantenimiento, el pavimento rígido es la mejor alternativa, ya que la opción 1 por el método de la PCA presenta un menor costo de inversión.

La presente tesis fue desarrollada empleando el diseño de pavimentos de la AASHTO del año 1993; sin embargo, esta misma institución, en el año 2008, recomienda el uso de la aplicación del Método Mecánico Empírico MEPDG-AASHTO para el diseño de pavimentos; por ello, sería recomendable realizar una comparación de ambos métodos y establecer las diferencias que existen con relación al espesor del pavimento.

La diferencia entre un pavimento flexible y rígido radica en que la base y subbase son los encargados de resistir las cargas y esfuerzos que ejercen los vehículos; por ello, es que la carpeta asfáltica tiene un menor espesor en comparación de la base y subbase en pavimentos flexibles; en cambio, para un pavimento rígido el encargado de resistir las cargas y esfuerzos es la losa de concreto; por ello, es necesario el uso de juntas transversales y longitudinales para controlar y minimizar la aparición de grietas.

En el desarrollo de la presente tesis se ha podido constatar el cálculo y empleo de un sinnúmero de parámetros que influyen en el diseño; por ello, es importante realizar el cálculo de estas variables cuidadosamente; ya que muchas de estas tienen mayor influencia en el diseño y podrían dar resultados erróneos.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO GUIDE for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Interim Edition: A Manual of Practice, Washington, D.C.
- Chavez, A. (2014). Propuesta de sistema de gestión de pavimentos para municipalidades y gobiernos locales. *Revista Infraestructura Vial. Volumen 16* (número 28), 13-24pp.
- Duravía (2019). *Conoce el pavimento // Ciclo de vida*. Recuperado de <http://www.duravia.com.pe/ciclo-de-vida/>
- Higuera, Carlos. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras*. Colombia.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (Segunda ed.). United States of America: Pearson Prentice Hall.
- Instituto de Economía y Desarrollo empresarial -IEDEP (S/F). *Apurímac y Cusco lideran crecimiento en regiones en últimos ocho años*. Recuperado de [https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r795\\_1/iedep.pdf](https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r795_1/iedep.pdf)
- INEI (2018). *Resultados definitivos de los censos nacionales 2017- Apurímac*. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1557/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1557/)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas para la construcción*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras: sección suelos y pavimentos*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay: Análisis de precios unitarios*. Recuperado de [http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/LPI\\_0004\\_2019/ExpedienteTecnico/14%20Actualizacion%20Precios%20-%20Via%20Evitamiento%20Abancay%20Enero%202019.pdf](http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/LPI_0004_2019/ExpedienteTecnico/14%20Actualizacion%20Precios%20-%20Via%20Evitamiento%20Abancay%20Enero%202019.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Estudio de mantenimiento periódico de la autopista Ramiro Priale (km 0+000 al km 10+300) y carretera Central, tramo: av. Las Torres-pte los Angeles (km 9+768 al km 27+418)*. Recuperado de <http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2010/LP0003-2010/Disk1/Expediente%20Tecnico%20Escaneado/00%20Volumenes%20del%20Expediente/Volumen%20VI%20-%20CDS/Informacion%20Dirigial%20CD%2001/Vol%2005-Analisis%20PU-Ramiro%20Prial-Carretera%20Central/analisis%20de%20precios%20unitario.xls>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma CE.010 Pavimentos Urbanos: Diario Oficial El Peruano*. Recuperado de <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Olcese, Manuel (2017). *Diseño de pavimentos* [Diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Portland Cement Association. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. United States of America.
- SEDAPAL (2016). *Especificación técnica: obras de concreto*. Recuperado de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=351438cc-b6bd-4d8b-8012-df3707bc9c82&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=351438cc-b6bd-4d8b-8012-df3707bc9c82&groupId=10154)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2019) *Datos históricos de estación: Granja San Antonio*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/>
- SURVIAL S.A. (2019) Proyecto corredor vial interoceánico sur Perú-Brasil, tramo I.
- The Asphalt Institute. (1991). *THICKNESS DESIGN: Asphalt Pavements for Highways and Streets; Manual Series No. 1 (MS-1)*. Lexington
- Universidad Mayor San Simón (2004). *Manual completo diseño de pavimentos*. Bolivia. Recuperado de <https://www.libreriaingeniero.com/2019/06/manual-completo-diseno-de-pavimentos-umss.html>

- Vásquez, Arturo y Bendezú, Luis (2008). *Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social y Banco Central de Reserva del Perú.
- Vega, Alonso (2018). *Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al nuevo puerto de Yurimaguas* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, San Miguel, Peru.
- Vera & Moreno (2016). *Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay: Memoria descriptiva*. Recuperado de [http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/LPI\\_0004\\_2019/ExpedienteTecnico/01%20Memoria%20Descriptiva.pdf](http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2019/LPI_0004_2019/ExpedienteTecnico/01%20Memoria%20Descriptiva.pdf)
- Vera & Moreno (2016). *Estudio definitivo para la construcción de la vía de evitamiento de la ciudad de Abancay: Estudio de suelos, cantera y pavimentos*. Lima.
- Weather Spark (2019). *El clima promedio en Abancay*. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/25223/Clima-promedio-en-Abancay-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Zelada, Luis (2019). *Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca - Puno* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, San Miguel, Peru.

# ANEXO

## 1. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DE LA SUBRASANTE.





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**REGISTRO DE EXCAVACION**

PROYECTO	ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC					
UBICACION	Km. 1+200		M-1		M-3	
CALICATA	C-7		SUCS	GM	SUCS	SM
			AASHTO	A-2-4(0)	AASHTO	A-2-4(0)
			LL	29.8	LL	26.6
PROFUNDIDAD (m)	1.50m		LP	6.5	LP	4.7
			PROF.	0.00 - 0.40m	PROF.	0.40 - 1.50m
					PROF.	

DATOS	SIMBOLOGIA	SUCS	AASHTO	N° MUESTRA	DESCRIPCION
0.00		GM	A-2-4(0)	M-1	GRAVA LIMOSA. ESTRATO CONFORMADO POR MATERIAL GRANULAR SUB-ANGULAR CON ARENAS LIMOSAS POBREMENTE ARCILLOSAS DE BAJA PLASTICIDAD COLOR MARRON. ESTADO NATURAL MEDIANAMENTE DENSO. CONTENIDO DE HUMEDAD 8.6%
0.05					
0.10					
0.15					
0.20					
0.25					
0.30					
0.35					
0.40					
0.45					
0.50					
0.55					
0.60					
0.65					
0.70					
0.75					
0.80					
0.85					
0.90					
0.95					
1.00					
1.05					
1.10					
1.15					
1.20					
1.25					
1.30					
1.35					
1.40					
1.45					
1.50					



Jose Luis Meza Urrutia  
Ingeniero de Estudio  
C.I.P. 39141



SAMUEL VIZCARDO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**GRANULOMETRIA ( ASTM D-422 / AASHTO T-88 / MTC E-107)**

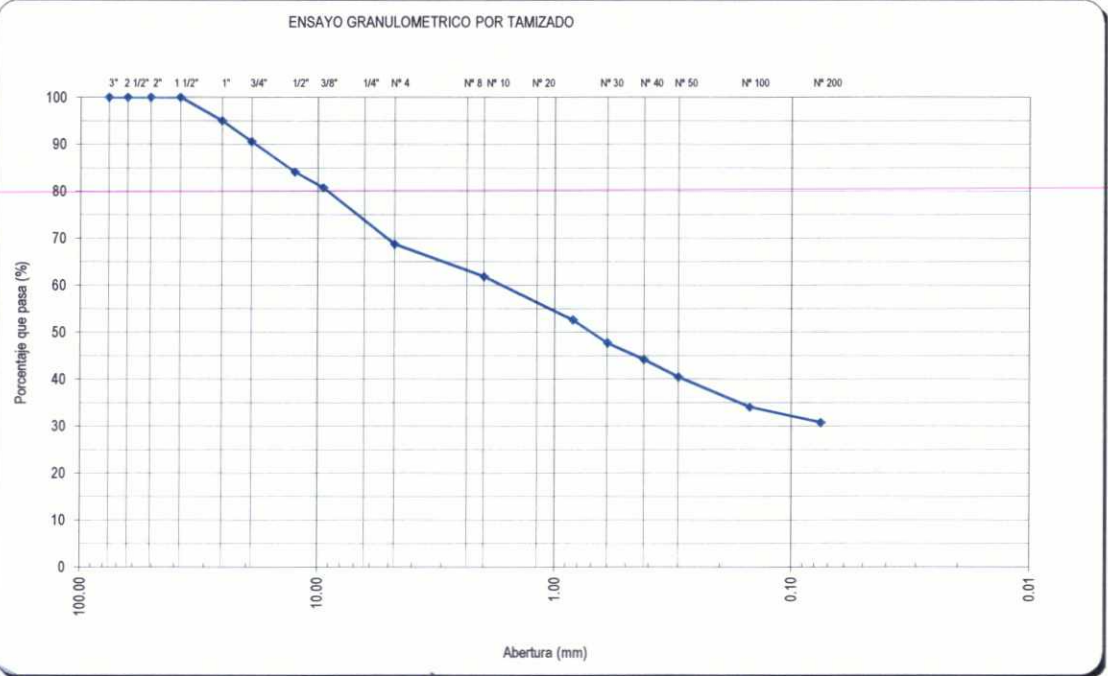
**PROYECTO :** ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

**PROGRESIVA :** Km. 1+200 **N° DE REGISTRO :** EA/VM007

**CALICATA :** C-7 **FECHA :** Mar-14

**MUESTRA :** M-2 **PROFUNDIDAD :** 0.40-1.50m

TAMIZ	ABER. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% PASA	ESPECIFICACION	CARACT. FÍSICAS - MECÁNICAS
3"	76.200						LIMITE LIQUIDO : 26.6 %
2 1/2"	63.500						LIMITE PLASTICO : 21.9 %
2"	50.800						INDICE PLASTICO : 4.7 %
1 1/2"	38.100				100.0		HUM. NATURAL : 10.0 %
1"	25.400	224.0	5.0	5.0	95.0		CLASF. AASHTO : A-2-4(0)
3/4"	19.050	198.0	4.4	9.4	90.7		CLASF. SUCS : SM
1/2"	12.500	293.0	6.5	15.8	84.2		M.D.S. : _____
3/8"	9.500	152.0	3.4	19.2	80.8		O.C.H. : _____
1/4"	6.350	293.0	6.5	25.7	74.3		CBR AL 100% M.D.S. : _____
N° 4	4.750	251.0	5.6	31.3	68.7		CBR AL 95% M.D.S. : _____
N° 8	2.360	40.5	5.6	36.8	63.2		
N° 10	2.000	9.6	1.3	38.2	61.9		<b>DATOS ADIC.</b>
N° 16	1.190	42.2	5.8	44.0	56.1		
N° 20	0.840	24.8	3.4	47.4	52.6		
N° 30	0.600	35.9	4.9	52.3	47.7		
N° 40	0.420	25.5	3.5	55.8	44.2		
N° 50	0.300	27.2	3.7	59.5	40.5		
N° 100	0.150	46.3	6.4	65.9	34.1		<b>PESOS INICIALES</b>
N° 200	0.075	24.0	3.3	69.2	30.8		PESO TOTAL : 4512.0 gr
< N° 200		224.0	30.8	100.0			PESO FINO : 500.0 gr



*[Signature]*  
Ing. José Luis Meza Urrutia  
Jefe de Estudio  
C.I.P. 39141

*[Signature]*  
SAMUEL VIZCARDO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

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

PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PROGRESIVA : Km. 1+200 N° DE REGISTR : EA/VM007

CALICATA : C-7 FECHA : Mar-14

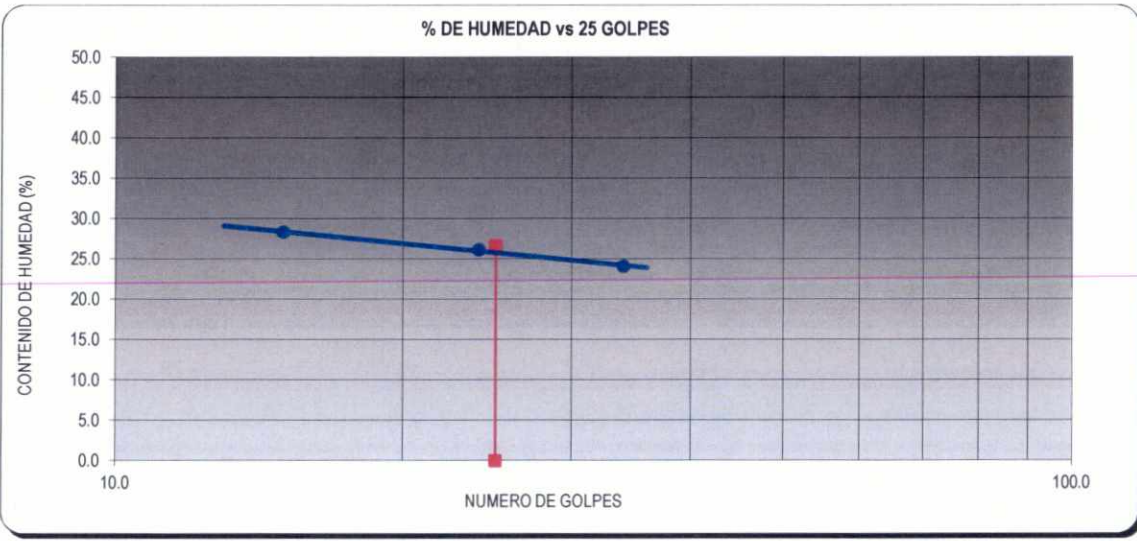
MUESTRA : M-2 PROFUNDIDAD : 0.40-1.50m

LIMITE LIQUIDO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-89 / MTC E-110 )

N° TARRO	3	4	5
TARRO + SUELO HUMEDO	45.36	45.78	45.00
TARRO + SUELO SECO	39.95	40.61	40.26
AGUA	5.41	5.17	4.74
PESO DEL TARRO	20.82	20.84	20.58
PESO DEL SUELO SECO	19.13	19.77	19.68
% DE HUMEDAD	28.28	26.15	24.09
N° DE GOLPES	15	24	34

LIMITE PLASTICO ( ASTM D-4318 / AASHTO T-90 / MTC E-111 )

N° TARRO	11	15
TARRO + SUELO HUM.	34.23	34.80
TARRO + SUELO SECO	32.96	33.41
AGUA	1.27	1.39
PESO DEL TARRO	27.11	27.12
PESO DEL SUELO SECO	5.85	6.29
% DE HUMEDAD	21.71	22.10



LIMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	: 26.6
LIMITE PLASTICO (%)	: 21.9
INDICE PLASTICO (%)	: 4.7

OBSERVACIONES



Ing. José Luis Meza Urrutia  
Jefe de Estudio  
C.I.P. 39141

SAMUEL VIZCARGO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS





**VERA & MORENO S.A.**  
CONSULTORES DE INGENIERIA

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**HUMEDAD ( ASTM D-2216 / MTC E-108 -2000)**

<b>PROYECTO</b>	ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
<b>PROGRESIVA</b>	: Km. 1+200	<b>N° DE REGISTRO</b>	: EA/VM/007
<b>CALICATA</b>	: C-7	<b>FECHA</b>	: Mar-14
<b>MUESTRA</b>	: M-2	<b>PROFUNDIDAD</b>	: 0.40-1.50m

% HUMEDAD		
N° TARRO	-	-
SUELO HUMEDO	683.40	812.20
SUELO SECO	620.10	739.10
AGUA	63.30	73.10
PESO DEL TARRO	0.00	0.00
PESO DEL SUELO SECO	620.10	739.10
% DE HUMEDAD	10.21	9.89
HUMEDAD PROM. (%)	<b>10.0</b>	



*[Signature]*  
 Ing. José Luis Meza Urrutia  
 Jefe de Estudio  
 C.I.P. 39141

*[Signature]*  
 SAMUEL VIZCARRA OTAZO  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 40109  
 ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



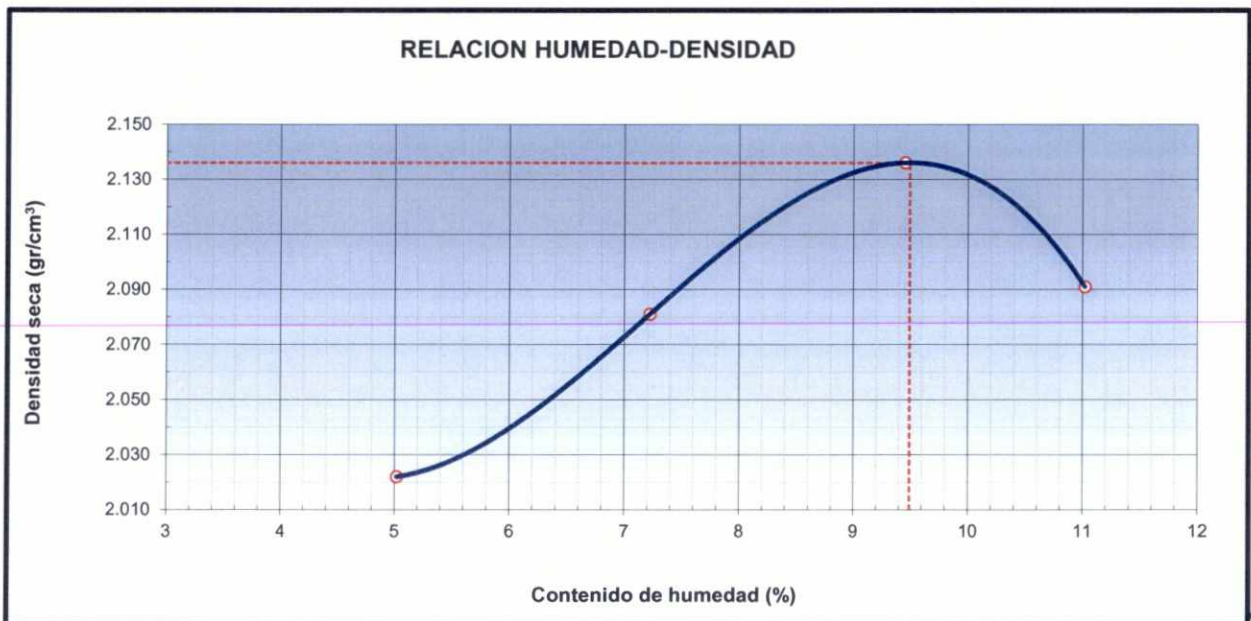
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**PROCTOR MODIFICADO ( ASTM D-1557 / AASHTO T-180 / MTC E-115 )**

PROYECTO	: ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
PROGRESIVA	: Km. 1+200	N° DE REGISTRO	: EA/VM/007
CALICATA	: C-7	FECHA	: Mar-14
MUESTRA	: M-2	PROFUNDIDAD (m)	: 0.40-1.50

**METODO C**

DESCRIPCION DEL ENSAYO	N°	1	2	3	4		
Peso suelo + molde	gr	10882	11111	11336	11301		
Peso molde	gr	6387	6387	6387	6387		
Peso suelo húmedo compactado	gr	4495	4724	4949	4914		
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2117	2117	2117	2117		
Peso volumétrico húmedo	gr	2.124	2.231	2.338	2.321		
Recipiente N°		0.0	0.0	0.0	0.0		
Peso del suelo húmedo+tara	gr	536.7	500.2	494.7	456.5		
Peso del suelo seco + tara	gr	511.0	466.5	452.0	411.2		
Tara	gr	0.0	0.0	0.0	0.0		
Peso de agua	gr	25.7	33.7	42.7	45.3		
Peso del suelo seco	gr	511.0	466.5	452.0	411.2		
Contenido de agua	%	<b>5.02</b>	<b>7.22</b>	<b>9.45</b>	<b>11.02</b>		
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2.022</b>	<b>2.081</b>	<b>2.136</b>	<b>2.091</b>		
						Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>2.136</b>
						Humedad óptima (%)	<b>9.5</b>



Observaciones:



*[Signature]*  
Ing. José Luis Meza Urrutia  
Jefe de Estudio  
C.I.P. 39141

*[Signature]*  
SAMUEL VIZCARDO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**CALIFORNIA BEARING RATIO ( ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132 )**

PROYECTO	ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC		
PROGRESIVA	Km. 1+200	Nº DE REGISTRO	EA/VM/007
CALICATA	C-7	FECHA	Mar-14
MUESTRA	M-2	PROFUNDIDAD	0.40-1.50

**COMPACTACION**

Molde Nº	4		5		6	
	5		5		5	
Capas Nº	56		25		12	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13102	13206	12942	13052	12661	12772
Peso de molde (g)	8204	8204	8234	8234	8226	8226
Peso del suelo húmedo (g)	4898	5002	4708	4818	4435	4546
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2092	2100	2092	2103	2092	2106
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.341</b>	<b>2.391</b>	<b>2.250</b>	<b>2.303</b>	<b>2.120</b>	<b>2.173</b>
Tara (Nº)						
Peso suelo húmedo + tara (g)	552.9	5001.7	499.7	4817.8	547.2	4546.5
Peso suelo seco + tara (g)	505.2	4475.3	455.5	4291.1	499.5	4048.4
Peso de tara (g)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua (g)	47.74	526.4	44.23	526.7	47.70	498.0
Peso de suelo seco (g)	505.2	4475.3	455.5	4291.1	499.5	4048.4
Contenido de humedad (%)	9.4	11.8	9.7	12.3	9.6	12.3
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.139</b>	<b>2.131</b>	<b>2.051</b>	<b>2.041</b>	<b>1.935</b>	<b>1.922</b>

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/03/2014	08:30	0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.0
23/03/2014	09:20	24	12.000	0.305	0.3	13.000	0.330	0.3	14.000	0.356	0.3
24/03/2014	10:00	48	17.000	0.432	0.4	21.000	0.533	0.5	23.000	0.584	0.5
25/03/2014	10:40	72	29.000	0.432	0.4	36.000	0.584	0.5	44.000	0.762	0.7

**PENETRACION**

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		(kN)	kg	kg	%	(kN)	kg	kg	%	(kN)	kg	kg	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		1.086	110.8			0.905	92.3			0.647	65.9		
1.270		2.236	228.0			1.863	190.0			1.331	135.7		
1.905		3.355	342.1			2.796	285.1			1.997	203.6		
2.540	70.455	4.498	458.6	452.6	<b>32.6</b>	3.748	382.2	374.9	<b>27.0</b>	2.677	273.0	266.5	<b>19.2</b>
3.810		6.452	657.9			5.377	548.3			3.840	391.6		
5.080	105.68	8.711	888.3	882.2	<b>42.3</b>	7.259	740.2	744.7	<b>35.7</b>	5.185	528.7	537.7	<b>25.8</b>
6.350		10.510	1071.7			9.217	939.9			6.855	699.0		
7.620		11.950	1218.6			10.810	1102.3			8.210	837.2		



Ing. Jose Luis Meza Urrutia  
Jefe de Estudio  
C.I.P. 39141

SAMUEL VIZCARDO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CALIFORNIA BEARING RATIO ( ASTM D-1883 / AASHTO T-193 / MTC E-132 )

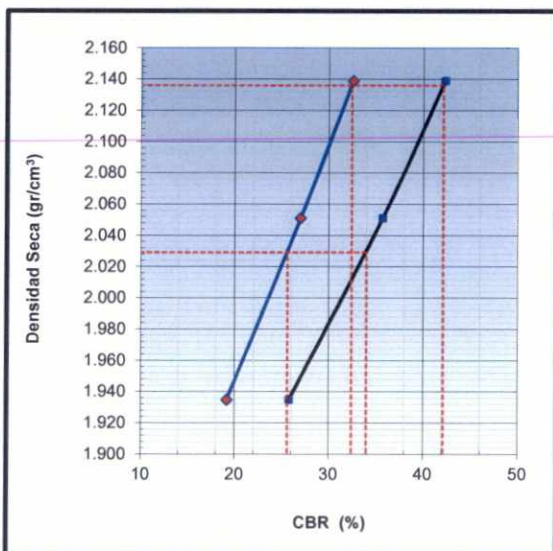
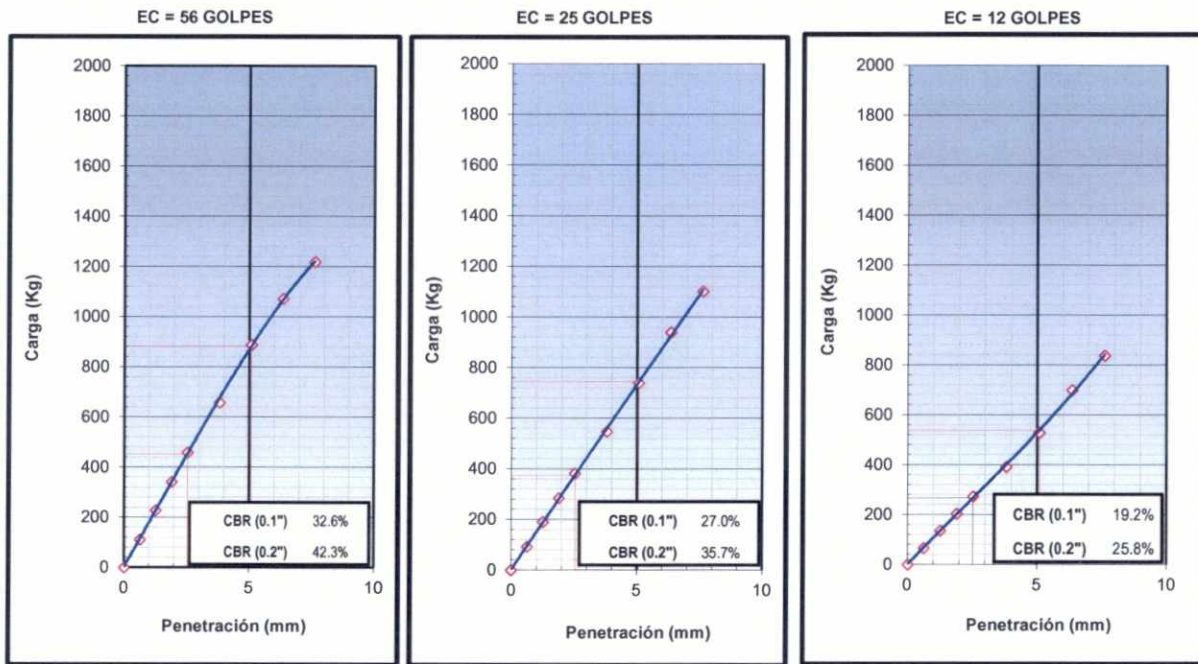
PROYECTO : ESTUDIO DEFINITIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PROGRESIVA : Km. 1+200 N° DE REGISTRO : EA/VM007

CALICATA : C-7 FECHA : Mar-14

MUESTRA : M-2 PROFUNDIDAD : 0.40-1.50

GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



METODO DE COMPACTACION : ASTM D1557

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.136

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 9.5

95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3) : 2.029

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 32.4	0.2": 42.1
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 25.6	0.2": 34.0

RESULTADOS:

C.B.R. al 100% de la M.D.S. (%)	0.1" = 32.4 (%)
C.B.R. al 95% de la M.D.S. (%)	0.1" = 25.6 (%)

OBSERVACIONES:

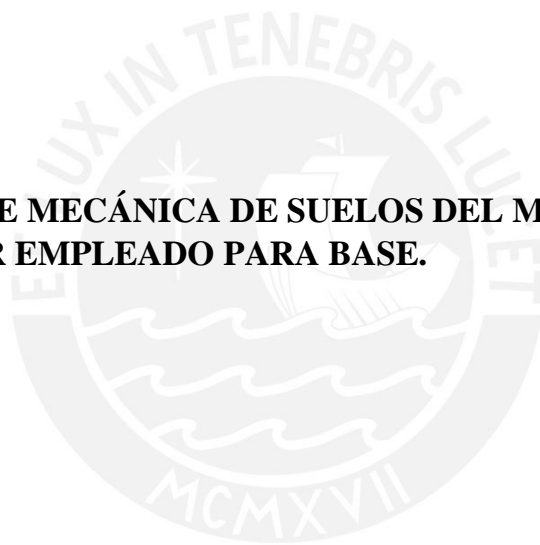
Ing. José Luis Meza Urrutia  
Jefe de Estudio  
C.I.P. 39141




SAMUEL VIZCARDO OTAZO  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 40109  
ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



**2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL MATERIAL GRANULAR EMPLEADO PARA BASE.**



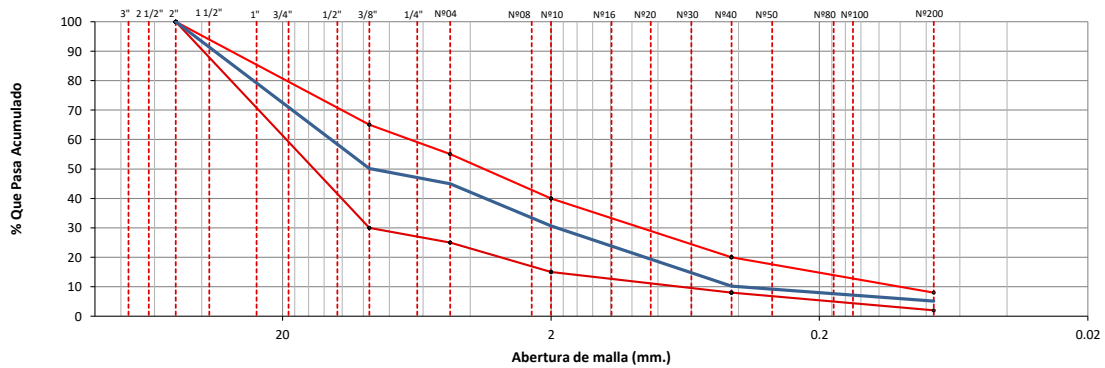


	<b>ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS</b>				GO-CC-SVP-FOR-063
	<b>NORMA: ASTM C 136 / MTC E 204</b>				Revisión: 00
	Elaborado Por: JCCP	Revisado por: JCCSP	Aprobado por: GT	Fecha	Página 1 de 1

<b>PROYECTO</b> :	Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay	<b>REGISTRO</b> :	M/BG: 004
<b>UBICACIÓN</b> :	Challhuanca - Abancay - Limatambo	<b>REALIZADO</b> :	Tec. Frank Delgado C.
<b>CANTERA</b> :	Puente Sahuynto	<b>REVISADO</b> :	Ing Alex Faggioni Tito
<b>ACCESO</b> :		<b>FECHA</b> :	2/08/2018
<b>KM</b> :		<b>LADO</b> :	Derecho
<b>MATERIAL</b> :	Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4" 10% Grava Chancada Tamiz <1" 50% Arena Gruesa		

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(PULG)	(mm)					Mín.	Máx.	
3"	75.000							PESO TOTAL : 59300.0 g.
2 1/2"	63.000							PESO LAVADO : --- g.
2"	50.000				100.0	100		PESO DE FRACCIÓN : 1320.9 g.
1 1/2"	37.500	242.2	0.4	0.4	99.6			
1"	25.000	1764.0	3.0	3.4	96.6			PESO DE LA GRAVA : 32624.2 g.
3/4"	19.000	3750.0	6.3	9.7	90.3			PESO DEL FINO : 26675.8 g.
1/2"	12.500	18774.0	31.7	41.4	58.6			
3/8"	9.500	5035.0	8.5	49.9	50.1	30	65	
1/4"	6.300							% GRAVA : 55.0 %
Nº04	4.750	3059.0	5.2	55.0	45.0	25	55	% ARENA : 45.0 %
Nº08	2.360							% PASANTE MALLA : 5.1 %
Nº10	2.000	419.3	14.3	69.3	30.7	15	40	
Nº16	1.190							<b>CLASIFICACIÓN SUELO:</b>
Nº20	0.850							S.U.C.S. : GP-GM
Nº30	0.600							AASHTO : A-1-a (0)
Nº40	0.425	600.7	20.5	89.8	10.2	8	20	
Nº50	0.300							
Nº80	0.177							
Nº100	0.150							
Nº200	0.075	150.3	5.1	94.9	5.1	2	8	
< Nº200	FONDO	150.6	5.1	100.0	0.0			

#### CURVA GRANULOMETRICA




**OBSERVACIONES:**

1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
Especialista de suelos y pavimentos



	<b>ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie3)</b>				GO-CC-SyP-FOR-009
	<b>NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115</b>				Revisión 03
	Elaborado Por: JCCSP	Revisado por: JCCSP	Aprobado por: GT	Fecha	Página 1 de 1

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Challhuanca - Abancay - Limatambo  
**CANTERA** : Puente Sahuynto  
**DESIVIO** :  
**KM** :  
**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4"  
 10% Grava Chancada Tamiz <1"  
 50% Arena Gruesa

**REGISTRO** : M/BG: 004  
**REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.  
**REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito  
**FECHA** : 2/08/2018  
**LADO** : Derecho

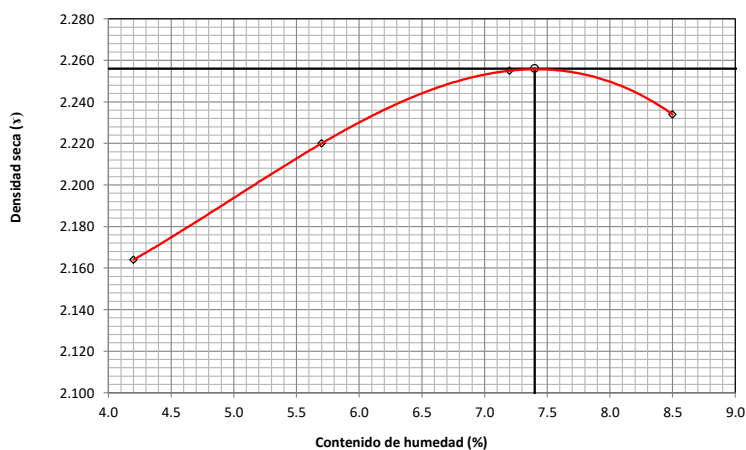
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	11590	11785	11934	11949
Peso del molde	g.	6802	6802	6802	6802
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4788	4983	5132	5147
Volumen del molde	cm3	2123	2123	2123	2123
Peso del volumen húmedo	g/cm3	2.255	2.347	2.417	2.424

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	601.8	849.7	924.0	737.5
Peso del suelo seco + tara	g.	577.3	803.9	861.9	679.7
Peso de tara	g.				
Peso de agua	g.	24.5	45.8	62.1	57.8
Peso de suelo seco	g.	577.3	803.9	861.9	679.7
contenido de agua	%	4.2	5.7	7.2	8.5
Peso volumétrico seco	g/cm3	2.164	2.220	2.255	2.234

<b>DENSIDAD MAXIMA SECA</b>	2.256	g/cm3
<b>OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	7.4	%

**GRAFICO DEL PROCTOR**




#### OBSERVACIONES:

- Método de Aplicación: C
- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
Especialista de suelos y pavimentos

	<b>ENSAYO: EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS</b>				GO-CC-SyP-FOR-003
	<b>NORMA: ASTM D2419 / MTC E 114</b>				Revisión 03
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
JCCSP	JCCSP	GT			1 de 1

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

**MURO** | : Challuanca - Abancay - Limatambo

**CANTERA** : Puente Sahuynto

**DESVIO** :

**KM** :

**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4"  
10% Grava Chancada Tamiz <1"  
50% Arena Gruesa

**REGISTRO** : M/BG: 004

**REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.

**REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito

**FECHA** : 2/08/2018

**LADO** : Derecho

Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
Hora de entrada a saturación	15:08:00	15:11:00	15:14:00	
Hora de salida de saturación	15:18:00	15:21:00	15:24:00	
Hora de entrada a decantación	15:20:00	15:23:00	15:26:00	
Hora de salida de decantación	15:40:00	15:43:00	15:46:00	
Lectura de arcilla	140.0	142.0	142.0	
Lectura de arena	71.0	72.0	72.0	
Porcentaje de equivalente de arena	51	51	51	51

<b>Resultado final (%)</b>	<b>51 %</b>
----------------------------	-------------


**ESPECIFICACIÓN** : 25% Mínimo

**OBSERVACIONES:**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Material obtenido de Puente Sahuynto
- 3.- Especificación obtenida de la EG-2013:
  - Para una altitud hasta 3000 msnm: 60% Mínimo
  - Para una altitud mayor a 3000 msnm: 70% Mínimo
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
Especialista de suelos y pavimentos

	<b>ENSAYO: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS</b>			GO-CC-SyP-FOR-007	
	<b>NORMA: ASTM D 5821 / MTC E 210</b>				Revisión 03
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
	JCCSP	JCCSP	GT		1 de 1

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Challhuanca - Abancay - Limatambo **REGISTRO** : M/BG: 004  
**CANTERA** : Puente Sahuynto **REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.  
**DESVIO** : **REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito  
**KM** : **FECHA** : 2/08/2018  
**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4" **LADO** : Derecho  
10% Grava Chancada Tamiz <1"  
50% Arena Gruesa

**a.- Con una cara fracturada.**

Tamiz		Peso Muestra (g)	Peso Material con Una Cara Fracturada (g)	Porcentaje de Caras Fracturadas C = ((B/A)*100)	Porcentaje Ret. Gradación Original (%) D	Promedio de Caras Fracturadas E = C * D
Pasa	Retiene					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	2005.0	1876.0	93.6	3.0	278.3
1"	3/4"	1534.0	1323.0	86.2	6.3	545.4
3/4"	1/2"	1205.0	1003.0	83.2	31.7	2635.2
1/2"	3/8"	304.0	278.0	91.4	8.5	776.5
<b>TOTAL</b>		<b>5048.0</b>	<b>4480.0</b>	<b>354.5</b>	<b>49.4</b>	<b>4235.4</b>

Porcentaje con una cara fracturada =  $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$  85.7 %

**b.- Con dos caras fracturadas.**

Tamiz		Peso Muestra (g)	Peso Material con Una Cara Fracturada (g)	Porcentaje de Caras Fracturadas C=((B/A)*100)	Porcentaje Ret. Gradación Original (%) D	Promedio de Caras Fracturadas E = C * D
Pasa	Retiene					
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"	2005.0	1543.0	77.0	3.0	228.9
1"	3/4"	1534.0	1092.0	71.2	6.3	450.2
3/4"	1/2"	1205.0	812.0	67.4	31.7	2133.4
1/2"	3/8"	304.0	201.0	66.1	8.5	561.4
<b>TOTAL</b>		<b>5048.0</b>	<b>3648.0</b>	<b>281.6</b>	<b>49.4</b>	<b>3373.9</b>

Porcentaje con dos caras fracturadas =  $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$  68.2 %


**ESPECIFICACIÓN MÍN. CON UNA CARA** 80% Min  
**ESPECIFICACIÓN MÍN. CON DOS Ó MÁS** 40% Min

**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad.

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
 Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
 Especialista de suelos y pavimentos

	<b>ENSAYO: INDICE DE APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS</b>				GO-CC-SyP-FOR-014
	<b>NORMA: MTC E 221 / NLT 354/91</b>				Revisión 03
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
	JCCSP	JCCSP	GT		1 de 1

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

**UBICACIÓN** : Challhuanca - Abancay - Limatambo

**CANTERA** : Puente Sahuayto

**DESVIO** :

**KM** :

**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4"  
10% Grava Chancada Tamiz <1"  
50% Arena Gruesa

**REGISTRO** : M/BG: 004

**REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.

**REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito

**FECHA** : 2/08/2018

**LADO** : Derecho

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS Y ALARGADAS				
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	PESO RET.	% RET.	% PASA			PESO	(%)	(%) Corregido
2"	50.00								
1 1/2"	37.50								
1"	25.00	1764.0	3.0	96.6			108.0	6.1	0.4
3/4"	19.00	1886.0	6.3	90.3			250.0	13.3	1.7
1/2"	12.50	1168.0	31.7	58.6			84.0	7.2	4.6
3/8"	9.50	395.0	8.5	50.1			31.0	7.8	1.3
<b>TOTAL</b>		<b>5213.0</b>	<b>49.4</b>				<b>473.0</b>	<b>34.4</b>	<b>8.0</b>

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	5213.0
PARTICULAS CHATAS Y ALARG.	(%)	8.0

**ESPECIFICACIÓN** 15% Máximo


**OBSERVACIONES:**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido de
- Relación Espesor:Longitud, 1:3
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
Especialista de suelos y pavimentos

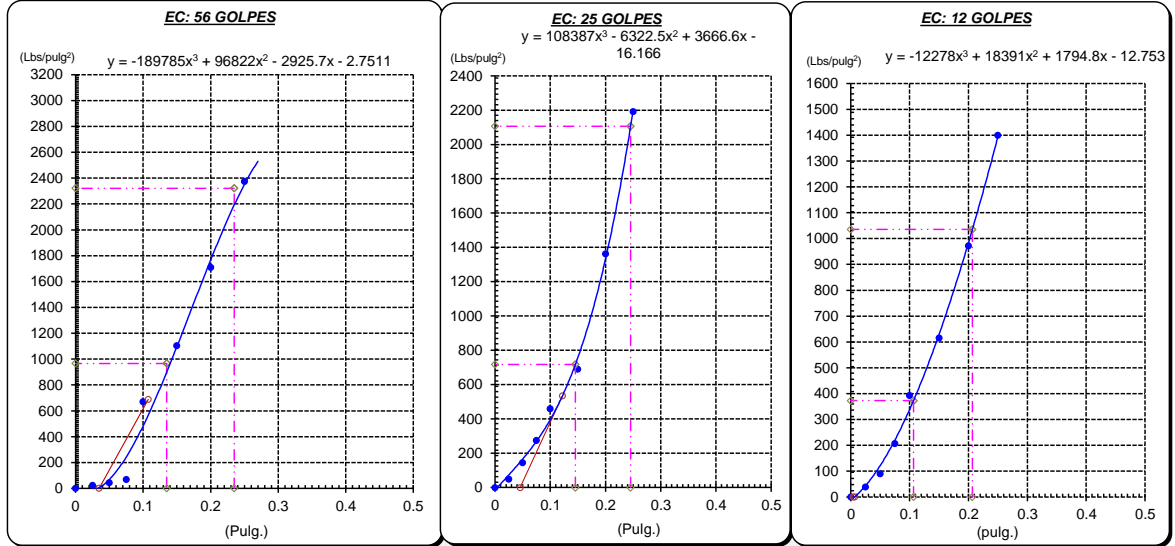


	<b>ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)</b>				GO-CC-SyP-FOR-050
	<b>NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2000</b>				
	Elaborado por: JCCSP	Revisado por: JCCSP	Aprobado por: GT	Fecha	Revisión 02 Página 2 de 2

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Challhuanca - Abancay - Limatambo  
**CANTERA** : Puente Sahuynto  
**DESVIO** :  
**KM** :  
**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4"  
 10% Grava Chancada Tamiz <1"  
 50% Arena Gruesa

**REGISTRO** : M/BG: 004  
**REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.  
**REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito  
**FECHA** : 2/08/2018  
**LADO** : Derecho

### GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN



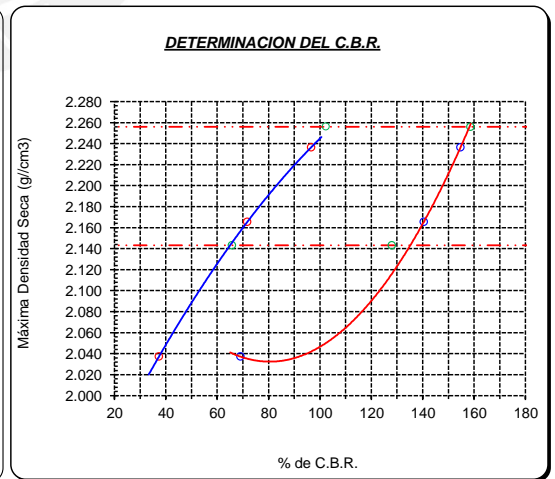
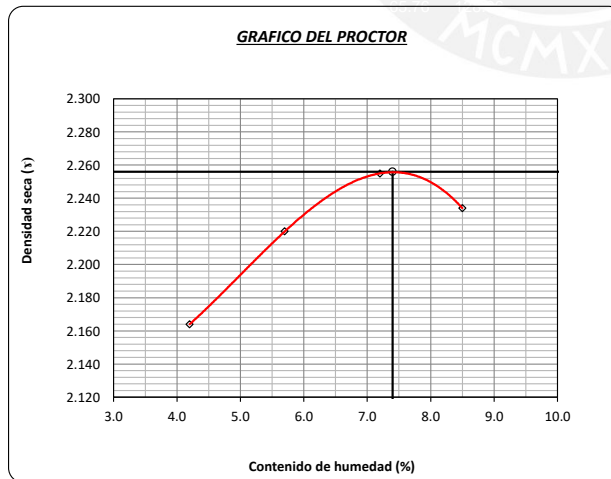
### GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

#### DATOS DEL PROCTOR

**DENSIDAD SECA AL 100'** 2.256 g/cm<sup>3</sup>  
**DENSIDAD SECA AL 95%** 2.143 g/cm<sup>3</sup>  
**OPTIMO CONT. DE HUMI** 7.4 %

#### VALOR DEL C.B.R.

	0.1"	0.2"
<b>C.B.R. AL 100 % M.D.S.</b>	102.4 %	158.7 %
<b>C.B.R. AL 95 % M.D.S.</b>	65.8 %	128.1 %




#### OBSERVACIONES:

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Material obtenido del
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
Técnico de Suelos y Pavimento

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
Especialista de suelos y pavimentos



	<b>ENSAYO: SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>				GO-CC-SyP-FOR-005
	<b>NORMA: ASTM D 1888 / MTC E 219</b>				Revisión 03
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
JCCSP	JCCSP	GT		1 de 1	

**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Challhuanca - Abancay - Limatambo **REGISTRO** : M/BG: 004  
**CANTERA** : Puente Sahuynto **REALIZADO** : Tec. Frank Delgado C.  
**DESVIO** : **REVISADO** : Ing Alex Faggioni Tito  
**KM** : **FECHA** : 2/08/2018  
**MATERIAL** : Base Granular Mezcla 40% Grava Chancada Tamiz <3/4" **LADO** : Derecho  
 10% Grava Chancada Tamiz <1"  
 50% Arena Gruesa

SALES SOLUBLES TOTALES		A	B	C
01.- Relación de la mezcla suelo - agua destilada		2.0	2.0	
02.- Número de beaker		1	2	
03.- Peso de beaker	g.	12.34	13.87	
04.- Peso de beaker + residuo de sales	g.	15.01	16.19	
05.- Peso de residuo de sales	g.	2.67	2.32	
06.- Volumen de la solución tomada	ml	1234.0	1231.0	
07.- Constituyentes de sales solubles totales	ppm	4327	3769	
08.- Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.43	0.38	
<b>RESULTADOS</b>				
A.- Muestra usada	g.	500	PROMEDIO (ppm) =	4048
B.- Agua destilada a usar	ml.	1000	PROMEDIO (%) =	0.40

**ESPECIFICACIÓN** : 0.5% Máximo

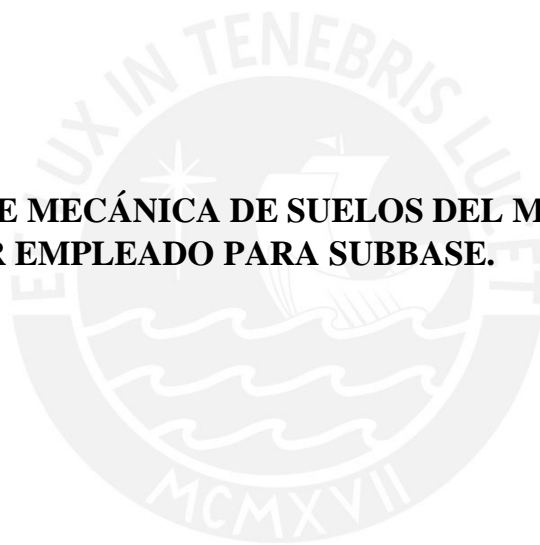
**OBSERVACIONES:**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Material obtenido de Puente Sahuynto
- 3.- Ensayo ejecutado al material retenido en el Tamiz N° 4
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Realizado por: Frank Delgado Carrasco  
**Técnico de Suelos y Pavimento**

Revisado por: Ing Alex Faggioni Tito  
**Especialista de suelos y pavimentos**

**3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL MATERIAL GRANULAR EMPLEADO PARA SUBBASE.**



PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluana - Abancay - Limatambo

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

CANTERA : Puente Sahuynto

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

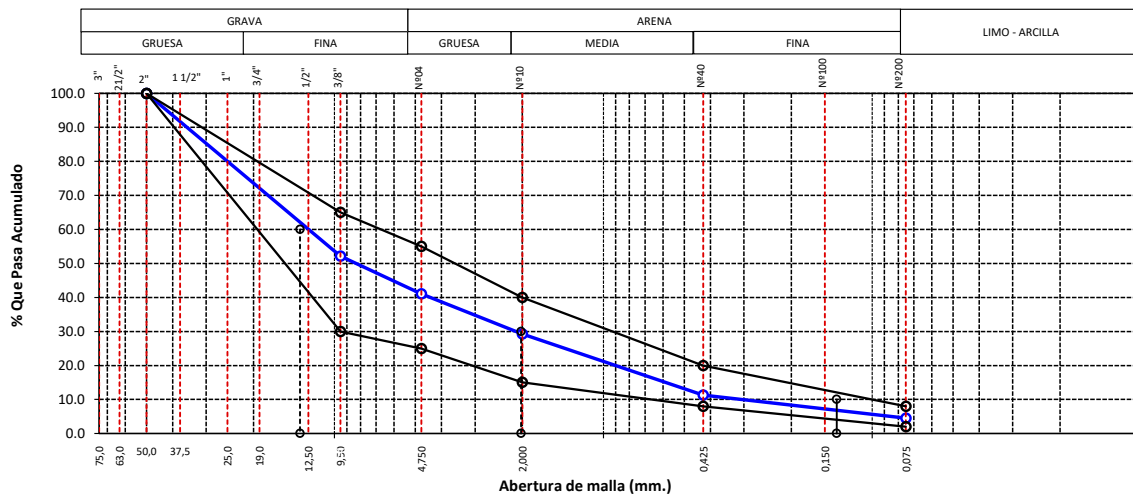
MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

FECHA : 17/06/2018

MUESTRA : Subbase Granular

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN SUBBASE A		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(PULG)	(mm)					Mín.	Máx.	
3"	75.000							
2 1/2"	63.000							PESO TOTAL SECO : 19707.0 g.
2"	50.000				100.0	100		PESO DE FRACCIÓN FINA : 983 g.
1 1/2"	37.500	1052.0	5.3	5.3	94.7			HUMEDAD NATURAL : 3.88 %
1"	25.000	2939.0	14.9	20.3	79.7			
3/4"	19.000	1940.0	9.8	30.1	69.9			
1/2"	12.500	2277.0	11.6	41.7	58.3			LÍMITE LÍQUIDO : N.P. %
3/8"	9.500	1227.0	6.2	47.9	52.1	30 - 65		LÍMITE PLÁSTICO : N.P. %
1/4"	6.300	1415.0	7.2	55.1	44.9			ÍNDICE PLASTICIDAD : N.P. %
Nº04	4.750	771.0	3.9	59.0	41.0	25 - 55		CLASIFICACIÓN AASHTO : A-1-a(0)
Nº08	2.360							CLASIFICACIÓN SUCS : GW
Nº10	2.000	282.1	11.8	70.7	29.3	15 - 40		ENSAYO MALLA Nº 200 : 4.5 %
Nº16	1.190							<i>Grava bien gradada con arena</i>
Nº20	0.850							
Nº30	0.600							OBSERVACIONES:
Nº40	0.425	429.7	17.9	88.7	11.3	8 - 20		
Nº50	0.300							
Nº80	0.177							
Nº100	0.150							
Nº200	0.075	163.0	6.8	95.5	4.5	2 - 8		
< Nº200	FONDO	108.2	4.5	100.0	0.0			

**CURVA GRANULOMETRICA**



**OBSERVACIONES :**

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- Se realizó el ensayo granulométrico de la producción de subbase zarandeada - chancadora POWERSCREEN.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanca - Abancay - Limatambo

CANTERA : Puente Sahuynto

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

MUESTRA : Subbase Granular

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

FECHA : 17/06/2018

DATOS DE ENSAYOS		M-1	M-2
Nº de Tara		---	---
Peso de tara + suelo húmedo	g.	2087.0	2367.0
Peso de tara + suelo seco	g.	2013.0	2274.0
Peso del Agua	g.	74.0	93.0
Peso de tara	g.	0.0	0.0
Peso del suelo seco	g.	2013.0	2274.0
Porcentaje de humedad	%	3.68	4.09
Promedio de Porcentaje de humedad	%	3.88	

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó 2 humedades de la producción de subbase zarandada - chancadora POWERSCREEN.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanca - Abancay - Limatambo

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

CANTERA : Puente Sahuynto

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

FECHA : 18/06/18

MUESTRA : Subbase Granular

DATOS DE ENSAYOS		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Nº de tarro						
Nº de golpes						
Tarro + suelo húmedo	g.	<b>N.P.</b>			<b>N.P.</b>	
Tarro + suelo seco	g.					
Agua	g.					
Peso del tarro	g.					
Peso del suelo seco	g.					
Porcentaje de humedad	%					

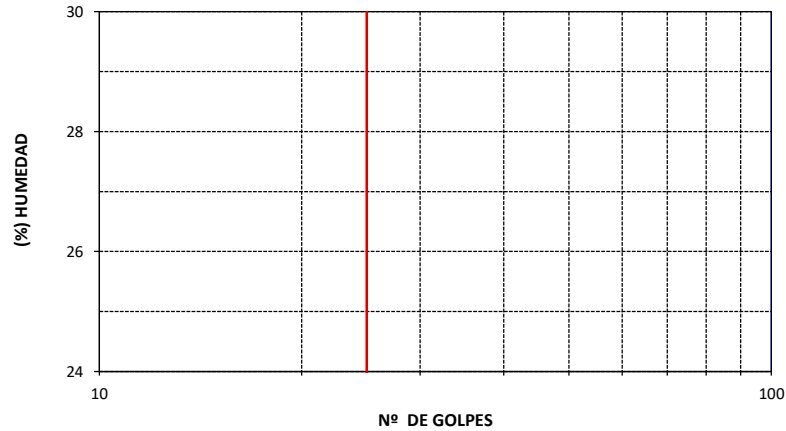
CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	N.P. %
Límite Plástico	N.P. %
Índice de Plasticidad	N.P. %

ESPECIFICACIONES:

Límite Líquido : 25% MÁX.

Índice de Plasticidad : 4% MÁX.

CURVA DE FLUIDEZ



OBSERVACIONES :

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó el ensayo de limites de consistencia, de la producción de subbase zarandadeada - chancadora POWERSCREEN.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



ENSAYO: ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES A 37.5 mm (1 1/2")

Página

NORMA: ASTM C 131 / MTC E 207 / EG 2000 / ISSA A 105

1 de 1

PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanca - Abancay - Limatambo

CANTERA : Puente Sahuynto

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

MUESTRA : Subbase Granular

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

FECHA : 18/06/2018

Tamiz		GRADACIONES			
pulg.	mm.	A	B	C	D
1"	25.000	1251			
3/4"	19.000	1254			
1/2"	12.500	1251			
3/8"	9.500	1250			
1/4"	6.300	---			
Nº 04	4.750	---			
PESO TOTAL		5006			
PESO OBTENIDO		3827			
PÉRDIDA DESPUES DEL ENSAYO.		1179			
Nº DE ESFERAS		12			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)		23.6	20.1		

ESPECIFICACIÓN: 50 % Máx.

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó el ensayo de abrasión, para la Subbase de prueba.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



ENSAYO: EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS

Página

NORMA: ASTM D2419 / MTC E 114 / EG 2000 / ISSA A 105

1 de 1

PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanga - Abancay - Limatambo

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

CANTERA : Puente Sahuynto

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR.

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

FECHA : 17/06/18

MUESTRA : Subbase Granular

Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO
Hora de entrada a saturación	0:00:00	0:03:00	0:06:00	
Hora de salida de saturación	0:10:00	0:13:00	0:16:00	
Hora de entrada a decantación	0:11:40	0:14:40	0:17:40	
Hora de salida de decantación	0:31:40	0:34:40	0:37:40	
Lectura de arcilla	9.3	9.5	9.1	
Lectura de arena	3.7	3.8	3.7	
Porcentaje de equivalente de arena	39.8	40.0	40.7	40.1

Resultado final (%)	41 %
---------------------	------

ESPECIFICACIÓN : 35% MÍN.

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó el ensayo de equivalente de arena de la producción de Subbase zarandada - chancadora POWERSCREEN.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanca - Abancay - Limatambo

CANtera : Puente Sahuynto

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

MUESTRA : Subbase Granular

TIPO/COD. MUESTRA: : SBGZ\_002

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

FECHA: : 17/06/18

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido
2"	50.00									
1 1/2"	37.50			100.0						
1"	25.00	2000.0	14.9	79.7	338.0	16.9	5.8	227.0	11.4	3.9
3/4"	19.00	1700.0	9.8	69.9	310.0	18.2	5.3	286.0	16.8	4.9
1/2"	12.50	1400.0	11.6	58.3	404.0	28.9	6.9	115.0	8.2	2.0
3/8"	9.50	450.0	6.2	52.1	160.0	35.6	2.7	73.0	16.2	1.2
1/4"	6.30	300.0	7.2	41.0	129.0	43.0	2.2	29.0	9.7	0.5
<b>TOTAL</b>		<b>5850.0</b>	<b>49.7</b>		<b>1341.0</b>		<b>22.9</b>	<b>730.0</b>		<b>12.5</b>

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	5850.0
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARG.	(%)	35.4

ESPECIFICACION: 20% Máx.

Nota: La relación ha emplear para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó el ensayo de partículas chatas y alargadas, de la producción Subbase zarandadeada - chancadora POWERSCREEN.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos





PROYECTO : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay

UBICACIÓN : Chaluanca - Abancay - Limatambo

TIPO/COD. MUESTRA : SBGZ\_002

CANTERA : Puente Sahuynto

APLICACIÓN: : SUBBASE GRANULAR

MUESTREO : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)

FECHA : 17/06/18

MUESTRA : Subbase Granular

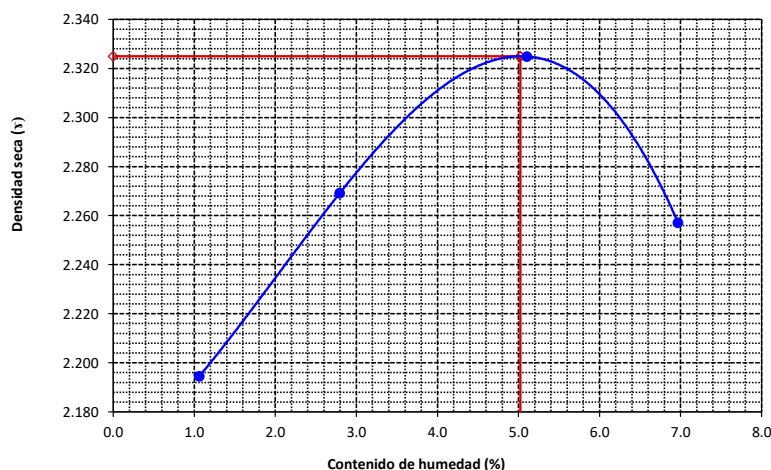
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	10919	11163	11399	11337
Peso del molde	g.	6204	6204	6204	6204
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4715	4959	5195	5133
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2126	2126	2126	2126
Peso del volumen húmedo	g/cm <sup>3</sup>	2.218	2.333	2.444	2.414

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	600.0	603.3	609.5	572.6
Peso del suelo seco + tara	g.	593.7	586.9	579.9	535.3
Peso de tara	g.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	g.	6.3	16.4	29.6	37.3
Peso de suelo seco	g.	593.7	586.9	579.9	535.3
Contenido de agua	%	1.1	2.8	5.1	7.0
Peso volumétrico seco	g/cm <sup>3</sup>	2.194	2.269	2.325	2.257

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.325	g/cm <sup>3</sup>
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	5.02	%

**GRAFICO DEL PROCTOR**



NOTA: Método de Aplicación C

**OBSERVACIONES :**

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio.
- 2.- Se realizó el ensayo de proctor modificado, para la Subbase de prueba.
- 3.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

Téc. Miguel Obando León.  
Técnico de Suelos y Pavimentos

Ing. Javier Elorrieta Carbajal.  
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos



**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Chaluanca - Abancay - Limatambo **TIPO/COD. MUESTRA** : SBGZ\_002  
**CANTERA** : Puente Sahuynto **APLICACIÓN:** : SUBBASE GRANULAR  
**MUESTREO** : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO) **FECHA** : 19/06/18  
**MUESTRA** : Subbase Granular

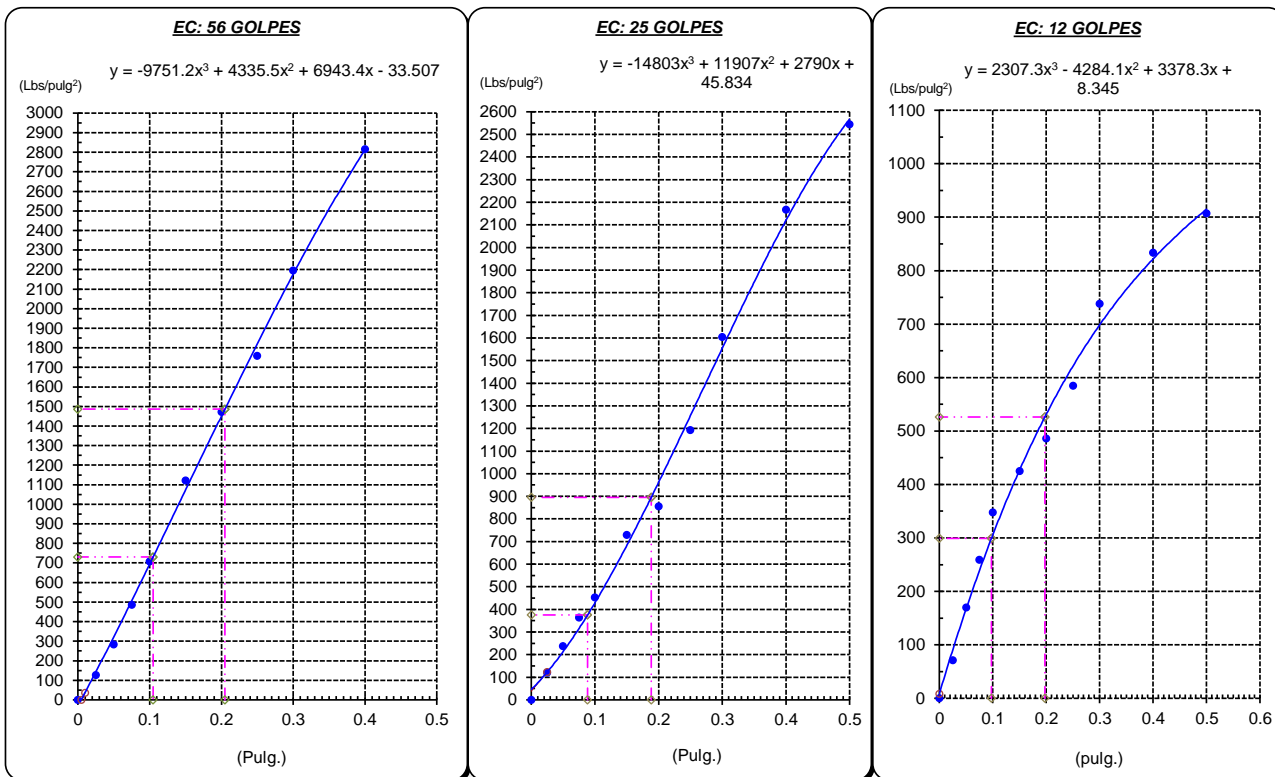
COMPACTACIÓN															
Nº Molde	7				11				10						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo	13023		13083		12664		12773		12443		12575				
Peso de molde (g)	7855		7855		7755		7755		7749		7749				
Peso del suelo húmedo (g)	5168		5228		4909		5018		4694		4826				
Volumen del molde (cc)	2117		2117		2124		2124		2133		2133				
Densidad húmeda (g/cc)	2.441		2.470		2.311		2.363		2.201		2.263				
% de humedad	5.01		6.07		4.93		6.66		4.95		7.34				
Densidad seca (g/cc)	2.325		2.328		2.203		2.215		2.097		2.108				
CONTENIDO DE HUMEDAD															
Tarro Nº	-		-		-		-		-		-				
Tarro + Suelo húmedo ( gr. )	861.7		839		945.4		913		1032.8		1071.7				
Tarro + Suelo seco ( gr. )	820.6		791		901.0		856		984.1		998.4				
Peso del Agua ( gr. )	41.1		48.0		44.4		57.0		48.7		73.3				
Peso del tarro ( gr. )	0		0		0		0		0		0				
Peso del suelo seco ( gr. )	820.6		791.0		901.0		856.0		984.1		998.4				
% de humedad	5.01		6.07		4.93		6.66		4.95		7.34				
Promedio de Humedad (%)	5.01		6.07		4.93		6.66		4.95		7.34				
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
9/06/2013	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
10/06/2013	11.3	24	0	0.000		0	0.000		0	0.000					
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº 7				MOLDE Nº 11				MOLDE Nº 10			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.		Lbs/pulg2	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%
0.000	0.000	0'00"		0	0			0	0			0	0		
0.640	0.025	0'30"		40	127			38	121			22	72		
1.270	0.050	1'00"		91	284			76	237			54	170		
1.910	0.075	1'30"		157	486			117	363			83	259		
2.540	0.100	2'00"	1000	229	708	730.7	73.1	146	453	375.4	37.5	112	348	299.2	29.9
3.810	0.150	3'00"		364	1122			236	729			137	425		
5.080	0.200	4'00"	1500	478	1473	1486.7	99.1	277	855	895.3	59.7	157	486	526.2	35.1
6.350	0.250	5'00"		571	1759			387	1193			189	585		
7.620	0.300	6'00"		713	2195			521	1605			239	738		
10.160	0.400	8'00"		915	2816			704	2167			270	834		
12.700	0.500	10'00"						827	2545			294	907		



**PROYECTO** : Diseño de 1km. De pavimento de la nueva vía de Evitamiento - Abancay  
**UBICACIÓN** : Chaluanca - Abancay - Limatambo  
**CANTERA** : Puente Sahuynto  
**MUESTREO** : PRODUCCIÓN (MATERIAL INTEGRAL ZARANDEADO)  
**MUESTRA** : Subbase Granular

**TIPO/COD. MUESTRA** : SBGZ\_002  
**APLICACIÓN:** : SUBBASE GRANULAR  
**FECHA**

**GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN**



**GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.**

**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA AL 100%	2.325 g./cm <sup>3</sup>
DENSIDAD SECA AL 95%	2.209 g./cm <sup>3</sup>
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	5.0 %

**VALOR DEL C.B.R.**

	<b>0.1"</b>	<b>0.2"</b>
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	73 %	99 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	38 %	61 %

