



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



**OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA  
METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**GONZALES APAZA RANDY STEVENS**  
**NUÑEZ CCAMA SAUL NAZARET**

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

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*A Dios que siempre me acompaña en cada aspecto de mi vida, a mi abuelita Lucrecia Apaza que me acompaña desde el cielo, a mis padres Carlos Gonzales y Rosmary Apaza, quienes siempre me dan su apoyo de manera incondicional, a mi hija Lhuanna, quien me da los ánimos y fuerzas de seguir adelante cada día y soñar en grande, a Sandra como mi eterna compañera, a mis hermanos Milton, José y Ray, que siempre me demostraron ese amor que no se consigue y como no mencionar a los amigos que se vuelven familia.*

*Randy Stevens Gonzales Apaza*



## DEDICATORIA

*A Dios que siempre me acompaña en cada aspecto de mi vida, a mis padres Mateo A. y Rosa L., quienes siempre me dieron las fuerzas para seguir adelante sin mirar atrás y su apoyo incondicional; a una persona muy cercana a mí, Rosa E., y a mis hermanas Silvia y Fany, por el apoyo moral que me brindan a diario y como no mencionar a los amigos que se vuelven familia.*

*Saul Nazaret Nuñez Ccama*



## AGRADECIMIENTOS

*Agradeciendo a Dios, por darnos salud y bendecirnos con un nuevo día, ya si poder concluir nuestros estudios universitarios.*

*Nuestro más grande agradecimiento a nuestra alma mater la Universidad Nacional del Altiplano, acogiéndonos en su instalación durante nuestro proceso de crecimiento profesional, a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, y como agradecimiento especial a nuestro director de tesis Dr. Samuel Huaquisto Cáceres, por su apoyo y guía durante la elaboración de la presente tesis. A nuestros jurados por sus recomendaciones tan acertadas, M. Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez, Mag. Emilio Castillo Aroni e Ing. José Luis Cutipa Arapa.*

*A nuestros amigos de la universidad, con quienes se tiene inolvidables anécdotas, agradecerles por brindar algo invaluable como la amistad.*

*Al Ing. Marco Antonio Calsin Cutimbo, quien nos guía en nuestro camino como profesionales, y darnos lo más preciado que una persona puede brindar a otra, la amistad.*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN .....16**

**ABSTRACT.....17**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....18**

1.1.1. PROBLEMA GENERAL .....18

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....18

**1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....18**

**1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....19**

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....19

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....19

**1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....20**

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....20

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....20

**1.5. VARIABLES .....20**

1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....20

1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....20

### **CAPÍTULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES .....22**

**2.2. BASES LEGALES .....23**

**2.3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....24**

2.3.1. PAVIMENTO .....24

2.3.1.1. Características que debe reunir un pavimento .....24



2.3.1.2. Pavimento Rígido.....	25
2.3.2. TECNOLOGÍA DE LOSAS CORTAS.....	27
2.3.2.1. Generalidades.....	27
2.3.2.2. Losas Cortas.....	30
2.3.2.3. Tensión en Losas.....	31
2.3.2.4. Funcionamiento de las Losas Cortas.....	32
2.3.2.5. Principales Características del Diseño TCP.....	32
2.3.2.6. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de concreto .....	33
2.3.2.7. Juntas en las Losas Cortas.....	37
2.3.3. GRADIENTE TÉRMICA.....	39
2.3.4. COMPONENTES DE UNA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA.....	39
2.3.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	40
2.3.6. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	40
2.3.6.1. Introducción.....	40
2.3.6.2. Caracterización de vehículos según su configuración de ejes y peso máximo permitidos.....	41
2.3.6.3. Configuración de ejes.....	41
2.3.6.4. Determinación del Tránsito.....	42
2.3.7. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	51
2.3.7.1. Introducción.....	51
2.3.7.2. Terreno de fundación.....	52
2.3.7.3. Materiales para pavimento.....	54
2.3.7.4. Ensayos de laboratorio.....	57
2.3.7.5. Clasificación de Suelos.....	67
2.3.7.6. Estudio y Evaluación de Canteras.....	79
2.3.8. VÍAS URBANAS.....	80
2.3.8.1. Clasificación de Vías Urbanas.....	80
2.3.8.2. Características Geométricas en Secciones Transversales.....	82
2.3.9. MÉTODO AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO.....	82
2.3.9.1. Período de Diseño.....	84
2.3.9.2. El tránsito (Esals).....	84
2.3.9.3. Serviciabilidad.....	84



2.3.9.4. La Confiabilidad “R” y la Desviación Estándar (So).....	85
2.3.9.5. El Suelo y el Efecto de las capas de apoyo (Kc).....	85
2.3.9.6. Resistencia a Flexotracción del concreto (Mr).....	87
2.3.9.7. Módulo Elástico del Concreto .....	88
2.3.9.8. Drenaje (Cd) .....	88
2.3.9.9. Transferencia de Cargas (J) .....	89

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>91</b>
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	91
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	91
<b>3.2. ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>91</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>92</b>
3.3.1. POBLACIÓN .....	92
3.3.2. MUESTRA.....	93
<b>3.4. MATERIALES.....</b>	<b>94</b>
3.4.1. PARÁMETROS DISEÑO GEOMÉTRICO DEL JR. EMILIO VALDIZAN .....	94
3.4.2. ESTUDIO DEL TRÁNSITO .....	94
3.4.2.1. Estudio del tránsito para las vías (jirones y pasajes) del sector noreste de la ciudad de puno - jr. Emilio valdizan .....	94
3.4.3. ESTUDIO DE SUELOS .....	103
3.4.3.1. Propiedades de la subrasante .....	103
3.4.3.2. Ubicación de Canteras.....	113
3.4.3.3. Resultados de Estudios Geotécnicos de Canteras.....	115
3.4.3.4. Interpretación de Resultados de Canteras.....	116
3.4.3.5. Mezcla de Suelos para Sub-Base .....	116
3.4.3.6. Resultados de los estudios geotécnicos de la mezcla de suelos.....	118
3.4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍAS CONVENCIONALES.....	119
3.4.4.1. Diseño estructural de Pavimento Rígido mediante la metodología AASHTO 93.....	119



3.4.4.2. Diseño Estructural de Pavimento Rígido Mediante la Metodología Pca 84 .....	127
3.4.4.3. Resumen Diseño de Pavimento Rígido Mediante Metodologías Convencionales (AASHTO 93 Y PCA 84).....	137
3.4.5. METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS .....	137
3.4.5.1. Modelación del Suelo.....	138
3.4.6. APLICACIÓN PROGRAMA SAP2000 PARA CALCULO DE TENSIONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	138
3.4.6.1. Pasos para el Cálculo de Tensiones en SAP 2000 .....	140

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. COMPARACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍAS CONVENCIONALES .....</b>	<b>147</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA VÍAS .....</b>	<b>147</b>
4.2.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA PAVIMENTO CON METODOLOGÍA CONVENCIONAL.....	148
4.2.1.1. Uso de Recursos aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías Convencionales (AASHTO 93 – PCA 84):.....	149
4.2.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA PAVIMENTO CON METODOLOGÍA LOSAS CORTAS .....	150
4.2.2.1. Uso de recursos aplicando espesores obtenidos mediante la metodología de losas cortas TCP: .....	150
4.2.3. COMPARACIÓN DE USO DE RECURSOS SEGÚN METODOLOGÍA USADA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL JR. EMILIO VALDIZAN .....	151
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>153</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>154</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>157</b>

**ÁREA:** Transportes

**TEMA:** Pavimentos rígidos, nuevas tendencias

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Transportes y Gestión Vial

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 03 de enero del 2020



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de Variables.....	21
Tabla N° 2: Resultados dimensiones de losa vs esfuerzo máximo .....	31
Tabla N° 3: Vehículo C3 según su configuración de Ejes y Peso Máximo Permitido ...	41
Tabla N° 4: Factores de la distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en carril de diseño.....	46
Tabla N° 5: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos.....	48
Tabla N° 6: % de vehículos pesados que emplean el carril de diseño .....	49
Tabla N° 7: Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos.....	52
Tabla N° 8: Número de puntos de investigación .....	52
Tabla N° 9: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular.....	54
Tabla N° 10: Requerimientos de Calidad para Subbase Granular .....	55
Tabla N° 11: Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico .....	56
Tabla N° 12: Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico .....	57
Tabla N° 13: Características de la Muestra Patrón .....	66
Tabla N° 14: Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO .....	68
Tabla N° 15: Sistema Unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos tipo grava. ....	73
Tabla N° 16: Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.....	74
Tabla N° 17: Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos. ....	75
Tabla N° 18: Coeficiente de Drenaje de las Capas Granulares Cd.....	89



Tabla N° 19: Valores del Coeficiente de Transmisión de Carga J.....	90
Tabla N° 20: Población de vías locales intervenidas del proyecto .....	92
Tabla N° 21: Vía local como muestra representativa.....	93
Tabla N° 22: Clasificación vehicular según tipo A, B y C.....	97
Tabla N° 23: Resumen del Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS) .....	98
Tabla N° 24: Valores del Período de Diseño.....	98
Tabla N° 25: Factor camión por tipo de vehículo.....	101
Tabla N° 26: Cálculo del Factor Camión .....	101
Tabla N° 27: Resultados de los Ensayos de Laboratorio del Terreno de Fundación....	104
Tabla N° 28: Límites para la Selección de Resistencia.....	111
Tabla N° 29: Determinación del CBR de Diseño .....	112
Tabla N° 30: Resultados de los Ensayos de Canteras .....	115
Tabla N° 31: Gradación de material de Canteras para la mezcla de suelos .....	117
Tabla N° 32: Confiabilidad Según Tipo de Pavimento.....	120
Tabla N° 33: Valores de la Desviación Normal Estándar Zr.....	120
Tabla N° 34: Valores de Error Combinado So .....	121
Tabla N° 35: Carga por Eje Tipo de Vehículo C3 .....	125
Tabla N° 36: Espesor de Capas de Pavimento según Diseño.....	126
Tabla N° 37: Tasas anuales de crecimiento con sus factores de proyección.....	129
Tabla N° 38: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=15 cm.....	135
Tabla N° 39: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=16 cm.....	136
Tabla N° 40: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=17 cm.....	136
Tabla N° 41: Espesor capas de pavimento metodologías convencionales .....	137
Tabla N° 42: Comparación de Diseños Metodológicos Convencionales y TCP.....	147



Tabla N° 43: Uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías convencionales (AASHTO 93-PCA84).....	149
Tabla N° 44: Uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante la metodología Losas cortas TCP.....	151
Tabla N° 45: Comparación de uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías convencionales vs metodología losas cortas TCP .....	151



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema lateral Carga Vehículo Patrón.....	29
Figura N° 2: Importancia de la Carga en la Geometría de la losa .....	30
Figura N° 3: Distribución de Set De Ruedas en el Pavimento .....	31
Figura N° 4: Alabeo medido en una losa industrial. ....	34
Figura N° 5: Voladizo creado por la rigidez de las bases.....	35
Figura N° 6: Fuerzas de superficie de las losas .....	36
Figura N° 7: Comportamiento con o sin barras de amarre .....	37
Figura N° 8: Configuración de Ejes .....	42
Figura N° 9: Límites de Atterberg. ....	60
Figura N° 10: Prueba del Limite Liquido: (a) dispositivo para la prueba; (b) ranurador; (c) pasta de suelo antes de la prueba; (d) pasta de suelo después de la prueba.....	61
Figura N° 11: Prueba de Limite Plástico. ....	62
Figura N° 12: Carta de Plasticidad.....	63
Figura N° 13: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos (según ASTM, 1998).. ....	76
Figura N° 14: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998).....	77
Figura N° 15: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos orgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998).....	78
Figura N° 16: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante.....	86
Figura N° 17: Zona de estudio del proyecto .....	93
Figura N° 18: Ubicación de la estación de aforo vehicular .....	94
Figura N° 19: Muestra de vía en el punto de conteo vehicular.....	95



Figura N° 20: Ficha de conteo vehicular .....	95
Figura N° 21: Resumen de estudio de tránsito .....	97
Figura N° 22: Factores Equivalente de Carga .....	100
Figura N° 23: Contenido de Humedad .....	105
Figura N° 24: Análisis Granulométrico por Tamizado .....	105
Figura N° 25: Determinación del Límite Plástico.....	106
Figura N° 26: Determinación del Límite Líquido de los Suelos .....	106
Figura N° 27: Ensayo Proctor Modificado .....	107
Figura N° 28: Ensayo de CBR de suelos.....	107
Figura N° 29: Cálculo del CBR de Diseño.....	113
Figura N° 30: Extracción de material de la Cantera Cutimbo .....	114
Figura N° 31: Extracción de material de la Cantera Ichu.....	115
Figura N° 32: Método grafico de mezcla de suelos .....	118
Figura N° 33: Cálculo de Espesor de Pavimento.....	126
Figura N° 34: Representación Espesores de Pavimento de Diseño según AASHTO... 127	
Figura N° 35: Porcentaje de camiones en el carril de diseño. ....	130
Figura N° 36: Análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de concreto).....	134
Figura N° 37: Análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión. ....	135
Figura N° 38: Posiciones de ejes de ruedas en un área de pavimento. ....	138
Figura N° 39: Carga de vehículos-acción de ruedas .....	139
Figura N° 40: Asignación de material en SAP2000.....	140
Figura N° 41: Asignación de losa en SAP 2000.....	141
Figura N° 42: Asignación de temperatura en SAP 2000.....	141



Figura N° 43: Asignación de carga en SAP 2000.....	142
Figura N° 44: Asignación de coeficiente de Balasto “k”- SAP 2000 .....	142
Figura N° 45: Combinación de cargas SAP 2000.....	143
Figura N° 46: Cálculo tensiones en pavimentos convencionales .....	143
Figura N° 47: Cálculo de tensiones en pavimentos con dimensiones de losa TCP y espesor de metodologías convencionales .....	144
Figura N° 48: Cálculo de tensiones en pavimentos con metodología TCP.....	145
Figura N° 49: Uso de recursos con las metodologías: Convencionales y Losas Cortas .....	152



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Los acrónimos utilizados en el presente proyecto de investigación, representan los que se indica a continuación:

- **AASHTO:** Association of State Highway and Transportation Officials
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- **IMDA:** Índice Medio Diario Anual.
- **IMDS:** Índice Medio Diario Semanal
- **CBR:** California Bearing Ratio o Ensayo de Relación de Soporte de California
- **ESAL:** Equivalent Single Axle Load o Carga axial simple equivalente
- **FC:** Factor Camión
- **C3:** Camión de carga de 3 ejes
- **MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- **PCA:** Portland Cement Association
- **SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
- **SAP2000:** Structural Analysis Program o Programa de Analisis Estructural
- **SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- **TCP:** Thin Concrete Pavements o Pavimentos de concreto delgado



## RESUMEN

En la ciudad de Puno, muchas vías sin pavimentar, generan malestar no solamente en los que cuentan con vehículo para su transporte, sino a la población por la contaminación debido a la acumulación de lodos y emisión de partículas suspendidas, la presente tesis tiene como objetivo optimizar los recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) en el diseño y construcción de pistas y veredas, aplicando la metodología TCP en la ciudad de Puno, Jr. Valdizan vía con mayor área de intervención del proyecto “Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal en los jirones y pasajes del sector noreste de la ciudad de Puno”. Teniendo como resultados, de acuerdo a la metodología TCP en relación a metodologías convencionales (AASHTO93 - PCA84), la optimización de recursos es de mano de obra 15.27 %, materiales 22.04 %, equipos 2.16%. Igualmente, las tensiones generadas en SAP2000, mediante la metodología TCP obtiene un espesor optimizado respecto a metodologías convencionales, según el tipo de tránsito. Los costos unitarios por metro cuadrado de estructura de pavimento mediante metodologías convencionales es S/. 108.06; y en metodología TCP de S/.91.25. Finalmente se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de subbase y subrasante, detallando que en diseños convencionales es sumamente importante el valor de CBR al 95% de la subrasante como variable fundamental; y el CBR al 100% de la subbase es una variable incidente en la metodología TCP. Se utilizó metodología tipo aplicada porque busca modificar una realidad problemática, nivel descriptivo ya que especifica propiedades y características del análisis.

**Palabras Clave:** Optimización de recursos, losas cortas, tensiones, AASHTO93, PCA84.



## ABSTRACT

In the city of Puno, many unpaved shreds, generate discomfort not only in those who have a vehicle for transport, but also to the population due to pollution due to the accumulation of sludge and the emission of suspended particles, this thesis aims optimize resources (labor, materials, equipment and tools) in the design and construction of tracks and paths, applying the TCP methodology in the city of Puno, Jr. Valdizan route with greater area of intervention of the project "Improvement of passability vehicular and pedestrian in the shreds and passages of the northeast sector of the city of Puno ". Having as a result, according to the TCP methodology in relation to conventional methodologies (AASHTO93 - PCA84), the optimization of resources is labor 15.27%, materials 22.04%, equipment 2.16%. Likewise, the tensions generated in SAP2000, using the TCP methodology, obtain an optimized thickness with respect to conventional methodologies, depending on the type of traffic. The unit costs per square meter of pavement structure using conventional methodologies is S /. 108.06; and in TCP methodology of S /. 91.25. Finally, the physical-mechanical properties of subbase and subgrade were evaluated, detailing that in conventional designs the value of CBR at 95% of the subgrade is extremely important as a fundamental variable; and the 100% CBR of the subbase is an incident variable in the TCP methodology. Type methodology applied was used because it seeks to modify a problematic reality, descriptive level since it specifies properties and characteristics of the analysis.

**Keywords:** Resource optimization, short slabs, tensions, AASHTO93, PCA84.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿De qué manera se optimizan los recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) en el diseño y construcción de pistas y veredas, aplicando la metodología de losas cortas en la ciudad de Puno?

#### 1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál será el espesor del pavimento calculando tensiones en losas cortas, respecto al tipo de tránsito?
- ¿Cuál es la variación de los costos unitarios de un pavimento convencional y pavimento con metodología de diseño de losas cortas?

### 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la ciudad de Puno, muchas calles, pasaje, jirones y avenidas se encuentran sin pavimentar aún y muchas de ellas al encontrarse en un mal estado a nivel de trocha carrozable generan un serio malestar no solamente a los que cuentan con algún vehículo para su transporte familiar o de manera comercial(generando altos costos de mantenimiento), sino también a la población en general por la contaminación generada por la acumulación de lodos y la emisión de partículas suspendidas, así mismo sin contar con una adecuada infraestructura de tránsito peatonal y debido a que un proyecto de inversión busca mejorar la calidad de vida de la población se tiene proyectos viables como son: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL AL CONTORNO DEL NUEVO HOSPITAL MANUEL NÚÑEZ BUTRÓN PUNO, EN EL CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA DEL DISTRITO



DE PUNO, MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LOS JIRONES Y PASAJES DEL SECTOR NORESTE DE LA CIUDAD DE PUNO, es por eso que la presente tesis : “OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO”, ya que el presupuesto de un proyecto está basado en sus recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas), esta tesis nos ayudará analizar el uso de losas cortas en la ciudad de Puno, y ver de qué manera influye dadas las hipótesis presentes y de esa manera detallar los beneficios del diseño de losas cortas en un proyecto de inversión, en comparación con un pavimento con un diseño convencional AASHTO93-PCA84, y así poder generar más proyectos que son necesarios en la ciudad de Puno; proponerlo como una solución para las vías que se encuentran sin pavimentar, en los barrios de la ciudad de Puno.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Optimizar los recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) en el diseño y construcción de pistas y veredas, aplicando la metodología de losas cortas en la ciudad de Puno.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el espesor del pavimento calculando tensiones en losas cortas, respecto al tipo de tránsito.
- Analizar los costos unitarios de un pavimento convencional y un pavimento con metodología de diseño de losas cortas.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la base y subrasante para el diseño de losas cortas.



## **1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- La aplicación de la metodología de losas cortas, optimiza los recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) en el diseño y construcción de pistas y veredas en la ciudad de Puno.

### **1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El cálculo de tensiones en losas cortas optimiza el espesor del pavimento de acuerdo al tipo de tránsito.
- Los costos unitarios de un pavimento de losas cortas, son menores a un pavimento convencional.

## **1.5. VARIABLES**

### **1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Metodología diseño de losas cortas

### **1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas), pistas y veredas-Jr. Emilio Valdizan



Tabla N° 1: *Operacionalización de Variables*

<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>
Optimizar los recursos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) en el diseño y construcción de pistas y veredas, aplicando la metodología de losas cortas en la ciudad de Puno.	<u>Variable Independiente</u> Metodología Diseño de Losas Cortas	Estructura de Pavimento Rígido	Losa de Concreto Espesor	Numérica
			Espesor de Capa Base	Numérica
			Parámetros de Metodología AASHTO 93	Numérica
			Parámetros de Metodología PCA 84	Numérica
			Parámetros Metodología Losas Cortas	Numérica
	<u>Variable Dependiente</u> Recursos (Mano de Obra, Materiales, Equipos y Herramientas) de Pistas y Veredas jr. Emilio Valdizan	Características Pavimento Rígido	Tensiones en Losas dependiendo del tipo de Tránsito	Numérica
			Insumos	Numérica
			Metrados	Numérica
			Rendimientos	Numérica

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

El diseño de un pavimento por la metodología de Losas Cortas, es una alternativa que propone un mejor comportamiento frente a los tradicionales, en las que se disminuyen las dimensiones y espesor de las losas.

Mendoza (2015) realizó una investigación sobre la Evaluación del diseño de Losas Cortas (TCP) en pavimentos según tensiones. En este trabajo para realizar el diseño TCP verificaron que las propiedades del material de préstamo para la subbase se encuentren dentro de la gradación A. Los análisis se realizaron con el software SAP 2000 encontrándose resultados de tensiones para el diseño TCP menores que al diseño de AASHTO, ello se logra con la reducción de las dimensiones de las losas, lo que permitió que las ruedas o un set de ruedas actúen de manera independiente en cada losa lo cual no ocurre en el AASHTO. Así también, estas reducciones de tensiones permitieron reducir los espesores en 3 cm logrando con ello obtener tensiones semejantes a los obtenidos en losas tradicionales. En cuanto a deformaciones por carga resultaron ser mayores, mientras para las deformaciones por alabeo resultaron ser menores a los obtenidos por diseño tradicional.

Román (2008) realizó una investigación sobre el método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. La investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia y características de beneficio estructural que otorga el método constructivo de losas cortas, así como la necesidad de evaluar, económicamente, la construcción de pavimentos hidráulicos en función de los trabajos que intervienen para su construcción, y el posible impacto medio ambiental provocado por la construcción. En



Guatemala se analizó el comportamiento de una serie de pavimentos por el método de Losas Cortas, principalmente aplicado en rehabilitación de carreteras. Según la evaluación realizada se estableció que la construcción de pavimentos hidráulicos tiene incidencia a nivel económico, principalmente, por el aumento en renglones específicos en la construcción, como lo es el aumento en corte de losas, el aumento en los índices del precio al consumidor final del cemento, (uno de los principales materiales empleados en el medio de la construcción) como consecuencia del aumento de la demanda de este material durante la construcción de este tipo de pavimentos.

Estación y Valverde (2012) realizaron una investigación sobre la Aplicación de la Tecnología de Pavimento TCP en las calles 56 y 78 de la habilitación urbana Paseo del Mar – Nuevo Chimbote – Ancash – Perú. La investigación tuvo como objetivo demostrar que su aplicación cumpla con los requerimientos técnicos y económicos para tener una duración mayor. El diseño de losas optimizadas fue realizado mediante el programa OPTIPAVE para un período de 20 años, y para las condiciones más desfavorables ya que se escogió el menor valor para el CBR. La tecnología de pavimentación TCP, cumple con las características necesarias para la duración planteada (20 años) y resistencia ante los EE (160,000), y en cuanto al precio se presenta una reducción en el costo del pavimento TCP frente al pavimento rígido tradicional, del 21.43 %. Con esta nueva propuesta, donde se apoya un set de ruedas por cada losa, las tensiones se vieron disminuidas con respecto a las producidas en las losas con dimensiones tradicionales, lo cual permitió reducir el espesor de pavimento de 20 cm hasta 10 cm.

## 2.2. BASES LEGALES

- Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos (D.S. N°001-2010-VIVIENDA)
- Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO 93
- Portland Cement Association - PCA 84



- Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013 (R.D. N° 22-2013-MTC/14)
- Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; Sección Suelos y Pavimentos MTC-2014 (R.D. N° 010-2014-MTC/14)
- Manual de Ensayos de Materiales MTC-2016 (R.D. N° 18-2016-MTC/14)
- Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC)

## **2.3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.3.1. PAVIMENTO**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montejo Fonseca, 2008, p.1).

#### ***2.3.1.1. Características que debe reunir un pavimento***

Según Montejo Fonseca (2008), un pavimento para cumplir, adecuadamente, sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- ✓ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes del intemperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.



- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- ✓ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- ✓ Debe ser económico.
- ✓ Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.
- ✓ Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos.

#### **2.3.1.2. Pavimento Rígido**

Montejo Fonseca (2008) indica que los pavimentos rígidos son aquellos que, fundamentalmente, están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, lo cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante.

Las capas de un pavimento rígido se detallan a continuación:



- **CAPA SUBRASANTE**

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado, o puede ser debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, y el material seleccionado de relleno es de buena calidad. En todo caso, el material deberá cumplir con las normas de calidad de la secretaria de comunicaciones y transportes (Salazar, 2015, p.6).

- **CAPA SUBBASE**

Es una capa de materiales pétreos, de buena graduación, construida sobre la subrasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia para la capa subrasante. Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando esta es necesaria, como en el caso de pavimentos flexibles. Normalmente, la subbase se construye para lograr espesores mejores de la capa base, en el caso de pavimentos flexibles. En el caso de pavimentos de concreto, en muchos casos resulta conveniente colocar una capa subbase cuando las especificaciones para pavimento son más exigentes (Salazar, 2015, p.6).

- **CARPETA**

Superficie de rodamiento constituido por materiales endurecidos, para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías. Pueden ser materiales granulares con o sin liga, o más comúnmente de concreto asfáltico o hidráulico, en sus diferentes variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones (Salazar, 2015, p.6).

#### **2.3.1.2.1. Requisitos de las Capas de Apoyo**

Las capas de apoyo del pavimento de concreto podrán ser los suelos naturales o terrenos naturales, siempre y cuando estos sean de buena calidad. Cuando este no es el caso, se debe construir una capa de transición o de subbase, a fin de que tal depósito cumpla una



función estructural, y de esta manera los espesores de losa requerida se reduzcan. Esta capa, al ser de tipo granular, servirá también para drenar el agua que tiende acumularse en la parte inferior de la losa de concreto, ya sea por la lluvia o por las elevaciones estacionales de los niveles freáticos del terreno (Salazar, 2015, p.6).

En casos especiales será necesario dar una estabilización adicional a la capa subbase. Particularmente en el caso de que el terreno natural sea excesivamente deformable.

### **2.3.2. TECNOLOGÍA DE LOSAS CORTAS**

#### **2.3.2.1. Generalidades**

El análisis se debe realizar mediante la estimación de esfuerzos y deformaciones máximas admisibles para una estructura de pavimento de concreto, de esta manera, el análisis se limita a modelar, dentro de algún programa de elementos finitos aplicado para pavimentos, Los esfuerzos y deformaciones que el diseñador debe aceptar después del paso de cargas de tránsito, pudiendo considerarse la acción del clima mediante la inclusión de gradientes térmicos y de humedad (Becerra, 2012, p.225-226).

En el mercado actualmente existen software dentro del marco de elementos finitos como el EverFe, publicado por el Transportation Research Board (TRB) en el artículo: No 1629, Design and Rehabilitation of Pavements 1998. El EverFe es capaz de modelar tanto pavimentos convencionales como aquellos con losas optimizadas.

Desde hace años, investigaciones realizadas por el Instituto Chileno del Cemento y Hormigón (ICH), y estudios independientes por parte del Dr. Juan pablo Covarrubias T. en la Universidad de Illinois, han logrado justificar el empirismo con el que se trabajaron inicialmente soluciones de losas optimizadas en algunos países de Centro América, fortaleciendo la teoría mecanicista para este tipo de innovaciones.

El Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón (IBCH), emplea la metodología de verificación para verificar técnicamente reducciones en las dimensiones de las losas, pero



conservado el espesor del concreto, con el propósito de reducir los esfuerzos y alabeos en losas expuestas a climas áridos y de altura: Alto gradiente térmico y de humedad. Practica que sugiero incorporar para nuestros pavimentos ubicados en zona sierra (Becerra, 2012, p.225-226).

Estación y Valverde (2012) llegó al diseño TCP empezando por un concepto simple; se deben dimensionar las losas de tal forma que, cada losa sea cargada solamente por una rueda o por un set de ruedas, de este modo las losas no sean sobrecargadas, gracias a este concepto, se llegó a demostrar mediante en AASHTO Roas Test, lo cual fue realizado por la Universidad de ILLINOIS (EE.UU.), donde se realizó un modelo a escala real de una vía con este pavimento, de manera que se pueda observar y supervisar el comportamiento real ante el tráfico.

Lo cual comprobó la teoría que se afirmaba, haciendo uso de programas de cómputo como el ISLAB 2000 y el EverFE, mediante los cuales se hallan los esfuerzos aplicados en las diferentes capas de la estructura del pavimento, así como sus deformaciones.

La tecnología TCP propone reemplazar las losas de pavimentación tradicional (AASHTO) por un sistema de losas con geometría optimizada que permiten una distribución más eficiente de la carga, para evitar los problemas de agrietamiento. Normalmente las dimensiones de las losas son de 3,5m de ancho por 4m de largo, lo que implica que gran parte de la carga de un vehículo se concentre en ella generando tensión, lo cual se evita con la metodología TCP, cuyas losas no admiten más de un set de ruedas de camión a la vez.

El nuevo concepto del diseño “TCP” es que cada losa del pavimento sea cargada, en lo posible, por un set de ruedas a la vez. Esto permite reducir, significativamente, las

tensiones superiores de la losa, ya que con esta configuración de cargas versus las dimensiones de las losas, no se produce el efecto “planchado” de estas, sino que cada losa soporta las cargas bajo las ruedas, apoyada en el suelo.

Es importante comprender el comportamiento de los pavimentos de concreto. Esta geometría de las losas es contraria a las consideraciones de diseño. Por esta condición de las losas, las cargas de los camiones generan las tensiones de tracción en la cara superior. Las dimensiones de las losas tienen un importante efecto en las tensiones en el concreto, lo que es causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es la principal característica de este tipo de pavimentos.

Para lograr esta condición, es necesario dimensionar la losa de tal forma que dado un camión patrón; cada rueda, o set de ruedas, pise una losa a la vez. Como existen diferentes tipos de vehículos, se diseña para el más dañino, salvo que se conozca el tráfico y se diseñe solamente para el tipo de vehículo que pasara mayoritariamente por dicha vía.

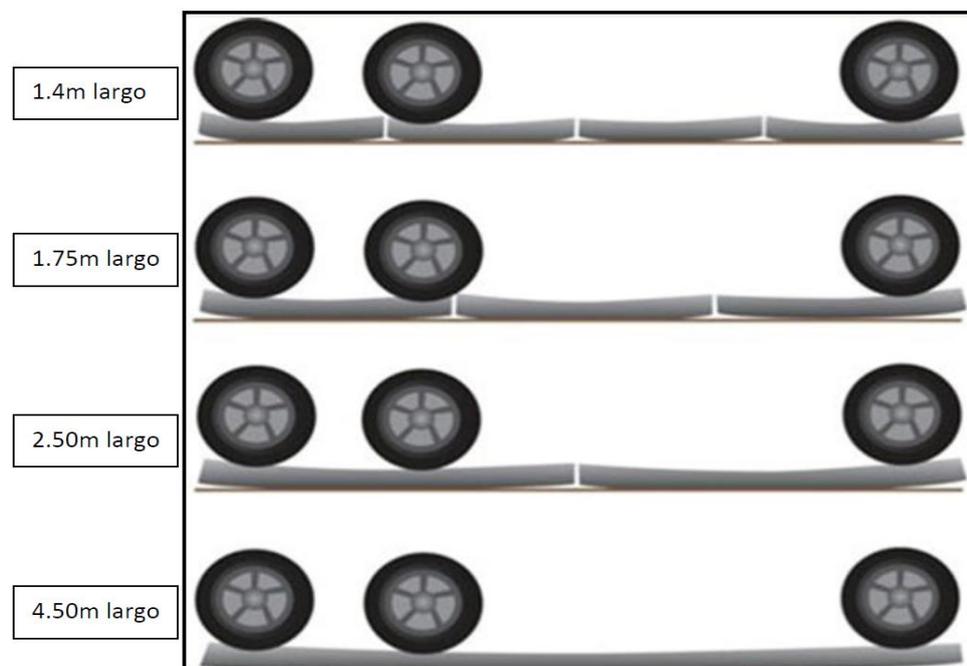


Figura N° 1: Esquema lateral Carga Vehículo Patrón  
FUENTE: Tesis, O. Estación y O. Valverde (2012)

Disminuir las tensiones en la parte superior de la losa, se traduce en una mayor vida útil del pavimento, o visto desde otro punto de vista, permite reducir el espesor de este para lograr las mismas tensiones y vida útil obtenidas en el diseño tradicional. Es en el último caso donde las tensiones generadas por las cargas son menores, donde por ende se puede utilizar un menor espesor de concreto.

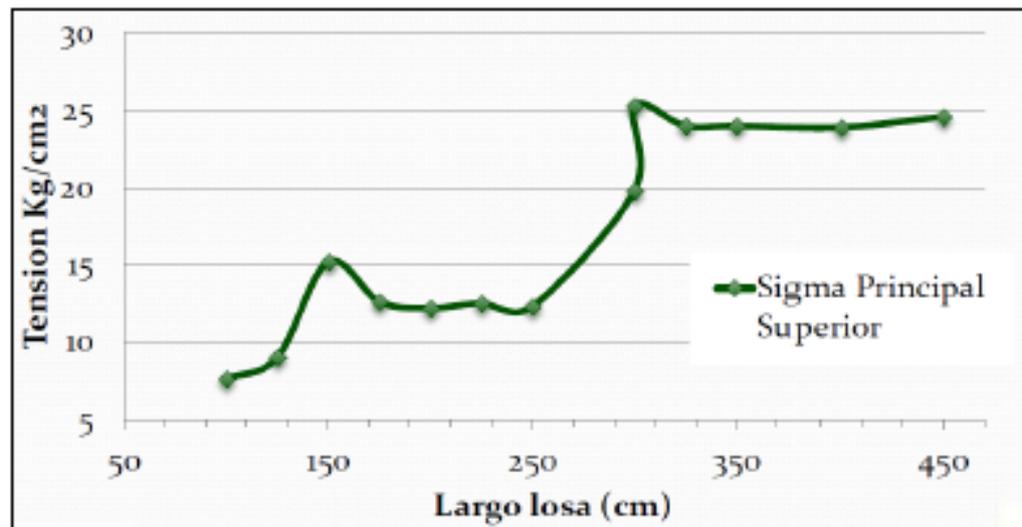


Figura N° 2: Importancia de la Carga en la Geometría de la losa  
FUENTE: Tesis O. Estación y O. Valverde

### 2.3.2.2. Losas Cortas

Según Estación y Valverde (2012), el concepto general de capas delgadas de concreto es que, mediante la reducción de esfuerzos de tracción en el pavimento, conlleva a la reducción del espesor de la losa.

Los esfuerzos de tracción en una losa de concreto son una función de las condiciones ambientales y de la carga. Estos esfuerzos de tracción se reducen mediante la modificación del tamaño de la losa de los más comunes de 4.50 m por 3.60 m. a, aproximadamente, losas de 1.80 m x 1.80 m.

Con una losa de menores dimensiones propuesto por el diseño TCP, de esta forma solo una rueda carga sobre la losa en cualquier momento o situación.



Figura N° 3: Distribución de Set De Ruedas en el Pavimento

FUENTE: Tesis, O. Estación y O. Valverde (2012).

### 2.3.2.3. Tensión en Losas

Estación y Valverde (2012), afirma que la tensión crítica en la superficie de la losa por la aplicación de ejes de carga en ambas direcciones en losas típicas de dimensiones, aproximadamente, 3.60 x 4.50 m, es calculado como se ve en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Resultados dimensiones de losa vs esfuerzo máximo

ESFUERZO MAX (KG/CM <sup>2</sup> )	DIMENSIONES DE LOSA		
	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ESPESOR (m)
25.035	4.50	3.6	0.25
24.613	2.50	1.80	0.14
25.105	1.80	1.80	0.16
24.824	1.40	1.80	0.13

FUENTE: Illinois Center For Transportation, Performance Of Concrete Pavements With Optimized Slab Geometry, agosto 2009.

La geometría de la losa (tamaño y espesor), se modificó para lograr similares esfuerzos en tracción. Reduciendo el tamaño de la losa, la carga y esfuerzos decrecen y así el espesor de la losa requerido para un nivel de tensión dada es significativamente menor.

Con la reducción del tamaño y espesor de la losa, las deflexiones del pavimento aumentan significativamente, por lo tanto, el potencial de bombeo, la erosión y la



deformación permanente de las capas de base y sub-base llegan a ser fundamentales. En forma similar al problema adoptado por el método PCA para el diseño de pavimento rígido lo que demuestra que en cierto espesor de losa podría proporcionar una vida de fatiga infinita, pero la erosión o bombeo podrían ser el factor de control.

#### **2.3.2.4. *Funcionamiento de las Losas Cortas***

El largo y ancho de las losas tiene un importante efecto en las tensiones del concreto, que es la causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es una innovación que está protegida por solicitudes de patente presentadas a nivel mundial. (S. Burboa, 2010, p.15-21).

En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, las losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50m por 3.60m a losas cortas de 1.80m por 1.80m. Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura, además se deja a un lado la utilización de acero de refuerzo.

#### **2.3.2.5. *Principales Características del Diseño TCP***

En cuanto a las principales características del diseño de pavimentos de losas cortas. O. Estación y O. Valverde (2012), afirman:

- Losas pequeñas (media pista x 1,20 a 2.5 m)
- Base granular(finos<8%), base asfáltica o BTC
- Geotextil entre subrasante y base, si es necesario
- Corte de juntas delgado (1,9mm – 2.5mm)
- No requiere sello de juntas



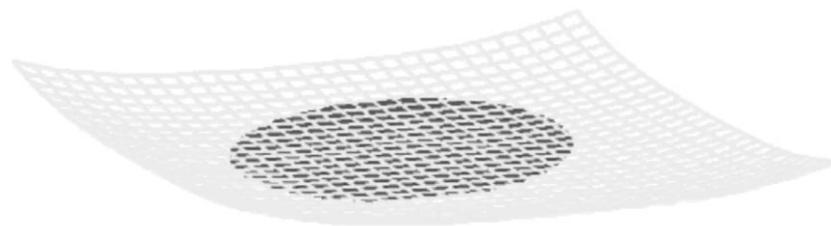
- No requiere barras de transferencia de cargas, ni de amarre entre pistas (salvo juntas de construcción)
- Confinamiento lateral
- Este tipo de pavimento es conocido como pavimento “verde”, por:
  - Menor consumo de energía durante la construcción (menor traslado de material)
  - Menor consumo de cemento (más delgado)
  - Menor consumo de energía de iluminación (30 % con respecto a pavimento oscuros)
  - Menor consumo de combustible en la operación
  - Longevidad (concreto no se degrada en el tiempo)
  - Menor temperatura en servicio (no absorbe radiación solar)
  - Evita congestión por mantención
  - Sin costo de mantenimiento de sellos
  - Facilidad de reemplazo de losas.

### ***2.3.2.6. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de concreto***

#### ***2.3.2.6.1. Efecto de la rigidez de la subbase en el largo de voladizo y tensiones de tracción***

En el diseño AASHTO, se considera como óptimo un largo de losa de 4,5 metros, con un ancho igual al ancho de la pista. Esta dimensión de la losa hace que el camión la pise con el eje delantero en un borde y los ejes traseros en el otro borde. En el sentido transversal, las ruedas de un lado del camión pisan cerca de un borde y las del otro lado cerca del otro borde. En ambos casos el camión ··plancha·· la losa, generando las grietas transversales y longitudinales (Covarrubias, 2007).

Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo (Figura N° 4) cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos. Esto genera tensiones de tracción altas en la cara superior, cuando la losa es pisada por un camión. Al revés, si la base es poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior cuando el camión pisa el centro de la losa. Lo aconsejable es trabajar con valores de soporte del suelo entre 30 y 50% para encontrar una rigidez ideal. (Covarrubias, 2007). Alabeo medido en una losa de piso industrial. (15 cms. de espesor y 4 mts. de largo).



*Figura N° 4: Alabeo medido en una losa industrial.*

FUENTE: *Tesis, S. Burboa, 2010.*

#### **2.3.2.6.2. Efecto del Largo de la Losa**

Cuando una losa se alabea generalmente deja un voladizo que es aproximadamente un tercio de su longitud. Por lo tanto, cuanto mayor sea la losa, mayor será el voladizo que se generará. Es por lo mismo que se recomienda reducir las dimensiones de las losas (Covarrubias, 2007).

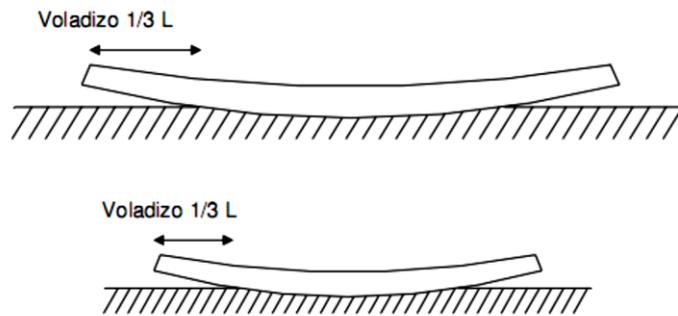


Figura N° 5: Voladizo creado por la rigidez de las bases.  
FUENTE: Tesis, S. Burboa, 2010.

### 2.3.2.6.3. Efecto del Alabeo en las Losas de Concreto

El alabeo se produce por una fuerza ubicada en la superficie de la losa, la cual se origina por el secado y la retracción causada por un diferencial térmico en la misma superficie de concreto.

El alabeo causado por secado se debe a un diferencial de humedad entre la parte superior e inferior de la carpeta, la parte superior siempre está seca mientras que la parte inferior se encuentra bajo la acción de la humedad de la tierra condensada bajo el pavimento. Esto produce un alabeo hacia arriba.

El alabeo por construcción se reduce considerablemente con la aplicación de buenas prácticas constructivas. Un proceso de curado eficiente mantendrá la humedad superficial en la losa antes de que se produzca la rigidez del elemento de concreto, no utilizar materiales impermeables bajo el pavimento, no saturar la base antes de colocar la carpeta y controlar la temperatura de la base son algunos de los factores que ayudan a reducir el alabeo (Covarrubias, 2007).

La colocación del concreto en la tarde, reduce el alabeo por retracción térmica de la losa. Si se efectúa durante las horas más calurosas del día, la parte superior de la carpeta se secará y endurecerá a mayor velocidad. Si se generan cortes en la superficie de la losa, se puede cortar la fuerza y reducir su magnitud y por lo tanto el alabeo de las losas. Esto

muestra lo importante que es aserrar las juntas lo antes posible, antes que se genere la fuerza de retracción. Mientras mayor sea la longitud de la losa, mayores fuerzas de alabeo se presentarán. Es así que las losas de menor longitud tienen menores fuerzas de superficie, lo que disminuye el alabeo (Covarrubias, 2007).

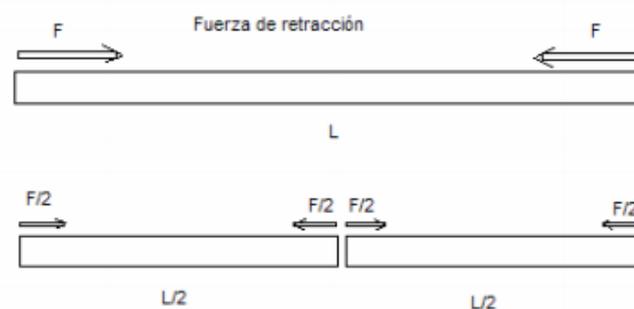


Figura N° 6: Fuerzas de superficie de las losas  
FUENTE: Tesis, S. Burboa, 2010.

#### 2.3.2.6.4. Efecto de las barras de amarre entre pistas en el agrietamiento

Se puede apreciar en la (Figura N° 7), que las barras de amarre colocadas entre las pistas en la junta longitudinal, aumentan el agrietamiento. Esto se produce porque si se permite a la losa balancearse, se reduce el largo del voladizo, disminuyendo las tensiones. La losa funciona como una balanza, haciendo que ajuste los largos de voladizo en torno a la posición de las cargas y al punto de apoyo. Al existir las barras de amarre, y afirmar la losa en un costado, desbalancea la posición de las cargas respecto al punto de apoyo, aumentando las tensiones en el hormigón de las losas y por lo tanto aumentando el consumo de fatiga y disminuyendo la duración del pavimento.

Se puede suponer un efecto similar producido por las barras de traspaso de carga. Por esta razón el nuevo sistema de diseño de pavimentos delgados, no lleva fierros en las juntas de las losas, para dejarlas balancearse. Las barras de amarre entre pistas se colocan para evitar que se desplacen entre ellas. El nuevo sistema de diseño soluciona esto

colocando barras clavadas verticales al lado externo de las losas exteriores, y con esto evitar desplazamientos que separen las pistas (Covarrubias, 2007).

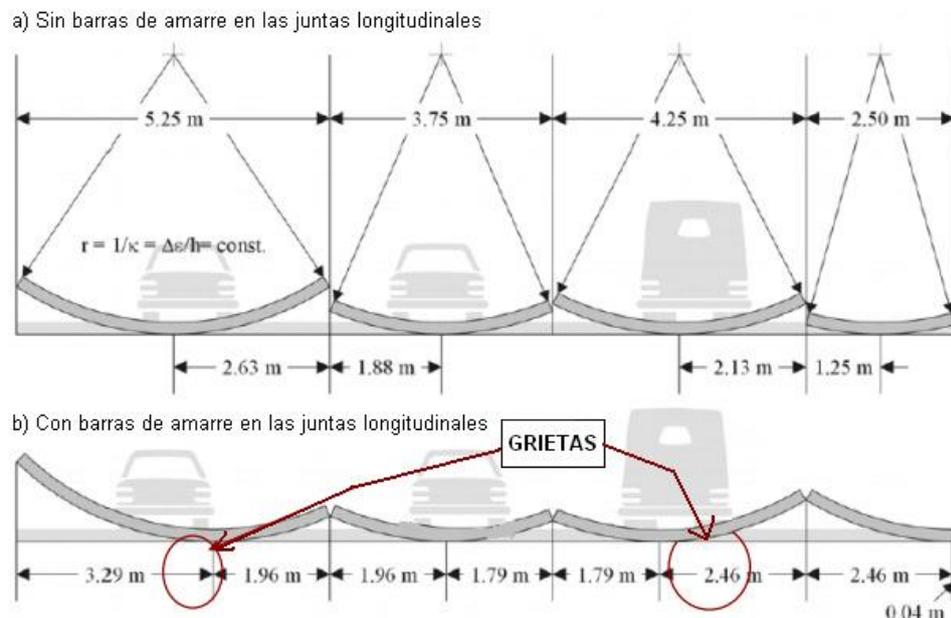


Figura N° 7: Comportamiento con o sin barras de amarre  
FUENTE: Tesis, S. Burboa, 2010.

### 2.3.2.7. Juntas en las Losas Cortas

Se debe considerar en el diseño la utilización de juntas con el propósito de aliviar los esfuerzos y evitar que las grietas inducidas se presenten de manera desordenada y sin patrones geométricos debido a la contracción por secado del concreto, cambios de humedad y temperatura, aplicación de las cargas por tránsito, restricciones del terreno de apoyo y características de los materiales empleados. De acuerdo a Estación y Valverde (2012), Las funciones específicas de las juntas son las que se mencionan a continuación:

- ✓ Control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas de tráfico.
- ✓ Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (carriles de circulación).



- ✓ Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.
- ✓ Proveer una adecuada transferencia de carga.

#### **2.3.2.7.1. Corte de Juntas**

Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la superficie de rodadura sin dejar marcadas las huellas (aproximadamente 6 horas). Se debe considerar que el endurecimiento del concreto y la temperatura ambiente para definir el momento cuando se debe efectuar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de corte y disminuir tensiones de alabeo en las losas (Estación y Valverde, 2012).

Se deberá contar con la cantidad de recursos, equipos y sierras de corte necesarios para realizar esta tarea. En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad suficiente de equipos, se deberá comenzar cortando la junta o juntas longitudinales más cercanas a los bordes del pavimento construido (cuando se pavimenta a dos carriles a la vez) y transversales por lo menos una por medio, y luego el corte longitudinal restante y realizándose el resto de los cortes intermedios, tan pronto como sea posible. La secuencia de los cortes es importante para el comportamiento futuro.

El corte se deberá realizar con sierra delgada de 1,9 mm de ancho para evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta.

Se debe enfatizar la importancia de las etapas de corte para juntas y curado del concreto, para contrarrestar la formación de grietas por alabeo de la estructura del pavimento, que se presenta con efectos de contracción y por gradiente de temperatura (Mendoza, H., 2015).



### 2.3.3. GRADIENTE TÉRMICA

Estación y Valverde (2012), la cara superior del pavimento (expuesta a la superficie), experimenta, diariamente, grandes variaciones en temperatura, estos cambios son mucho menores en el fondo del pavimento. El alabeo de las losas es principalmente el resultado del gradiente de temperatura a través de la profundidad de la estructura del pavimento, estos gradientes varían con la condición del clima y la hora del día.

### 2.3.4. COMPONENTES DE UNA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA

Según la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) y el Reglamento Nacional de Tránsito Urbano, define a las componentes de una infraestructura vial urbana. Para el presente se detallará, solamente, las componentes presentes en la vía de estudio, las cuales son:

- **Calzada o superficie de rodamiento:** Es la parte de la vía destinada a la circulación de vehículos y eventualmente al cruce de peatones.
- **Paso peatonal:** Parte de la calzada destinada para el cruce de peatones. (Cruce peatonal).
- **Peatón:** Persona que circula caminando por una vía pública.
- **Tránsito:** Conjunto de desplazamientos de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (Circulación).
- **Vehículo:** Artefacto de libre operación que sirve para transportar personas o bienes por una vía.
- **Jirón:** Vía vehicular de servicio local, de una o dos sendas, con una longitud de más de una calle.
- **Pavimento rígido:** Constituido por cementos Portland como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.
- **Vereda:** Parte pavimentada de una vía, asignada a la circulación de personas.



- **Sardinel:** Encintado de concreto, piedra u otros materiales, que sirve para delimitar o confinar la calzada o la plataforma de la vía. También se utiliza en puentes para advertir al usuario y como defensa de la estructura contra los impactos que puede originar un vehículo.
- **Bombeo:** Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera, con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.
- **Cunetas:** Canales abiertos construidos, lateralmente, a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento.

### 2.3.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Estudios básicos como el tránsito, geotécnico, nos brindaran los resultados y datos necesarios para la elaboración del diseño estructural del pavimento rígido, esto es, tanto para los diseños convencionales (AASHTO93 - PCA84) y la metodología de TCP Losas Cortas; en la zona de estudio.

### 2.3.6. ESTUDIO DE TRÁNSITO

#### 2.3.6.1. *Introducción*

Probablemente la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones influyen en su diseño geométrico, el número y peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento (Montejo Fonseca, 2008, p.17).

### 2.3.6.2. Caracterización de vehículos según su configuración de ejes y peso máximo permitidos.

Cada vehículo posee una configuración de acuerdo con el número de ejes y el peso máximo permitido, por tanto para el presente trabajo de investigación se utilizará la configuración del vehículo más pesado que transita por la vía objeto de estudio el cual se muestra en la Tabla N° 3:

Tabla N° 3: Vehículo C3 según su configuración de Ejes y Peso Máximo Permitido

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
CONFIGURACIÓN VEHICULAR	DESCRIPCIÓN GRAFICA DE LOS VEHÍCULOS	LONG MAX. (m)	PESO MÁXIMO EJE				PESO BRUTO MAX. (t)	
			DELAN-TERO	1°	2°	3°		4°
C3		13.20	7	18	--	--	--	25

FUENTE: *Reglamento Nacional de Vehículos MTC - 2003*

- (1) Conjunto de ejes con un eje direccional
- (2) Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes
- (3) Conjunto de ejes separados compuesto por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 2.40m
- (4) Eje direccional
- (5) Carga máxima para conjunto de ejes direccionales compuestos por dos ejes simples donde la distancia entre centros de ruedas es superior a 1.70 m

### 2.3.6.3. Configuración de ejes.

Los vehículos de acuerdo con el tipo de eje.

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Grafico
<b>EJE SIMPLE</b> (Con Rueda Simple)	1RS	02	
<b>EJE SIMPLE</b> (Con Rueda Doble)	1RD	04	
<b>EJE TANDEM</b> (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
<b>EJE TANDEM</b> (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
<b>EJE TRIDEM</b> (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
<b>EJE TRIDEM</b> (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

**Nota :**

RS : Rueda Simple

RD: Rueda Doble

*Figura N° 8: Configuración de Ejes*

FUENTE: MTC-2014 - Sección Suelos Y Pavimentos

#### 2.3.6.4. Determinación del Tránsito

##### 2.3.6.4.1. Tránsito Calculado con Imda (Índice Medio Diario Anual)

Sobre un pavimento vial urbano existen diferentes tipos de vehículos, los cuales ya se mostraron en el ítem anterior, de acuerdo con la clasificación del REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS -2003, cuyas tablas muestran sus características de acuerdo a cada tipo de vehículo; así mismo para calcular el tránsito promedio diario anual, es necesario realizar un aforo de los vehículos que pasan por un punto durante un



tiempo (semana-IMDS, mes-IMDM) y así poder realizar la proyección para un año IMDA.

### **TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)**

$$TPDA=TA/365$$

En donde:

TA= Número de vehículos que pasan durante un año calendario (365 días).

### **TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO MENSUAL (TPDM)**

$$TPDM=TM/30$$

En donde:

TM=Número de vehículos que pasan durante un mes calendario (30 días).

### **TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS)**

$$TPDS=TS/7$$

En donde:

TS=Número de vehículos que pasan durante una semana calendario (7 días).

Así mismo para calcular el TPDA o IMDA, se estima en base al tránsito promedio diario semanal TPDS, según la siguiente expresión:

$$TPDA= TPDS \pm A$$

En donde:

A: Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS.



Para un determinado nivel de confianza el valor de A, se obtiene de la siguiente manera:

$$A = K * E$$

En donde:

K: Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado

E: Error estándar de la media

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar. Por lo tanto, también se puede expresar que:

$$E = \sigma = \frac{S}{n^{\frac{1}{2}}} \left( \frac{N - n}{N - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

$\sigma$ : Estimador de la desviación estándar poblacional

S: Desviación estándar muestral.

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

N: Tamaño de la población en número de días del año

La desviación estándar muestral “S”, se determina de la siguiente manera:

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



En donde:

TDi: Volumen de tránsito del día “i”.

TPDS: Tránsito promedio diario semanal.

Por lo tanto la relación entre los volúmenes del tránsito promedio diario anual y semanal es:

$$TPDA = TPDS \pm A, TPDA = TPDS \pm KE, TPDA = TPDS \pm K \sigma$$

#### **2.3.6.4.2. Factor Direccional y Factor Carril**

Según el manual del MTC-2014-Sección Suelos y Pavimentos, el factor de la distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total del tránsito circulante en ambas direcciones, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, el que se definirá según el conteo del tránsito.

El factor de la distribución carril expresado como una relación que corresponde al carril que recibe el mayor número de EE, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril.

El tráfico para el carril de diseño del pavimento tendrá en cuenta el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de carretera, según el porcentaje o factor ponderado aplicado al IMD.

Tabla N° 4: Factores de la distribución direccional y de carril para determinar el tránsito en carril de diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Factor ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
(para IMDA	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
total de la	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
calzada)	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
separador	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
central (para	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
IMDA total	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25
de las dos					
calzadas)					

FUENTE: MTC-2014-Sección Suelos y Pavimentos

#### 2.3.6.4.3. Factor de Crecimiento

Según el manual MTC-2014-Sección Suelos Y Pavimentos, se puede calcular el crecimiento del tránsito, utilizando una fórmula de progresión geométrica por separado, para el componente del tránsito de vehículos de pasajeros y para el componente del tránsito de vehículos de carga.

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

En la que:

- $T_n$ = tránsito proyectado al año “n” en veh/día
- $T_o$ = tránsito actual (año base o) en veh/día
- n= Número de años del período de diseño



- $r$  = Tasa anual de crecimiento del tránsito

La tasa anual de crecimiento del tránsito se define en correlación con la dinámica de crecimiento socioeconómico. Normalmente se asocia la tasa de crecimiento del tránsito de vehículo de pasajeros con la tasa anual de crecimiento poblacional; y la tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el producto bruto interno (PBI). Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2 % y 6%.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos, por implementarse con certeza a corto plazo en la zona del camino.

#### **2.3.6.4.4. Factor Equivalente de Carga**

Los factores equivalentes de carga, AASHTO se han determinado de acuerdo a la carga por eje estándar de 8.2 toneladas, ya sea para los ejes simples, tándem y trídem.

Los resultados obtenidos a partir de los resultados AASHTO, han permitido determinar que la equivalencia entre las cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes se expresa como:

$$\text{Factor de equivalencia de carga} = \left( \frac{P_i}{P_0} \right)^n$$

Donde:

FEC : Factor equivalente de carga.

P1 : Carga de eje considerada, cuya equivalencia de daño se desea calcular (Tn)

P0 : Carga de eje de referencia estándar (Tn)

N : Coeficiente empírico

Estos factores se han obtenido a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST. El factor equivalente de carga es un valor numérico que puede ser determinado por la siguiente relación.

$$\text{Factor de equivalencia de carga} = \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^4$$

Según el manual MTC-2014-Sección Suelos Y Pavimentos, para el diseño de un pavimento se adopta el número proyectado de EE que circulan por el “carril de diseño”, durante el periodo de análisis. El carril de diseño corresponde al carril identificado como el más cargado de la carretera y el resultado de este cálculo serán adoptados para todos los carriles de la sección vial típica de esa carretera, por tramos de demanda homogénea.

Tabla N° 5: *Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para pavimentos rígidos*

TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	EE <sub>S1</sub> =[P/6.6] <sup>4.1</sup>
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	EE <sub>S2</sub> =[P/8.2] <sup>4.1</sup>
Eje Tándem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	EE <sub>TA1</sub> =[P/13.0] <sup>4.1</sup>
Eje Tándem (2 ejes ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	EE <sub>TA2</sub> =[P/13.3] <sup>4.1</sup>
Ejes Trídem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	EE <sub>TR1</sub> =[P/16.6] <sup>4.0</sup>
Ejes Trídem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	EE <sub>TR2</sub> =[P/17.5] <sup>4.0</sup>

P= peso real por eje en toneladas

FUENTE: MTC-2014 - Sección Suelos y Pavimentos

#### 2.3.6.4.5. *Factor Camión*

Según Minaya y Ordoñez (2006), se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor

camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- Estimar el F.C. por algún método empírico.

Se puede emplear la Tabla N° 03, de la presente tesis donde se indica la dimensión y el peso por eje de vehículos C3.

#### 2.3.6.4.6. *Número de Ejes Equivalentes - Esal*

Para la norma técnica CE. 010 pavimentos urbanos (2010), el ESAL es el número de aplicaciones de cargas por eje estándar, previsto durante el período de diseño. El procedimiento usado para convertir un flujo de tráfico con diferentes cargas y configuraciones por eje en un número de tráfico para el diseño, consiste en convertir cada carga por eje esperada sobre la vía durante el período de diseño, en un número de cargas por eje estándar, sumándolas luego.

$$ESAL'S(W18) = TPDx \frac{A}{100} x \frac{B}{100} x 365x \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} x F.C.$$

Tabla N° 6: % de vehículos pesados que emplean el carril de diseño

VALOR(B)	
NÚMERO DE CARRILES	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45
6 a más	40

FUENTE: AASTHO, 1993.



Donde:

- W18 : Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 Tn
- TPD : Tránsito promedio diario inicial
- A : Porcentaje estimado de vehículos pesados (Buses Camiones)
- B : Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño
- r : Tasa anual de crecimiento de tránsito
- n : Período de diseño
- F.C. : Factor camión

El manual de MTC-Sección Suelos y Pavimentos (2014), indica que, para el cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn, en el periodo de diseño, se usará la siguiente expresión por tipo de vehículo; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos; el resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados considerados:

$$Nrep\ de\ EE_{8.2tn} = \sum [EE_{dia-carril} \times Fca \times 365]$$

Donde:

- Nrep de EE 8.2T: Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn
- $EE_{dia-carril}$ : Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo, pesado, por día para el carril de diseño, resulta del IMD por cada tipo de vehículo, pesado, por el Factor direccional, por el factor carril de diseño, por el factor de vehículo, pesado, se aplica la siguiente relación:

$$\triangleright EE_{Ddia-carril} = IMD_{pi} \times Fd \times Fc \times Fvp \times Fp$$

- $IMD_{pi}$ : corresponde al índice medio diario según el tipo de vehículo pesado seleccionado (i)



- Fd: Factor direccional
  - Fc: Factor carril de diseño
  - Fvp: Factor vehículo pesado tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número de ejes equivalentes promedio por tipo de vehículo pesado (bus o camión), y el promedio se obtiene dividiendo el total de ejes equivalentes (EE) de un determinado tipo de vehículo pesado entre el número total de vehículo pesado seleccionado
  - Fp: Factor de presión de neumáticos
- Fca: Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.
  - 365: Número de días del año
  - $\Sigma$ : Sumatoria de ejes equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

## 2.3.7. ESTUDIO GEOTÉCNICO

### 2.3.7.1. *Introducción*

La estructura del pavimento, que se encuentra sometida a las cargas del tráfico, transmite esfuerzos al terreno natural bajo ellas. Estos esfuerzos producen deformaciones, acompañados por la influencia del agua en el terreno de fundación, todo esto se ve en el comportamiento estructural del pavimento. De ahí la importancia del estudio geotécnico del terreno de fundación en obras viales. Para el diseño de pavimentos, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, que nos permitan entender sus características generales y su comportamiento.

### 2.3.7.2. Terreno de fundación

#### 2.3.7.2.1. Muestreo y exploración de suelos

Montejo Fonseca (2008) nos muestra una tabla de criterios para la ubicación, profundidad y número de las perforaciones:

Tabla N° 7: *Criterios para la ejecución de perforaciones en el terreno para definir un perfil de suelos.*

<b>TIPO DE ZONA</b>	<b>ESPACIAMIENTO (m)</b>	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>
1. Carreteras	250 – 500	1.50
2. Pistas de aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60 – 70 m	Cortes: -3m debajo de la rasante. Rellenos: -3m debajo de la superficie existente del suelo.
3. Otras áreas pavimentadas	1 perforación cada 1 000 m <sup>2</sup>	Cortes: -3m debajo de la rasante. Rellenos: -3m debajo de la superficie existente del suelo.
4. Préstamos	Pruebas suficientes para definir claramente el material.	Hasta la profundidad que se propone usar como préstamo.

FUENTE: *Montejo Fonseca, 2008, pág. 61.*

La Norma Técnica CE.010 – Pavimentos Urbanos (2010), hace mención que el número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía tal como se indica en la Tabla N° 8, con un mínimo de tres (03):

Tabla N° 8: *Número de puntos de investigación*

<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>NUMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Expresas	1 cada	1 000
Arteriales	1 cada	1 200
Colectoras	1 cada	1 500
Locales	1 cada	1 800

FUENTE: *Norma Técnica CE.010 – Pavimentos Urbanos.*



Así mismo, se indican las recomendaciones siguientes:

- ✓ Los puntos de investigación se ubicarán preferentemente en los cruces de vías, pudiendo emplearse puntos intermedios, que permitan establecer la estratigrafía a lo largo de la vía.
- ✓ En el caso de reposición de pavimentos cortados para instalación o reparación de servicios, se ejecutará un punto de investigación cada 100 metros con un mínimo de tres (03).
- ✓ La profundidad mínima de investigación será de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía.
- ✓ Donde exista rellenos no controlados se deberá investigar en todo su espesor debiendo profundizarse no menos de 0,50 m dentro del suelo natural.
- ✓ Donde se encuentren macizos rocosos dentro de la profundidad de investigación, se deberá registrar su profundidad y grado de fracturamiento y estimar su resistencia a la compresión.
- ✓ Efectuados el registro de la estratigrafía, el muestreo y la toma de la fotografía, se deberá rellenar las excavaciones con los materiales extraídos.
- ✓ Durante la investigación de campo se elaborará un perfil estratigráfico para cada punto de investigación, esto es, basado en la clasificación visual manual, según la NTP 339.150:2001.
- ✓ En caso de encontrar suelos finos no plásticos dentro de la profundidad de investigación, se deberán ejecutar ensayos para determinar su densidad natural.
- ✓ Se tomará por lo menos una muestra representativa de cada tipo de suelo para su posterior ensayo de laboratorio, de acuerdo a las normas respectivas indicadas en la Tabla anterior.



- ✓ Se determinará un CBR por cada 5 puntos de investigación o menos, según lo indicado en la Tabla anterior, y por lo menos un CBR por cada tipo de suelo de sub-rasante.

### 2.3.7.3. *Materiales para pavimento*

#### 2.3.7.3.1. *Requisito de los materiales*

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos que se dan en el manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)”, no obstante, cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes en el estudio o que amplíen, complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y solo será aplicable para su ejecución.

#### 2.3.7.3.2. *De la Subbase Granular*

El material granular para la capa de subbase deberá cumplir los requisitos mínimos establecidos en las siguientes tablas:

Tabla N° 9: *Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular*

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	20-65	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 µm (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

FUENTE: *Manual de Carreteras EG-2013, 2013, pág. 360.*

(1) La curva de Gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad, indicados en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: *Requerimientos de Calidad para Subbase Granular*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	.-	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	.-	20% máx.	20% máx.

FUENTE: *Manual de Carreteras EG-2013, 2013, pág. 360.*

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1” (2.5 mm)

### **2.3.7.3.3. De los pavimentos de Concreto Hidráulico**

Los materiales para la mezcla de concreto hidráulico, deberá cumplir los requisitos establecidos en las especificaciones Técnicas Generales para Construcción.

### 2.3.7.3.3.1. Agregado Fino

Tabla N° 11: *Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico*

Ensayo	Norma MTC	Norma NTP	Requisito
<b>Durabilidad</b>			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq 3\ 000$ msnm	- Sulfato de sodio MTC E 207	NTP 400.016	10
	- Sulfato de magnesio MTC E 209	NTP 400.016	15
<b>Limpieza</b>			
Índice de plasticidad, % máximo	MTC E 111	NTP 339.129	No plástico
Equivalente de arena, % mínimo	$f'c \leq 21$ MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> ) MTC E 114	NTP 339.146	65
	$f'c > 21$ MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> ) MTC E 114	NTP 339.146	75
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo	MTC E 212	NTP 400.015	3
Carbón y lignito, % máximo	MTC E 211	NTP 400.023	0,5
Material que pasa el tamiz de 75 $\mu$ m (N.º 200), % máximo	MTC E 202	NTP 400.018	3
<b>Contenido de materia orgánica</b>			
Color más oscuro permisible	MTC E 213	NTP 400.024	Igual a muestra patrón
<b>Características químicas</b>			
Contenido de sulfatos, expresado como SO <sub>4</sub> , = % máximo.	--	NTP 400.042	1,2
Contenido de cloruros, expresado como cl <sup>-</sup> , % máximo.	--	NTP 400.042	0,1
<b>Absorción</b>			
Absorción de agua, % máximo	MTC E 205	NTP 400.022	4

FUENTE: *Manual de Carreteras EG-2013, 2013, pág. 805.*

### 2.3.7.3.3.2. Agregado Grueso

Tabla N° 12: *Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico*

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
<b>Dureza</b>				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles		MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40
<b>Durabilidad</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq 3000$ msnm.	Sulfato de sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12
	Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18
<b>Limpieza</b>				
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo		MTC E 212	NTP 400.015	3
Carbón y lignito, % máximo		MTC E 211	NTP 400.023	0,5
<b>Geometría de las partículas</b>				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo		MTC E 210	D – 5821 (*)	60
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1) , % máximo		--	NTP 400.040	15
<b>Características químicas</b>				
Contenido de sulfatos, expresado como $SO_4$ , % máximo.		--	NTP 400.042	1,0
Contenido de cloruros, expresado como $Cl^-$ , % máximo.		--	NTP 400.042	0,1

FUENTE: *Manual de Carreteras EG-2013, 2013, pág. 808.*

### 2.3.7.4. Ensayos de laboratorio

#### 2.3.7.4.1. Cuarteo de muestras en laboratorio

#### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ ASTM C 702-93
- ✓ MTC E 105-2016



## GENERALIDADES

Para realizar los diferentes ensayos de suelos en laboratorio, se requiere de una muestra representativa de suelo en cantidad suficiente, de modo que satisfaga a cada tipo de ensayo. Las muestras representativas requieren de un procedimiento ya sea mecánico o manual (cuarteo), que consiste en desmenuzar a cantidades menores para que sean lo más homogéneas posible, de manera que al finalizar reflejen las características del terreno o la cantera de donde se haya extraído el material. El presente método de ensayo no proporciona resultados numéricos, sin embargo, es muy usado para la obtención de muestras representativas. Así mismo, se hace mención que en la mayoría de los laboratorios de suelos, el procedimiento manual es la más usada por su bajo costo y fácil ejecución.

### 2.3.7.4.2. *Contenido de Humedad*

#### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ ASTM D 2216
- ✓ MTC E 108-2016

#### GENERALIDADES

El suelo natural, siendo un medio poroso, está compuesto por materia sólida, líquida y gaseosa, también denominados, fases del suelo. La fase sólida está compuesta de partículas diminutas derivadas de la roca o sedimento. La fase líquida corresponde al agua líquida que se ubica en los espacios vacíos entre las partículas. La fase gaseosa corresponde al aire.

A partir de las tres fases del suelo, se pueden determinar las relaciones volumétricas (relación de vacíos, porosidad y grado de saturación) y gravimétricas (contenido de humedad y el peso específico) del suelo.



Según el manual de ensayo de materiales del MTC (2016), se define que el contenido de la humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

#### **2.3.7.4.3. Análisis Granulométrico por Tamizado**

##### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ ASTM D 422
- ✓ AASHTO T 88
- ✓ MTC E 107-2016

##### GENERALIDADES

La clasificación granulométrica o granulometría consiste en determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas de suelo. La clasificación de las partículas mayores de 0.075 mm (retenido en la malla N° 200) se realiza mediante el análisis por cribado (tamizado), lo cual corresponde a suelos de grano grueso como son las gravas y arenas. La clasificación para las partículas menores que 0.075 mm se realiza por el método del hidrómetro, que consiste en un proceso de sedimentación basada en la ley de Stokes, esto corresponde a los suelos finos como limos y arcillas.

#### **2.3.7.4.4. Límites de Atterberg**

Denominados también como límites de Consistencia, según Braja M. Das (2001), a principios de 1900, Albert Mauritz Atterberg realizó una serie de experimentos con suelos finos haciendo variar su contenido de humedad, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de humedad y la consistencia del suelo. Por tanto, el investigador observó que para ciertos contenidos de humedad el suelo presentaba uno de los cuatro estados distintos de consistencia, que son: Sólido, semisólido, plástico y líquido.

El contenido de agua, en porcentaje, que se tiene en la transición del estado sólido a semisólido se define como límite de contracción. El contenido de agua que se tiene en la transición del estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido.

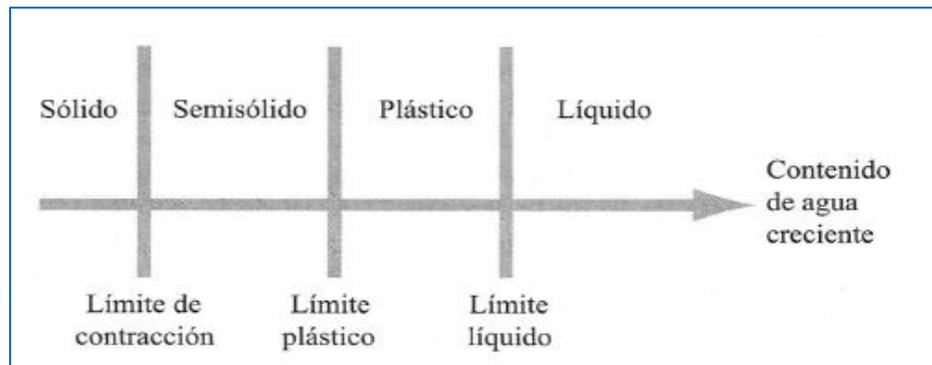


Figura N° 9: Límites de Atterberg.

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 27

#### 2.3.7.4.5. *Límite líquido (l. L.)*

##### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ ASTM D 423
- ✓ AASHTO T 89
- ✓ MTC E 110 – 2016

##### GENERALIDADES

El manual de ensayo de materiales MTC (2016), nos indica que el límite líquido es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa (cuchara de Casagrande) 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

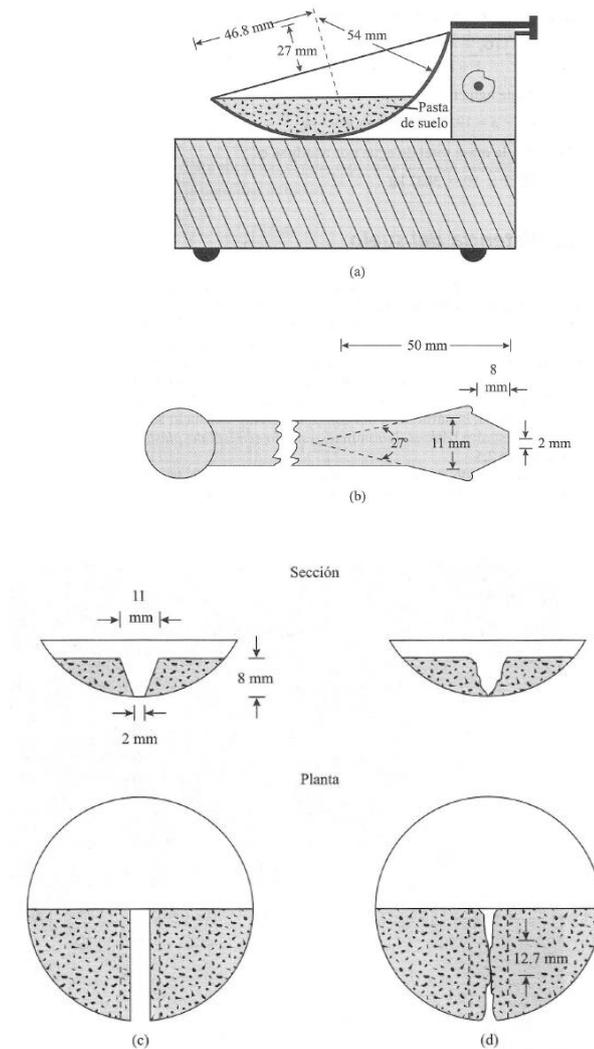


Figura N° 10: Prueba del Limite Liquido: (a) dispositivo para la prueba; (b) ranurador; (c) pasta de suelo antes de la prueba; (d) pasta de suelo después de la prueba.

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 28

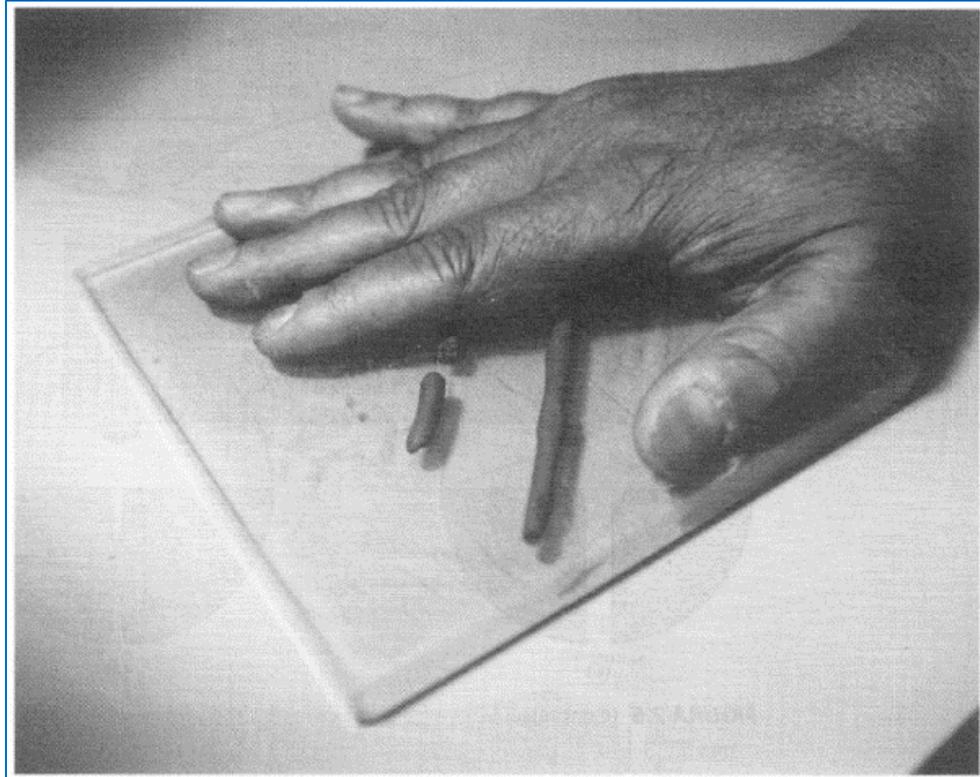
#### 2.3.7.4.6. Límite Plástico (L.P.)

##### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ ASTM D 424
- ✓ AASHTO T 90
- ✓ MTC E 111 – 2016

##### GENERALIDADES

Según el manual de ensayo de materiales MTC (2016), se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.



*Figura N° 11: Prueba de Limite Plástico.*

FUENTE: *Braja M. Das, 2001, pág. 30*

#### **2.3.7.4.7. Índice de Plasticidad (I.P.)**

El índice de plasticidad (I.P.), es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo. Por lo general el índice de plasticidad depende de la cantidad de arcilla del suelo.

El valor del índice plástico nos permite conocer cuan plástico se encuentra un material. La ecuación siguiente es la expresión para determinar el índice de plasticidad:

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

DONDE:

- I.P. : Índice de plasticidad
- L.L. : Límite líquido
- L.P. : Límite plástico

Casagrande (1932) estudió la relación que existe entre el índice de plasticidad y el límite líquido para una gran variedad de suelos y construyó el gráfico de plasticidad que se ve en la figura siguiente, en la que observó que las distintas variedades de suelos se agrupan ordenadamente en diversos sectores del gráfico. Empíricamente obtuvo las ecuaciones de las líneas que dividen el gráfico en las regiones donde se agrupan los tipos de suelo.

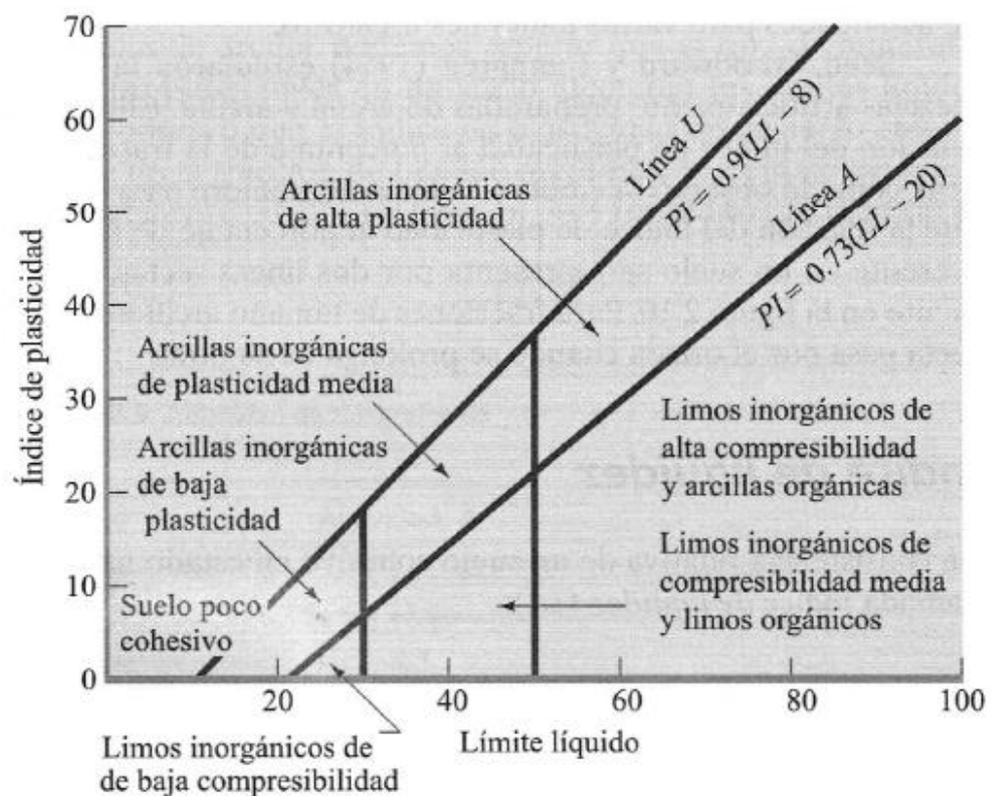


Figura N° 12: Carta de Plasticidad  
FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 34



La línea A separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos, las arcillas inorgánicas se encuentran por encima de esta línea y los limos inorgánicos por debajo de esta. Los limos orgánicos están situados por debajo de esta línea en el intervalo de 30 a 50 del límite líquido, las arcillas orgánicas se ubican por debajo de esta línea con un límite líquido mayor a 50. La ecuación de la línea A es:  $I.P. = 0.73 (L.L. - 20)$ . La línea U se ubica por encima de la línea A, esta línea es aproximadamente el límite superior de la relación del índice de plasticidad y el límite líquido para cualquier tipo de suelo conocido, aunque rara vez se ubica un suelo por encima de la línea U, que tiene la ecuación: Como  $I.P. = 0.9 (LL - 8)$ . La información proporcionada en la carta de plasticidad es de gran valor y es la base para la clasificación de los suelos de grano fino en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Braja M. Das, 2001).

#### 2.3.7.4.8. *Proctor Modificado*

##### REFERENCIAS NORMATIVAS

- ✓ AASHTO T 180
- ✓ ASTM D 1557
- ✓ MTC E 115 – 2016

##### GENERALIDADES

La compactación de suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades de los suelos por medio de la energía mecánica. Esto se logra comprimiendo el suelo, reduciendo vacíos que existen entre las partículas de un suelo, y así aumentando su peso específico seco (densificación). Su importancia busca mejorar las características de resistencia, esfuerzo – deformación y disminuir la capacidad de deformación y permeabilidad, características que debe mantener durante toda la vida útil de la obra.



Ralph R. Proctor (1933), propuso un método que permite reproducir en laboratorio, resultados que se deben obtener en obra, y que consiste en aplicar a un suelo cierta energía para compactarlo, con lo que el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la cual se puede determinar para un cierto grado de humedad, el peso volumétrico seco máximo de ese suelo y esa energía de compactación. Dicho método original a lo largo de los últimos años ha sufrido variaciones en su ejecución, por diversas organizaciones dedicadas a la construcción, por lo cual se ha denominado a la prueba de compactación dinámica como Proctor Modificado.

Según el manual de ensayo de materiales MTC (2016), el ensayo se aplica para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19 mm (3/4" pulg). Existen tres métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

#### **2.3.7.4.9. Valor Relativo de Soporte (Cbr)**

##### REFERENCIAS

- ✓ AASHTO T 193
- ✓ ASTM D 1883
- ✓ MTC E 132 – 2016

##### GENERALIDADES

El CBR (California Bearing Ratio), Relación de Soporte de California o Valor Relativo de Soporte, se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad, pero también se puede realizar en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. El ensayo permite obtener

un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración dentro de la muestra de suelo compactada, a un contenido de humedad y densidad dadas, con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación, esto se puede expresar como:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria de ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} \times 100$$

Según el manual de ensayo de materiales MTC (2016), El CBR está expresado al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla N° 13: *Características de la Muestra Patrón*

PENETRACIÓN		PRESIÓN		
mm	Pulgadas	MPa (MN/m <sup>2</sup> )	Kgf/cm <sup>2</sup>	Lb/plg <sup>2</sup>
2.54	0.1	6.90	70.31	1000
5.08	0.2	10.35	105.46	1500

FUENTE: *Manual de Ensayo de Materiales MTC, 2016, pág. 255.*

El CBR se determinará con los valores de carga corregidos para penetraciones de 2.54 y 5.08 mm (0.1 y 0.2 pulg) divididos por las cargas estándar de 6.89 y 10.34 MPa (1000 y 1500 psi) respectivamente. Se multiplica cada relación por 100 para obtener el CBR en porcentaje. Generalmente el CBR se relaciona para una penetración de 2.5 mm (0.1 pulg).



Este ensayo es muy aplicado para evaluar los materiales a usar en las capas de Base, Sub base, y la Sub rasante, de un pavimento, u otra estructura que esté sometido a cargas móviles.

#### **2.3.7.5. Clasificación de Suelos**

Debido a la gran variedad de suelos que se presentan en la corteza terrestre es que se han desarrollado varios sistemas de clasificación para así poder identificarlos. Según Braja M. Das (2001), los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Así mismo, se indica que los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, son usados dos sistemas de clasificación que usan la distribución por el tamaño de grano y plasticidad de los suelos. Estos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.). El Sistema AASHTO lo usan principalmente los departamentos de caminos estatales y de condados, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el sistema unificado.

##### **2.3.7.5.1. Sistema de Clasificación de Suelos Aashto**

De acuerdo a este sistema y en base a su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8 (Montejo, 2008). Los suelos inorgánicos se clasifican en 7 grupos que van de A-1 al A-7, y se subdividen en un total de 12 subgrupos. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos pasan por el tamiz N°200, y los suelos clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, denominados como suelos finos limo arcillosos, pasan el tamiz N°200 más del 35%. Finalmente, los suelos que están constituidos, principalmente, por materia orgánica se clasifican como A-8.

Tabla N° 14: *Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO*

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos, pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					
<b>Porcentaje que pasa:</b>												
N° 10 (2.000mm)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N° 40 (0.425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-	
N° 200 (0.075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín	
<b>Características del material que pasa el tamiz N° 40:</b>												
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	
Índice de plasticidad	6 máx	-	NP*	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	
<b>Constituyentes principales</b>	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>Características como subgrado (terreno de fundación)</b>	Excelente a bueno		Excelente a bueno	Excelente a bueno				Regular a malo				

\* No plástico  
 \*\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30 (A-7-5: IP ≤ LL-30)  
 \*\*\* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30 (A-7-6: IP > LL-30)

FUENTE: *Montejo Fonseca, 2008, pág. 46.*

### Índice de Grupo

Para la evaluación de la calidad de un suelo, se incorpora también un número llamado índice de grupo (IG) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Según Montejo Fonseca (2008), aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo, y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200. Cuando se indica un índice de grupo se debe colocar entre paréntesis, por ejemplo, A-2-6 (1), quiere decir un suelo A-2-6 cuyo índice de grupo es 1.

El índice de grupo está dada por la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$



Donde:

- IG : Índice de Grupo
- F : Porcentaje de suelo que pasa por el tamiz N°200
- L.L. : Límite líquido
- I.P. : Índice de plasticidad

El primer término de la ecuación anterior,  $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido. El segundo término,  $0.01(F - 15)(IP - 10)$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

A continuación, se da algunas reglas a considerar, según Braja M. Das (2001), para determinar el índice de grupo:

- ✓ Si la ecuación anterior da un valor negativo para IG, éste se toma igual a 0.
- ✓ El índice de grupo calculado con la ecuación se redondea al número entero más cercano (por ejemplo,  $GI = 3.4$  se redondea a 3;  $GI = 3.5$  se redondea a 4).
- ✓ No hay un límite superior para el índice de grupo.
- ✓ El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, y A-3 siempre es 0.
- ✓ Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial:

$$IG = 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

### 2.3.7.5.2. *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Sucs)*

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

Según Montejo Fonseca (2008), el sistema SUCS clasifica el suelo en tres grupos principales:

- ✓ Suelos de grano grueso
- ✓ Suelos de grano fino
- ✓ Suelos inorgánicos

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N°200.

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

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Simbología de prefijos de los seis principales tipos de suelo:

- ✓ G: Grava o suelo gravoso (Gravel).
- ✓ S: Arena o suelo arenoso (Sand).
- ✓ M: Limo inorgánico (mjäla).



- ✓ C: Arcilla inorgánica (Clay).
- ✓ O: Limos y arcillas con alto contenido de material orgánico (Organic).
- ✓ Pt: Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos (Peat).

Simbología de sufijos que identifican algunas características particulares del suelo:

- ✓ W: Bien graduado (Well graded).
- ✓ P: Mal graduado (Poorly graded).
- ✓ L: Baja plasticidad,  $LL < 50\%$  (Low plasticity).
- ✓ H: Alta plasticidad,  $LL > 50\%$  (High plasticity).

### **Suelos gruesos**

Se dividen en gravas (G) y arenas (S) y se separan con el tamiz N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo G, si más del 50% del peso de su fracción gruesa queda retenido en el tamiz N° 4 y pertenecerá al grupo S, en caso contrario.

Tanto las gravas como las arenas se dividen en cuatro grupos (GW, GP, GM, GC) Y (SW, SP, SM, SC), respectivamente, como se explica a continuación.

### **Gravas**

- Si el porcentaje de finos, contenidos en la grava, es menor del 5% la grava puede ser bien gradada (GW) si cumple que el coeficiente de curvatura (Cc) presente un valor entre 1 y 3, y el coeficiente de uniformidad (Cu) sea mayor de 4, si no cumple los coeficientes anteriores la grava será mal gradada (GP).  
En el símbolo GW, el prefijo G (gravel) se refiere a las gravas y W (Well graded) quiere decir bien graduado.



De igual modo el símbolo GP indica gravas pobremente graduadas o mal graduadas (poorly graded gravel).

- Si el porcentaje de finos, contenido en la grava, es mayor del 12% la grava puede ser GC si los finos son arcilla y GM si los finos son limo.

El símbolo GM indica gravas limosas, en la que el sufijo M proviene del sueco mo, y el símbolo GC indica gravas arcillosas. El sufijo C indica arcilla (clay).

- Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12%, se usa símbolo doble, por ejemplo, GW-GC.

### Arenas

- Si el porcentaje de finos, contenido en la arena, es menor del 5%, la arena puede ser, bien gradada (SW) si cumple que  $1 < C_c < 3$  y  $C_u > 6$  si no cumple los coeficientes anteriores, la arena será mal gradada (SP).
- Si el porcentaje de finos, contenido en la arena, es mayor del 12%, la arena puede ser arcillosa (SC), si los finos son arcilla, o limosa (SM) si los finos son limo.
- Si el porcentaje de finos está entre 5 y 12% se usa símbolo doble, por ejemplo, SP - SM.

Los coeficientes de curvatura ( $C_c$ ) y de uniformidad ( $C_u$ ) que permiten comparar y calificar granulometrías se definen así:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

## Suelos finos

El sistema unificado considera los suelos finos divididos en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y limos y arcillas orgánicos (O). Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez, según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es  $LL = 50\%$ . Si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L. Si es mayor de 50 se añade la letra H. obteniéndose de este modo los siguientes tipos de suelos:

- ML = Limos inorgánicos de baja plasticidad.
- OL = Limos y arcillas orgánicas de baja plasticidad.
- CL = Arcillas inorgánicas de baja plasticidad.
- CH = Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.
- MH = Limos inorgánicos de alta plasticidad.
- OH = Arcillas y limos orgánicos de alta plasticidad.

La clasificación de los suelos finos se hace con la carta de plasticidad, en la que sus diferentes zonas aparecen delimitadas por dos líneas básicas: la línea A que separa las arcillas de los limos y suelos orgánicos; la línea B que separa los suelos de alta y baja compresibilidad.

Tabla N° 15: *Sistema Unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos tipo grava.*

<b>SÍMBOLO DE GRUPO</b>	<b>CRITERIOS</b>
GW	Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2/(D_{10} * D_{60})$ entre 1 y 3.



GP	Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para GW.
GM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 8) o el índice de plasticidad menor que 4.
GC	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 8); índice de plasticidad mayor que 7.
GC-GM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura N°8.
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM.
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC.
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM.
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC.

FUENTE: *Braja M. Das, 2001, pág. 39*

Tabla N° 16: *Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.*

<b>SÍMBOLO</b>	<b>CRITERIOS</b>
<b>DE GRUPO</b>	
SW	Menos de 5% pasa la malla N° 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ entre 1 y 3.
SP	Menos de 5% pasa la malla N° 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura N° 8); o índice de plasticidad menor que 4.
SC	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura N° 8); índice de plasticidad mayor que 7.

SC-SM	Más de 12% pasa la malla N° 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura N° 8.
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC.
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM.
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC.

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 40

Tabla N° 17: *Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.*

<b>SÍMBOLO DE GRUPO</b>	<b>CRITERIOS</b>
CL	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura N° 8).
ML	Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI < 4$ ; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura N° 8).
OL	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura N° 8).
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; IP se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura N° 8).
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$ ; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura N° 8).
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura N° 8).
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura N° 8.
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 40

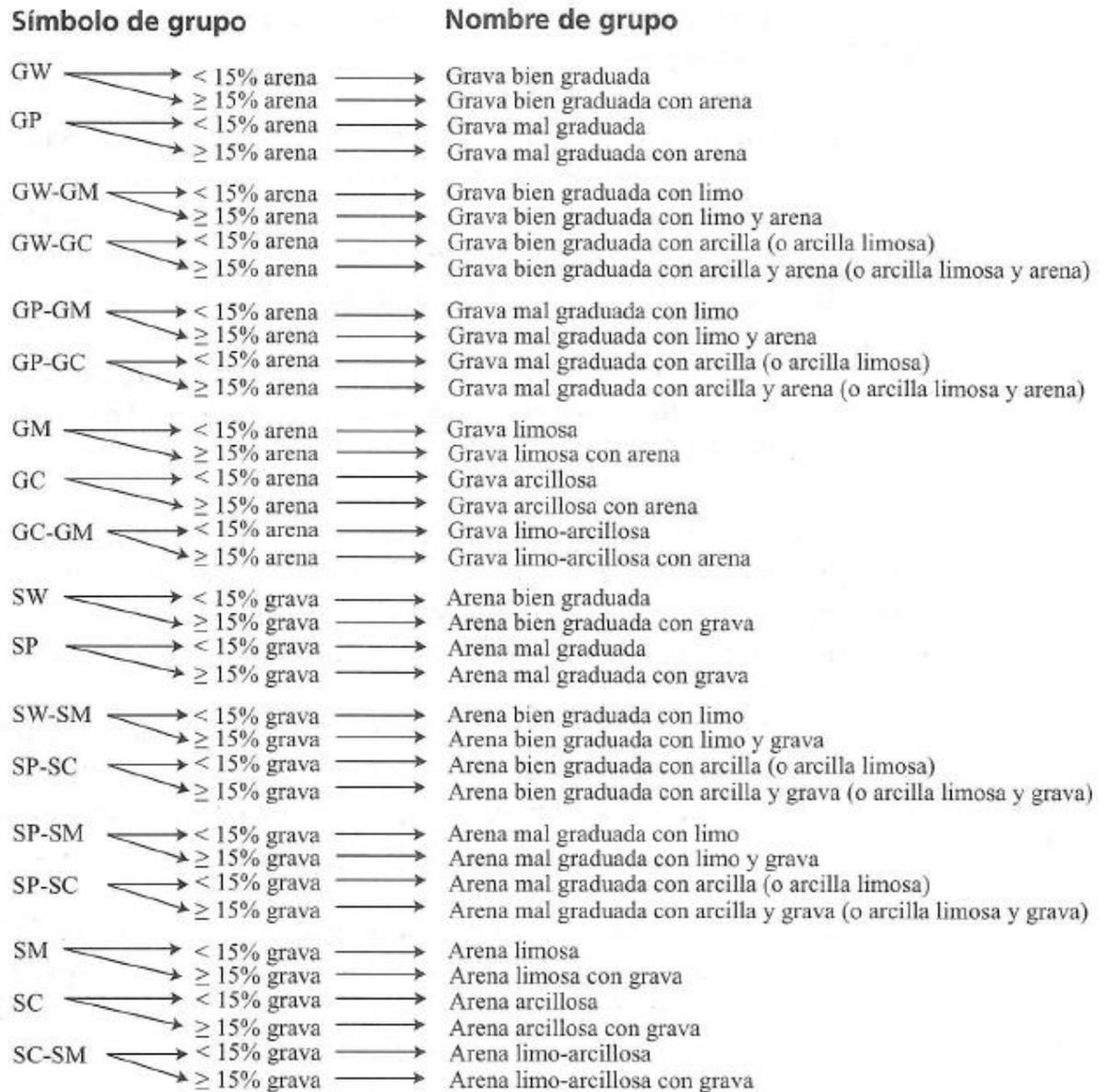


Figura N° 13: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos (según ASTM, 1998).

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 42

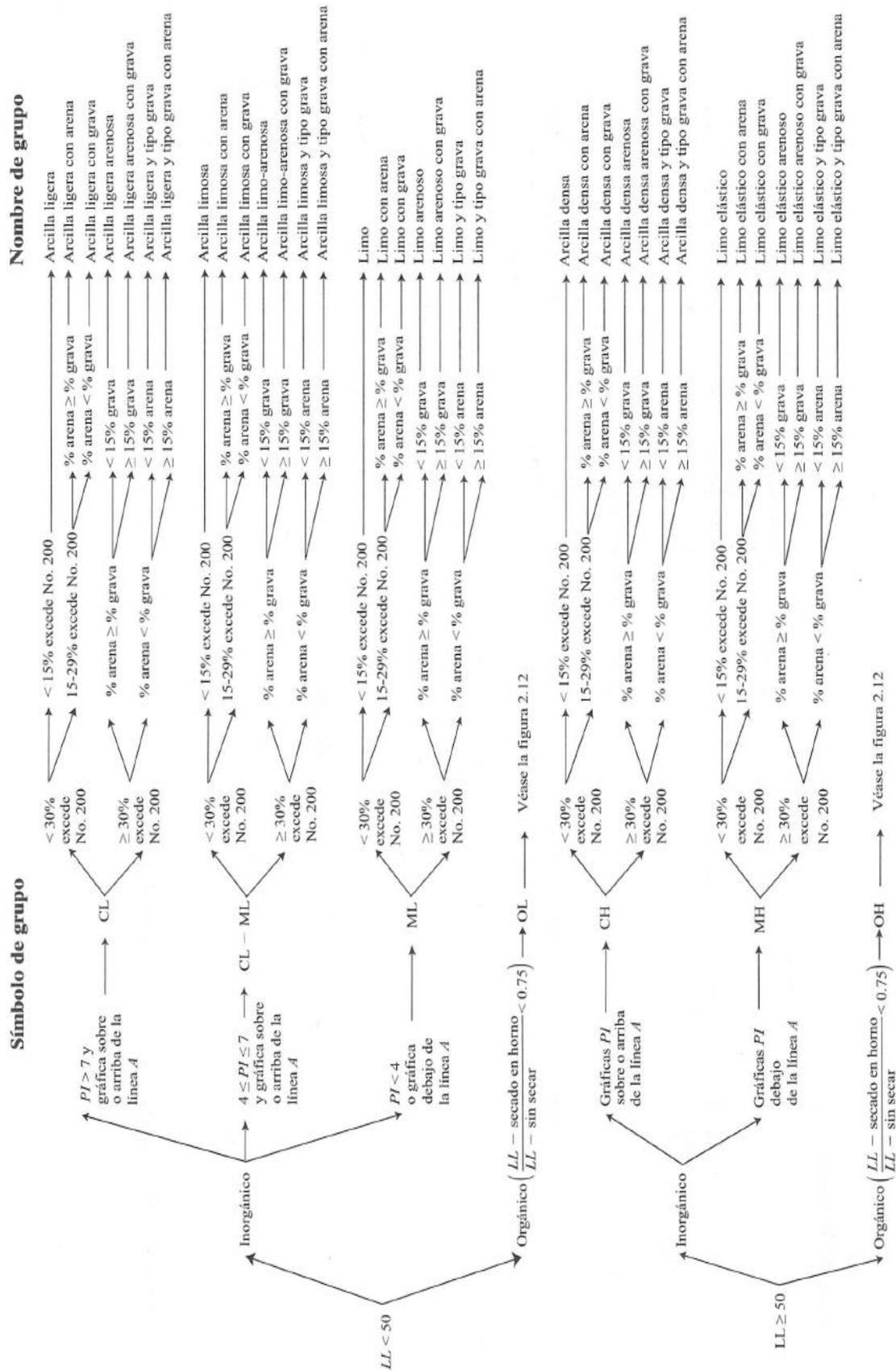


Figura N° 14: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998).

FUENTE: Braja M. Das, 2001, pág. 43





### **2.3.7.6. Estudio y Evaluación de Canteras**

Se llama cantera a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarios para la construcción de una obra. La calidad de una cantera está dada por el grado de cumplimiento de las especificaciones del material que se busca; y se deduce de los ensayos de laboratorio que se practiquen sobre las muestras tomadas durante la etapa exploratoria.

#### **2.3.7.6.1. Evaluación de Canteras**

Para que una cantera pueda ser catalogada como tal, deberá presentar las siguientes características:

- ✓ **Potencia:** Se debe asegurar que la potencia de la cantera sea mínimamente la suficiente o la necesaria, para asegurar el abastecimiento de material en la etapa de ejecución de la obra.
- ✓ **Calidad de material:** Esta se manifiesta por el grado de cumplimiento de las especificaciones que se busca, como son la forma de las partículas, granulometría, ensayos de compactación, CBR, límites de consistencia y otros.
- ✓ **Accesibilidad y estado de vías de acceso:** Se refiere básicamente a las vías de acceso, su estado o costos de construcción para la extracción del material.
- ✓ **Su situación legal:** Este es un aspecto fundamental que puede ocasionar gastos innecesarios, atrasos y/o paralizaciones de la obra, si no se toman en cuenta durante la etapa exploratoria.



## 2.3.8. VÍAS URBANAS

### 2.3.8.1. Clasificación de Vías Urbanas

La circulación, más o menos difícil, en las grandes ciudades siempre se caracteriza por la gran confusión entre peatones y vehículos que estacionan y circulan, entre vehículos lentos y rápidos, y sus diferentes deseos de desplazamiento.

Según el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas (2005), la clasificación planteada es aplicable a todo tipo de vías públicas urbanas terrestres, ya sean calles, jirones, avenidas, alamedas, plazas, malecones, paseos, destinados al tráfico de vehículos, personas y/o mercaderías.

Las vías urbanas<sup>1</sup> son el espacio destinado al tránsito de vehículos y/o personas que se encuentra dentro del límite urbano. Según la función que prestan se clasifican en:

- ✓ Vías Expresas.
- ✓ Vías Arteriales.
- ✓ Vías Colectoras.
- ✓ Vías Locales.

#### 2.3.8.1.1. Vías Expresas

Son vías que permiten conexiones interurbanas con fluidez alta. Unen zonas de elevada generación de tráfico, transportando grandes volúmenes de vehículos livianos, con circulación a alta velocidad y limitadas condiciones de accesibilidad. Eventualmente, el transporte colectivo de pasajeros se hará mediante buses en carriles segregados con paraderos en los intercambios. En su recorrido no es permitido el estacionamiento, la

---

<sup>1</sup> Norma Técnica CE.010 – Pavimentos Urbanos: anexo A



descarga de mercancías ni el tránsito de peatones. Este tipo de vías también han sido llamadas “autopistas”.

#### **2.3.8.1.2. Vías Arteriales**

Son vías que permiten conexiones interurbanas con fluidez media, limitada accesibilidad y relativa integración con el uso de las áreas colindantes. Son vías que deben integrarse con el sistema de vías expresas y permitir una buena distribución y repartición del tráfico a las vías colectoras y locales. En su recorrido no es permitida la descarga de mercancías. Se usan para todo tipo de tránsito vehicular. Eventualmente el transporte colectivo de pasajeros se hará mediante buses en vías exclusivas o carriles segregados con paraderos e intercambios. El término vía arterial no equivale al de avenida, sin embargo, muchas vías arteriales han recibido genéricamente la denominación de tales.

#### **2.3.8.1.3. Vías Colectoras**

Son aquellas que sirven para llevar el tránsito de las vías locales a las arteriales, dando servicio tanto al tránsito vehicular, como acceso hacia las propiedades adyacentes. El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas, cuando empalman con vías arteriales y con controles simples con señalización horizontal y vertical, cuando empalman con vías locales. El estacionamiento de vehículos se realiza en áreas adyacentes, destinadas especialmente a este objetivo. Se usan para todo tipo de vehículo. Este tipo de vías, han recibido muchas veces el nombre genérico de Jirón e inclusive Avenida.

#### **2.3.8.1.4. Vías Locales**

Son aquellas que tienen por objeto el acceso directo a las áreas residenciales, comerciales e industriales y circulación dentro de ellas.



Por ellas transitan vehículos livianos, ocasionalmente semipesados; se permite estacionamiento vehicular y existe tránsito peatonal irrestricto. Las vías locales se conectan entre ellas y con las vías colectoras. Este tipo de vías han recibido el nombre genérico de calles y pasajes.

### **2.3.8.2. Características Geométricas en Secciones Transversales**

El diseño de la sección transversal implica a su vez el diseño de diversos elementos en un proceso que se encuentra influido por las condiciones de la demanda; por la capacidad vial que es factible ofrecer, por las limitaciones en el derecho de vía, entre otras.

Los elementos de la sección transversal considerados en el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas (2005), son:

- Número de carriles / ancho de las calzadas
- Ancho de los carriles
- Bombeo y peralte (pendiente transversal)
- Separadores o bermas centrales
- Bermas laterales
- Sardineles

### **2.3.9. MÉTODO AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO**

El método AASHTO posee varias versiones, en 1993 se presenta una revisión del manual que ha sido adoptada por las normativas vigentes (Manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”).

Las variables que intervienen para el diseño de pavimentos rígidos son tomadas en base a un conocimiento empírico, por lo que es importante conocer y entender las consideraciones que tienen que ver con cada una de ellas. El método AASHTO permite



calcular el espesor de un pavimento de concreto para que esta pueda soportar el paso del tránsito estimado, expresado en ejes equivalentes. La fórmula general que propone AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Log}_{10}W_{82} = Z_R S_O + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \text{Log}_{10}\left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}}\right)}\right)$$

Donde:

- $W_{8.2}$  = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño
- $Z_R$  = Desviación normal estándar
- $S_O$  = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
- $D$  = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros
- $\Delta \text{PSI}$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- $P_t$  = índice de serviciabilidad o servicio final
- $M_r$  = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)
- $C_d$  = coeficiente de drenaje
- $J$  = Coeficiente de transmisión de carga en las juntas
- $E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
- $K$  = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

A continuación, se describen los parámetros que intervienen en el diseño del pavimento rígido según AASHTO.



### **2.3.9.1. Período de Diseño**

El período de diseño para pavimentos rígidos será mínimo de 20 años. El ingeniero de diseño de pavimentos puede ajustar el período de diseño según las condiciones específicas del proyecto (Manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, 2014).

### **2.3.9.2. El tránsito (Esals)**

Una característica propia del método AASHTO 93 es la simplificación del efecto del tránsito introduciendo el concepto de ejes equivalentes. Es decir, transforma las cargas de ejes de todo tipo de vehículo en ejes simples equivalentes de 8.2 Ton de peso, comúnmente llamados ESALs (equivalent single axle load, por sus siglas en inglés).

Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos rígidos, el Manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, define tres categorías:

- a) Caminos de bajo volumen de tránsito, de 150,001 hasta 1'000,000 EE, en el carril y período de diseño.
- b) Caminos que tienen un tránsito, de 1'000,001 EE hasta 30'000,000 EE, en el carril y período de diseño.
- c) Caminos que tienen un tránsito mayor a 30'000,000 EE, en el carril y período de diseño. Esta categoría de caminos, no está incluida en el presente manual, el diseño de pavimentos será materia de un estudio especial por el ingeniero proyectista, analizando diversas alternativas de pavimento equivalentes y justificando la solución adoptada.

### **2.3.9.3. Serviciabilidad**

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se mide en una escala de 0 a 5, donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente que es un valor ideal que en la práctica



no se da. El valor de 0 es un indicador muy pesimista, pues AASHTO 93 emplea el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento. AASHTO 93 caracteriza el servicio con dos parámetros: índice de servicio inicial ( $P_i$ ) e índice de servicio final o terminal ( $P_t$ ). En la ecuación se ingresa la diferencia entre los valores de serviciabilidad inicial y final ( $\Delta PSI$ ).

#### **2.3.9.4. La Confiabilidad “R” y la Desviación Estándar ( $S_o$ )**

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

El rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre  $0.30 < S_o < 0.40$ , el manual de carreteras-sección suelos y pavimentos, recomienda un  $S_o = 0.35$ .

Los valores de confiabilidad en relación al número de repeticiones de EE son sugeridos por el MTC - manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, Cuadro 14.5.

#### **2.3.9.5. El Suelo y el Efecto de las capas de apoyo ( $K_c$ )**

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante ( $K$ ). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado ( $K_c$ ).

El ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, que para este caso es de 13 mm. El ensayo está normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222. Las unidades de  $K$  son  $Mpa / m$ .

No obstante, la alternativa que da AASHTO de utilizar correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción  $k$  en función de la clasificación de suelos y el CBR; para el efecto se presenta la siguiente figura.

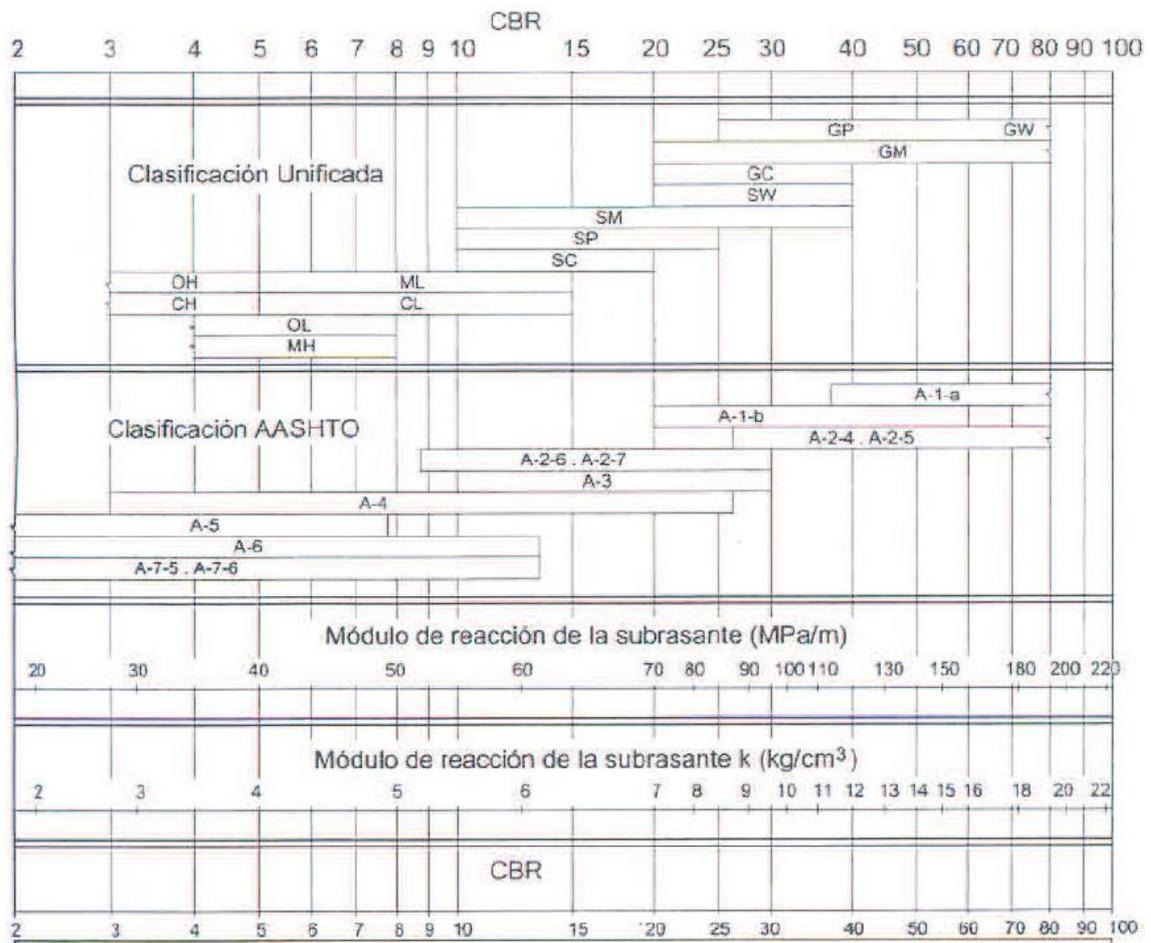


Figura N° 16: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante  
FUENTE: *Manual de Carreteras "Sección Suelos y Pavimentos"*, (2014), pág. 267

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor, se procederá a la estabilización de los suelos, buscando alternativas de solución como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos u otros productos aprobados por el MTC, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.



La presencia de la sub base granular o base granular, de calidad superior a la subrasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicará la siguiente ecuación:

$$K_c = [1 + (h/38)^2 * (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} * K_0$$

Donde:

- $K_1$  (kg/cm<sup>3</sup>): Coeficiente de reacción de la sub base granular
- $K_c$  (kg/cm<sup>3</sup>): Coeficiente de reacción combinado
- $K_0$  (kg/cm<sup>3</sup>): Coeficiente de reacción de la subrasante
- $h$ : Espesor de la subbase granular

Los valores de CBR mínimos para la sub base granular de pavimentos rígidos según la intensidad de tráfico expresados en EE, son sugeridos por el MTC - manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, Cuadro 14.6.

#### **2.3.9.6. Resistencia a Flexotracción del concreto ( $M_r$ )**

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan, principalmente, a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura ( $M_r$ ) esta normalizado por ASTM C – 78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga.

Para pavimentos los valores de resistencia del concreto según el rango de tráfico, son dados por el MTC-manual de carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, Cuadro 14.7.

El módulo de rotura ( $M_r$ ) del concreto se correlaciona, con el módulo de compresión ( $f'_c$ ) del concreto, mediante la siguiente regresión:

$$M_r = a\sqrt{f'_c} \quad (\text{Valores en kg/cm}^2), \text{ según el ACI 363}$$

Donde los valores “a” varían entre 1.99 y 3.18

### **2.3.9.7. Módulo Elástico del Concreto**

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro, particularmente, importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. En el caso de concretos de alto desempeño, resistencia a compresión superior a 40 Mpa, la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta, puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste.

AASHTO'93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI:

$$E = 57,000x (f'c)^{0.5} ; (f'c \text{ en PSI})$$

El ensayo ASTM C – 469 calcula el módulo de elasticidad del concreto.

### **2.3.9.8. Drenaje (Cd)**

La presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento trae consigo los siguientes problemas:

- ✓ Erosión del suelo por la migración de partículas
- ✓ Ablandamiento de la subrasante por la saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento
- ✓ Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad
- ✓ Deformación y fisuración creciente por la pérdida de capacidad estructural

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (Cd) para considerarlo en el diseño.

El coeficiente de drenaje  $C_d$  varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un  $C_d$  alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular.

Pasos para el cálculo del  $C_d$ :

1. Se caracteriza la calidad del material como drenaje en función de sus dimensiones, granulometría, y características de permeabilidad. Se puede considerar como un drenaje: excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre.
2. Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el  $C_d$  correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación. Utilizando para ello la siguiente tabla:

Tabla N° 18: *Coefficiente de Drenaje de las Capas Granulares  $C_d$*

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

FUENTE: *Manual de Carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, 2014, pág. 271*

### 2.3.9.9. *Transferencia de Cargas (J)*

Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que, expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras. Sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas.



El valor de  $J$  es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de  $J$ , menor espesor de concreto.

Tabla N° 19: *Valores del Coeficiente de Transmisión de Carga  $J$*

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

FUENTE: *Manual de Carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”, 2014, pág. 271*



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Borja (2012), indica, que la investigación aplicada busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática, por ejemplo: “Diseño de una cimentación para suelos arenosos”.

La presente tesis busca aplicar en el diseño de pavimento rígido, las metodologías ASSHTO 93 – PCA84 y metodología TCP, por lo cual reúne datos para realizar una investigación aplicada.

##### 3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Nivel descriptivo; “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describe tendencias de un grupo o población” (Hernández, 2006).

La finalidad es poder explicar el comportamiento de una variable en función de otra(s), con la relación de causa-efecto, debe apoyarse en otros criterios de causalidad (Bradford Hill); requiere control tanto metodológico como estadístico.

La presente tesis explicar el comportamiento del diseño y construcción de pistas y veredas con relación a la causa efecto de variables metodológicas aplicadas.

#### 3.2. ZONA DE ESTUDIO

Ubicación:

✓ DEPARTAMENTO : PUNO



- ✓ PROVINCIA : PUNO
- ✓ DISTRITO : PUNO
- ✓ BARRIO : ALTO LLAVINI (JR. EMILIO VALDIZAN)

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. POBLACIÓN

Córdova (2006), afirma que la población es el conjunto de elementos (personas, objetos, etc.) que contienen una o más características medibles o contables de naturaleza cualitativa o cuantitativa.

La población de la presente tesis está conformada por las componentes del proyecto: “MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LOS JIRONES Y PASAJES DEL SECTOR NORESTE DE LA CIUDAD DE PUNO”.

Tabla N° 20: *Población de vías locales intervenidas del proyecto*

<b>VÍAS PARA INTERVENCIÓN SEGÚN EL PROYECTO</b>	<b>LARGO(M)</b>	<b>ANCHO(M)</b>	<b>ÁREA(M2)</b>
JR. INMACULADA	225.01	5.40	1215.01
JR. PABLO CUTIPA	103.98	5.60	582.29
JR. EMILIO VALDIZAN	586.77	7.20	4,095.14
JR SN0619	94.50	5.60	529.20
JR SN0618	127.54	8.40	1071.34
JR. ESMERALDA	96.55	5.60	540.68
JR. ESPERANZA	100.00	5.60	560.00
JR. TULIPANES	84.06	3.60	302.62
JR AJOYAS	72.10	7.60	547.96
JR CUENTAS	76.06	3.60	410.78
PSJE. SN 0622	63.57	3.60	228.85
PSJE. SN 0620	61.12	5.60	342.27
PSJE. TOTORALES	84.24	3.60	303.26
PSJE. SN 0611	31.31	3.60	112.72

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.3.2. MUESTRA

Para Hernández (2006), la muestra es el subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo.

La muestra se define de tal manera de contar con el jirón más representativo (según el área mayor del proyecto intervenido), esto es, para el análisis de la presente investigación.

Tabla N° 21: *Vía local como muestra representativa*

VÍAS PARA EL ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN	LARGO(M)	ANCHO(M)	ÁREA(M2)
JR. EMILIO VALDIZAN	586.77	7.20	4,095.14

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

A continuación, en la figura N° 17, se indica la ubicación de la zona intervenida por el proyecto:

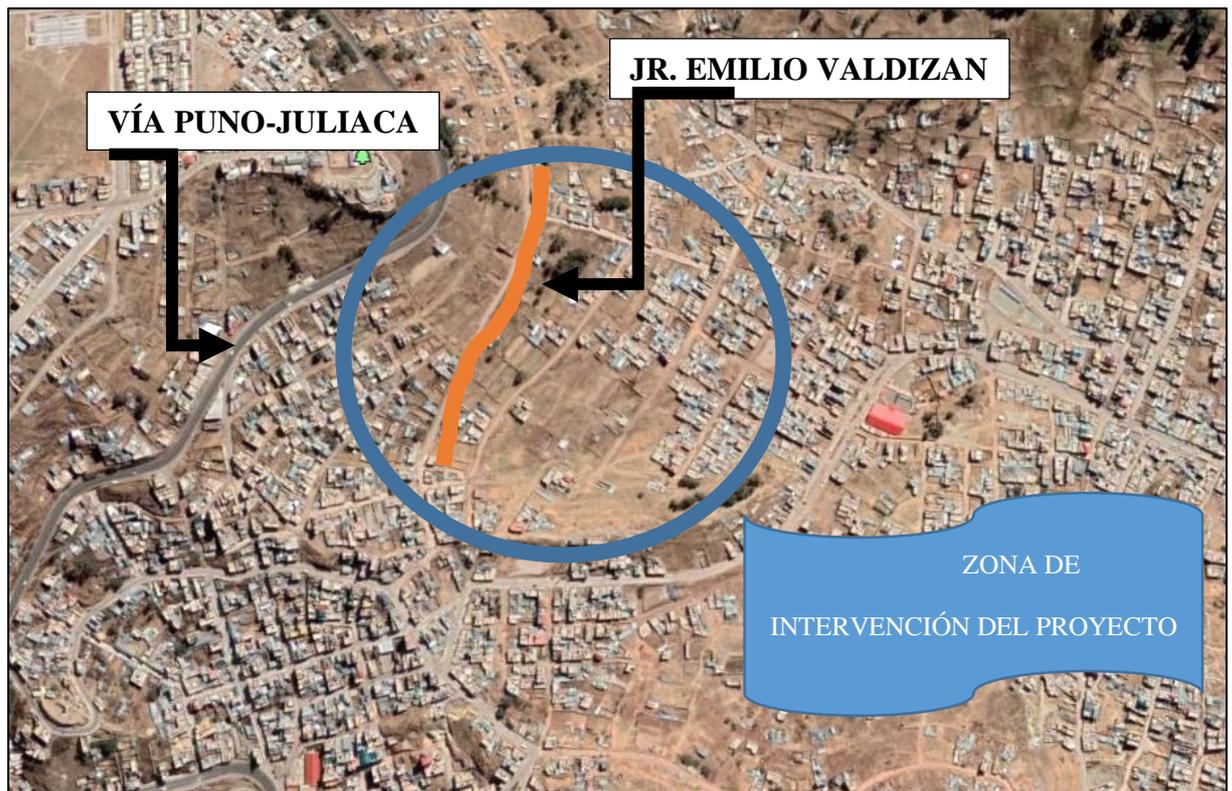


Figura N° 17: Zona de estudio del proyecto

FUENTE: *Google Earth*

### 3.4. MATERIALES

#### 3.4.1. PARÁMETROS DISEÑO GEOMÉTRICO DEL JR. EMILIO VALDIZAN

✓ Clasificación vial urbana	: Vía Local.
✓ Velocidad directriz o de diseño	: 30 km/h
✓ Bombeo	: 2.0 %
✓ Cunetas	: Diseño triangular (a=0.20 m)
✓ Ancho de carril	: 2.40 m
✓ Sardineles	: 0.10 m. x 0.30 m.
✓ Veredas	: Ancho var 1.00 m – 1.50m
✓ Ancho de la losa	: 2.40 m
✓ Largo de la losa	: 3.00 m

#### 3.4.2. ESTUDIO DEL TRÁNSITO

##### 3.4.2.1. *Estudio del tránsito para las vías (jirones y pasajes) del sector noreste de la ciudad de puno - jr. Emilio valdizan*



Figura N° 18: Ubicación de la estación de aforo vehicular

FUENTE: Google Earth





Teniendo la clasificación siguiente (considerando solamente a de vehículos livianos):

**VEHÍCULOS TIPO A:**

- Auto
- Camioneta
- Microbús
- Buseta

**VEHÍCULOS TIPO B:**

- Bus B2 Y B3

**VEHÍCULOS TIPO C:**

- Camión C2, C3 Y C4
- Semitrailer T3 Y T3
- Tráiler C2 Y C3

**3.4.2.1.2. *Determinación del T<sub>pds</sub>***

Para determinar el TPDS, se necesita el número total de vehículos que pasan por la vía durante un año, mediante conteos vehiculares en forma diario, semanales o mensuales.

La determinación del TPDS, se determina con el trabajo de campo, utilizando los aforos vehiculares diarios durante una semana y transformándolos estadísticamente.



ESTUDIO DE TRANSITO - AFORO VEHICULAR																					
UBICACIÓN	JR. EMILIO VALDIZAN																				
DISTRITO	PUNO																				
PROVINCIA	PUNO																				
DEPARTAMENTO	PUNO																				
DESCRIPCION DE VEHICULO	LIVIANOS					PESADOS															
	AUTO	CAMIONETA	MICROBUS	BUSETA	BUS		CAMIÓN			SEMITRAYLER			SEMITRAYLER			TRAYLER					
					B2	B3	C2	C3	C4	T2-S1	T2-S2	T2-S3	T3-S1	T3-S2	T3-S3	C2-R2	C2-R3	C3-R2	C3-R3		
LUNES	32	40	14	0	0	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	14%
MARTES	41	34	12	0	0	0	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	14%
MIÉRCOLES	35	16	13	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	9%
JUEVES	43	29	22	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	14%
VIERNES	49	32	10	0	0	0	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	14%
SÁBADO	86	61	25	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	25%
DOMINGO	31	24	22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	10%
TOTAL	317	236	118	0	0	0	64	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	761	100%
	41.66%	31.01%	15.51%	0.00%	0.00%	0.00%	8.41%	3.42%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Figura N° 21: Resumen de estudio de tránsito  
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se presenta la siguiente tabla, según tipos de vehículos A, B y C; considerados anteriormente.

Tabla N° 22: Clasificación vehicular según tipo A, B y C

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULO	A	B	C
LUNES 15/07/2019	86	0	17
MARTES 16/07/2019	87	0	18
MIÉRCOLES 17/07/2019	64	0	8
JUEVES 18/07/2019	94	0	10
VIERNES 19/07/2019	91	0	16
SÁBADO 20/07/2019	172	0	20
DOMINGO 20/07/2019	77	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>671</b>	<b>0</b>	<b>90</b>
% QUE REPRESENTA	88%	0%	12%
<b>TOTAL</b>			<b>761</b>

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Cálculo del IMDS o TPDS**

$$TPDS=761/7=108,714= 109 \text{ VEHÍCULOS/DIA}$$

Tabla N° 23: *Resumen del Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS)*

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>PORCENTAJE QUE REPRESENTA</b>	<b>N° DE VEHÍCULOS POR DÍA</b>
AUTOS	41.7	45
CAMIONETAS	31.0	34
MICROBÚS	15.5	17
CAMIÓN “C2”	8.4	9
CAMIÓN “C3”	3.4	4
	<b>TPDS</b>	<b>109</b>

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.4.2.1.3. *Determinación del Periodo de Diseño*

AASHTO nos indica valores del período de diseño con respecto a la importancia de la vía, según la Tabla N° 24.

Tabla N° 24: *Valores del Período de Diseño*

<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>PERIODO DEL DISEÑO</b>
Urbana de alto volumen de tráfico	30-50 años
Rural de alto volumen de tráfico	20-50 años
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15-25 años
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10-20 años

FUENTE: *Guía AASHTO “Diseño de Estructuras de Pavimento, 1993”*

Ya que nuestra vía pertenece a un diseño de pavimentación de bajo volumen de tráfico tomaremos un período de diseño de 20 años.



#### 3.4.2.1.4. *Determinación de la Tasa de Crecimiento Anual de Transito*

En la teoría ya mencionada se, indica, que: Normalmente las tasas de crecimiento del tráfico varían entre 2 % y 6%.

Para lo cual, optaremos por un promedio de tasa de crecimiento del 4% (lo cual nos indica un crecimiento atraído), y utilizaremos la siguiente fórmula:

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

En la que:

- $T_n$  = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día
- $T_o$  = Tránsito actual (año base o) en veh/día
- $n$  = Número de años del período de diseño
- $r$  = Tasa anual de crecimiento del tránsito

Teniendo como datos:

- $T_o = 109$
- $n = 20$
- $r = 4.0\%$

Reemplazando valores a la ecuación anterior, obtenemos el siguiente resultado:

$$T_n = 109(1+0.04)^{20-1}$$

$$T_n = 229,65 = 230 \text{ vehículos/día}$$

### 3.4.2.1.5. Factor Equivalente de Carga

Carga Bruta Por Eje		Factores De Equivalencia De Carga		
KN	Lb, Kip	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002	-	-
8.9	2,000	0.00018	-	-
17.8	4,000	0.00209	0.0003	-
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.36	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80	18,000	1	0.077	0.017
89	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.18	0.04
106.8	24,000	3.03	0.26	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.08
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.39	0.313
169	38,000	17.2	1.7	0.393
178	40,000	21.08	2.08	0.487
187	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31	3	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.5	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000	-	5.63	1.43
240.2	54,000	-	6.47	1.66
249	56,000	-	7.41	1.91
258	58,000	-	8.45	2.2
267	60,000	-	9.59	2.51
275.8	62,000	-	10.84	2.85
284.5	64,000	-	12.22	3.22
293.5	66,000	-	13.73	3.62
302.5	68,000	-	15.38	4.05
311.5	70,000	-	17.19	4.52
320	72,000	-	19.16	5.03
329	74,000	-	21.32	5.57
338	76,000	-	23.66	6.15
347	78,000	-	26.22	6.78
356	80,000	-	29	7.45
364.7	82,000	-	32	8.2
373.6	84,000	-	35.3	8.9
382.5	86,000	-	38.8	9.8
391.4	88,000	-	42.6	10.6
400.3	90,000	-	46.8	11.6

Figura N° 22: Factores Equivalente de Carga

FUENTE: Minaya y Ordoñez (2006) - Diseño de Pavimentos Asfálticos UNI



### 3.4.2.1.6. FACTOR CAMIÓN

El factor camión para cada tipo de vehículo se mostrará en la siguiente tabla primero se ubica el peso en toneladas por eje de vehículo, se pasa a convertir el Kilo Newton (KN), se ubica el factor equivalente de carga con el valor en KN por eje y finalmente se suman los valores del eje 1 y eje 2 para obtener el factor camión por tipo de vehículo (Tabla N° 18), posteriormente se determina el factor camión para nuestro estudio de tránsito.

Tabla N° 25: Factor camión por tipo de vehículo

DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO	EJE 1			EJE2			FACTOR CAMIÓN
	TN	KN	FEC	TON	KN	FEC	
AUTOS	0.5	4.905	0.0001	0.5	4.905	0.0001	0.0002
CAMIONETA	1.5	14.715	0.001	1.5	14.715	0.001	0.002
MICROBÚS	2	19.62	0.003	2	19.62	0.003	0.006
CAMIÓN “C2”	7	68.67	0.548	11	107.91	3.164	3.712
CAMIÓN “C3”	7	68.67	0.548	18	176.58	2.05	2.598

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 26: Cálculo del Factor Camión

DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO	CANTIDAD	% QUE REPRESENTA	F.C por tipo de vehículo	F.C. %
AUTOS	45	41.7	0.0002	0.0000834
CAMIONETA	34	31.0	0.002	0.00062
MICROBÚS	17	15.5	0.006	0.00093
CAMIÓN “C2”	9	8.4	3.712	0.311808
CAMIÓN “C3”	4	3.4	2.598	0.088332
FACTOR CAMIÓN				0.4017734

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



### 3.4.2.1.7. *ESAL'S DE DISEÑO*

Aplicando la fórmula para *ESAL'S DE DISEÑO*

$$ESAL'S(W18) = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \times F.C.$$

Donde:

- W18 : Número Estimado de Ejes Equivalentes de 8.2 TN
- TPD : Tránsito Promedio Diario Inicial
- A : Porcentaje Estimado de Vehículos Pesados (Buses, Camiones)
- B : Porcentaje de Vehículos Pesados que emplean el Carril de Diseño
- r : Tasa Anual de Crecimiento de Tránsito
- n : Período de Diseño
- F.C. : Factor Camión

Datos obtenidos para nuestro diseño

- TPD : 109 veh/día
- A : 50%
- B : 50% (según tabla N° 06)
- r : 4%
- n : 20 años
- F.C. : 0.4017734

$$ESAL'S(W18) = 109 \times \frac{50}{100} \times \frac{50}{100} \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{Ln(1+0.04)} \times 0.4017734$$

$$ESAL'S(W18) = 121,361.72$$



#### **3.4.2.1.8. Conclusión parcial del estudio de tránsito jr. Emilio valdizan**

- Se calculó el TPDS para la presente investigación lo cual nos da 109 veh/día.
- Se determinó un periodo de diseño de 20 años y una tasa de crecimiento de 4%, ajustado al crecimiento promedio de nuestro PBI.
- Se determinó un ESALs de diseño de 121,361.72 ejes equivalentes de 18 000lb o 8.2 Tn

#### **3.4.3. ESTUDIO DE SUELOS**

##### **3.4.3.1. Propiedades de la subrasante**

##### **3.4.3.1.1. Perforaciones a cielo abierto (calicatas)**

Para determinar las propiedades físico-mecánicas, en nuestra investigación, se realizó un mínimo de tres (03) calicatas, tal y como se indica en la norma CE.010 – Pavimentos Urbanos. Así mismo, se hace mención que tomando el criterio de la Tabla N° 8, y también tomando en cuenta el área de la vía en estudio 4,095.14 m<sup>2</sup>, nos resultan 02 puntos de investigación, por consiguiente, no alcanza al número sugerido en la norma.

La vía en estudio se ubica en el Jr. Emilio Valdizan Cuadras 03, 04, 05, 06 y 07: Calicata 01 en la progresiva 0+085 (cuadra 03) a una profundidad de 1.50 m, calicata 02 en la progresiva 0+270 (cuadra 05) a una profundidad de 1.40 m y calicata 03 en la progresiva 0+440 (cuadra 07) a una profundidad de 1.60 m.

##### **3.4.3.1.2. Resultados de los Ensayos de Laboratorio**

En la Tabla N° 27 se muestra el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio del Terreno de Fundación, para cada calicata, los cuales se muestran en el Anexo A. Las hojas de cálculo de los resultados se encuentran anexadas al presente proyecto de investigación.



Tabla N° 27: *Resultados de los Ensayos de Laboratorio del Terreno de Fundación*

TIPO DE ENSAYO	CALICATA	CALICATA	CALICATA
	C-1	C-02	C-3
Humedad Natural (%)	12.80	9.90	8.20
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
Clasificación SUCS	SC	SC	SC-SM
Limite Líquido (%)	32.48	28.44	26.87
Limite Plástico (%)	23.24	20.29	19.94
Índice de Plasticidad (%)	9.25	8.15	6.93
Máxima Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.966	1.989	2.014
Contenido de Humedad Óptimo (%)	10.64	10.30	9.16
Máxima Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> ) al 95%	1.868	1.890	1.913
CBR al 100% de la M.D.S. (%)	12.24	14.18	17.87
CBR al 95% de la M.D.S. (%)	6.88	7.17	9.69

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 23: Contenido de Humedad*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 24: Análisis Granulométrico por Tamizado*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 25: Determinación del Límite Plástico*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 26: Determinación del Límite Líquido de los Suelos*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 27: Ensayo Proctor Modificado*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 28: Ensayo de CBR de suelos*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



### 3.4.3.1.3. *Interpretación de Resultados*

Los materiales encontrados en las calicatas realizadas de la zona de estudio, Jr. Emilio Valdizan, presentan un solo estrato. A continuación, se hace una descripción de las muestras de cada calicata:

#### **Calicata C-01:**

El suelo presenta un contenido de humedad  $w\%=12.80\%$ . Según la clasificación AASHTO, el suelo pertenece al subgrupo A-2-4 (0) lo cual indica que este estrato comprende una mezcla de materiales granulares y una gran cantidad de finos, compuestas por grava y arena limosa o arcillosa. El Índice de grupo “0” (cero) refleja la buena calidad del comportamiento del suelo como material de sub-rasante.

Según la clasificación SUCS, a este estrato le corresponde la clasificación SC, lo cual significa arena arcillosa y que por poseer más del 15% de grava (según el análisis granulométrico) se le denomina arena arcillosa con grava.

El Límite Líquido (LL) fue 32.48%, lo cual indica que este es el mayor contenido de humedad que puede tener este suelo, sin pasar del estado plástico al líquido. En cuanto al resultado del Límite Plástico (LP) fue de 23.24% lo cual indica que la cantidad mínima de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. Finalmente, el índice de Plasticidad (IP) fue de 9.25% el cual indica el grado de contenido de humedad en este suelo que permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.

La máxima Densidad Seca obtenida fue de 1.966 gr/cm<sup>3</sup> el cuál fue obtenido del Ensayo de Proctor Modificado, que relaciona el óptimo contenido de humedad necesario, que fue 10.64%, para alcanzar el máximo peso seco del suelo; ambos valores encontrados son correlacionados con el objetivo de incrementar la resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.



Finalmente, el valor de C.B.R. al 100% de la Máxima Densidad Seca fue de 12.24% el cual representa la resistencia al esfuerzo cortante con respecto a la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra patrón (el cual es de 1000 Lb/pulg<sup>2</sup> ó 70.31 Kg/cm<sup>2</sup>), expresado porcentualmente. El C.B.R. al 95% de la Máxima Densidad Seca fue de 6.88%, que representa el valor adoptado para el diseño propiamente dicho de pavimentos, más no el valor del C.B.R. al 100% de la M.D.S.

### **Calicata C-02:**

El suelo presenta un contenido de humedad  $w\%=9.90\%$ . Según la clasificación AASHTO, el suelo pertenece al subgrupo A-2-4 (0) lo cual indica que este estrato comprende una mezcla de materiales granulares y una gran cantidad de finos, compuestas por grava y arena limosa o arcillosa. El Índice de grupo “0” (cero) refleja la buena calidad del comportamiento del suelo como material de subrasante.

Según la clasificación SUCS, a este estrato le corresponde la clasificación SC, lo cual significa Arena Arcillosa y que por poseer más del 15% de grava (según el análisis granulométrico) se le denomina Arena Arcillosa con Grava.

El Límite Líquido (LL) fue 28.44% lo cual indica que este es el mayor contenido de humedad que puede tener este suelo sin pasar del estado plástico al líquido. En cuanto al resultado del Límite Plástico (LP) fue de 20.29% lo cual indica que la cantidad mínima de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. Finalmente, el índice de Plasticidad (IP) fue de 8.15% el cual indica el grado de contenido de humedad en el cual este suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.

La máxima Densidad Seca obtenida fue de 1.989 gr/cm<sup>3</sup> el cuál fue obtenido del Ensayo de Proctor Modificado, que relaciona el óptimo contenido de humedad necesario, que fue 10.30%, para alcanzar el máximo peso seco del suelo; ambos valores encontrados



son correlacionados con el objetivo de incrementar la resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

Finalmente, el valor de C.B.R. al 100% de la Máxima Densidad Seca fue de 14.18% el cual representa la resistencia al esfuerzo cortante con respecto a la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra patrón (el cual es de 1000 Lb/pulg<sup>2</sup> ó 70.31 Kg/cm<sup>2</sup>), expresado en porcentaje. El C.B.R. al 95% de la Máxima Densidad Seca fue de 7.17%, que representa el valor adoptado para el diseño propiamente dicho de pavimentos, más no el valor del C.B.R. al 100% de la M.D.S.

### **Calicata C-03:**

El suelo presenta un contenido de humedad  $w\%=8.20\%$ . Según la clasificación AASHTO, el suelo pertenece al subgrupo A-2-4 (0) lo cual indica que este estrato comprende una mezcla de materiales granulares y una gran cantidad de finos, compuestas por grava y arena limosa o arcillosa. El Índice de grupo “0” (cero) refleja la buena calidad del comportamiento del suelo como material de sub-rasante.

Según la clasificación SUCS, a este estrato le corresponde la clasificación SC-SM, lo cual significa Arena Arcillosa – Limosa y que por poseer más del 15% de grava (según el análisis granulométrico) se le denomina Arena Limo - Arcillosa con Grava.

El Límite Líquido (LL) fue 26.87% lo cual indica que este es el mayor contenido de humedad que puede tener este suelo sin pasar del estado plástico al líquido. En cuanto al resultado del Límite Plástico (LP) fue de 19.94% lo cual indica que la cantidad mínima de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. Finalmente, el índice de Plasticidad (IP) fue de 6.93% el cual indica el grado de contenido de humedad en el cual este suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.



La máxima Densidad Seca obtenida fue de 2.014 gr/cm<sup>3</sup> el cuál fue obtenido del Ensayo de Proctor Modificado, que relaciona el óptimo contenido de humedad necesario, que fue 9.16%, para alcanzar el máximo peso seco del suelo; ambos valores encontrados son correlacionados con el objetivo de incrementar la resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

Finalmente, el valor de C.B.R. al 100% de la Máxima Densidad Seca fue de 17.87% el cual representa la resistencia al esfuerzo cortante con respecto a la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra patrón (el cual es de 1000 Lb/pulg<sup>2</sup> ó 70.31 Kg/cm<sup>2</sup>), expresado en porcentaje. El C.B.R. al 95% de la Máxima Densidad Seca fue de 9.69%, representa el valor adoptado para el diseño propiamente dicho de pavimentos, más no el valor del C.B.R. al 100% de la M.D.S.

#### 3.4.3.1.4. *Determinación del Cbr de Diseño (Terreno de Fundación)*

El criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, para que el 60, el 75 o el 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que él, esto es, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento, como se muestra en la Tabla N° 28.

Tabla N° 28: *Límites para la Selección de Resistencia*

<b>NÚMERO DE EJES DE 8.2 Tn EN EL CARRIL DE DISEÑO (N)</b>	<b>PERCENTIL A SELECCIÓN PARA HALLAR LA RESISTENCIA</b>
< 10 <sup>4</sup>	60.00 %
10 <sup>4</sup> – 10 <sup>6</sup>	75.00 %
> 10 <sup>6</sup>	87.50 %

FUENTE: *Montejo Fonseca A., 2002, pág. 68*

Tomando los datos de los ensayos realizados en las calicatas, respecto al C.B.R. al 95% de la M.D.S. (%), podemos determinar el valor del C.B.R. de diseño para el terreno de fundación, el cual será un dato de mucha utilidad en los diseños posteriores. En nuestro caso tenemos un  $ESAL = 121361.72 = 0.12 \times 10^6$ , el cual corresponde a un percentil de 75 %.

Para determinar el CBR de Diseño, se ordena los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno. Este proceso se puede apreciar en la Tabla N° 29.

Tabla N° 29: *Determinación del CBR de Diseño*

<b>CBR (DE MENOR A MAYOR)</b>	<b>N° DE CBR IGUALES O MAYORES</b>	<b>% DE RESULTADOS IGUALES O MAYORES</b>
6.88	3	100.00%
7.17	2	66.67%
9.69	1	33.33%

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

Se dibuja un gráfico que relacione los valores de C.B.R. con los porcentajes anteriormente calculados (Figura N° 29) y en la curva resultante se determina el C.B.R. para el percentil elegido que, para este caso, según los datos de ensayos de laboratorio con respecto a los CBR's obtenidos y con los datos del estudio tránsito, debe ser 75%, al cual le corresponde un CBR de diseño es de 7.02 %.



Figura N° 29: Cálculo del CBR de Diseño  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

Lo cual nos determina un CBR para nuestro estudio de 7.02% al 95% de la máxima densidad seca.

#### 3.4.3.2. *Ubicación de Canteras*

Los lugares donde se encuentran ubicadas las canteras y una descripción de las mismas, para proveer los materiales a utilizarse en la Sub-base del presente estudio son los siguientes:

- ✓ **Cantera Ichu.** - Cantera de material granular para Base y Sub Base, ubicado a 16.5 Km de la ciudad de Puno. Se usará para la mezcla de suelos, resultando un material apto para Base y Sub Base de la estructura del pavimento. En actual explotación; el sector de la cantera pertenece al poblado de Ichu.
- ✓ **Cantera Cutimbo (rio).** - Cantera de material Hormigón para Base y Sub Base, ubicado a 23 km de la ciudad de Puno. Se usará para la mezcla de suelos, resultando un material apto para Base y Sub Base de la estructura del pavimento. En actual explotación.

## TRABAJOS EN CAMPO

Se ha realizado la extracción del material de las canteras mencionadas anteriormente, para realizar los respectivos ensayos en laboratorio y verificar si cumplen con los parámetros impuestos para su diseño; la extracción de la muestra alterada se realizó aprovechando los cortes existentes de la cantera. Se tomaron muestras alteradas.



*Figura N° 30: Extracción de material de la Cantera Cutimbo  
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo*



*Figura N° 31: Extracción de material de la Cantera Ichu*  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

### **3.4.3.3. Resultados de Estudios Geotécnicos de Canteras**

En la siguiente tabla, se muestra los resultados de los ensayos, realizados para cada cantera: Ichu y Cutimbo.

*Tabla N° 30: Resultados de los Ensayos de Canteras*

<b>TIPO DE ENSAYO</b>	<b>CANTERA ICHU</b>	<b>CANTERA CUTIMBO</b>
Humedad Natural (%)	7.35	6.20
Clasificación AASHTO	A-1-b (0)	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	GC-GM	GW

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



#### **3.4.3.4. Interpretación de Resultados de Canteras**

##### **CANTERA ICHU**

Ubicada en la comunidad campesina de Ahuayllani en Ichu, el cuál presenta una humedad natural de 7.35%. Según la Clasificación AASHTO le corresponde un A-1-b (0) lo cual significa que el material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no plástico o de baja plasticidad. Por otro lado, según la clasificación SUCS le corresponde la clasificación Grava Limosa GC-GM y por poseer más del 15% de arena se le denomina Grava Limo-Arcillosa con Arena.

##### **CANTERA CUTIMBO**

Ubicada en el río Cutimbo del Centro Poblado de Cutimbo, el cuál presenta una humedad natural de 6.20%. Según la Clasificación AASHTO le corresponde un A-1-a (0) lo que significa que el material típico de este grupo es una mezcla bien graduada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina, y un ligante de suelo no plástico o de baja plasticidad, con o sin ligante. Por otro lado según la clasificación SUCS le corresponde la clasificación de Grava bien graduada GW y por poseer más del 15% de arena se le denomina Grava bien graduada con Arena.

#### **3.4.3.5. Mezcla de Suelos para Sub-Base**

A continuación, se muestran los requerimientos granulométricos para la Sub Base granular, especificadas en la norma EG-2013 y NTP CE.010 de Pavimentos Urbanos, la mezcla de suelos debe cumplir la gradación “A”, que es la que corresponde a nuestra zona según a la Altitud del Proyecto.

En la siguiente tabla se puede apreciar el resumen del porcentaje de suelo que pasa a través de diversos tamices de los suelos de la Cantera Ichu y Cutimbo y la gradación que especifica nuestra norma peruana para la Subbase.

Tabla N° 31: *Gradación de material de Canteras para la mezcla de suelos*

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	SUELO "A" (C. Ichu)	% QUE PASA		
			SUELO "B" (C. Cutimbo)	ESPECIFICACIÓN	
				MÍNIMO	MÁXIMO
2"	50.8	100	100	100	100
3/8"	9.525	61.98	57.78	30	65
N° 4	4.76	51.5	42.22	25	55
N° 10	2	35.77	24.49	15	40
N° 40	0.426	22.03	7.05	8	20
N° 200	0.074	14.4	1.8	2	8

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

Verificando la granulometría de ambas canteras, apreciamos que estas no cumplen con la especificación, por lo que se procede con la combinación de suelos por el método gráfico, lo cual se muestra a continuación:

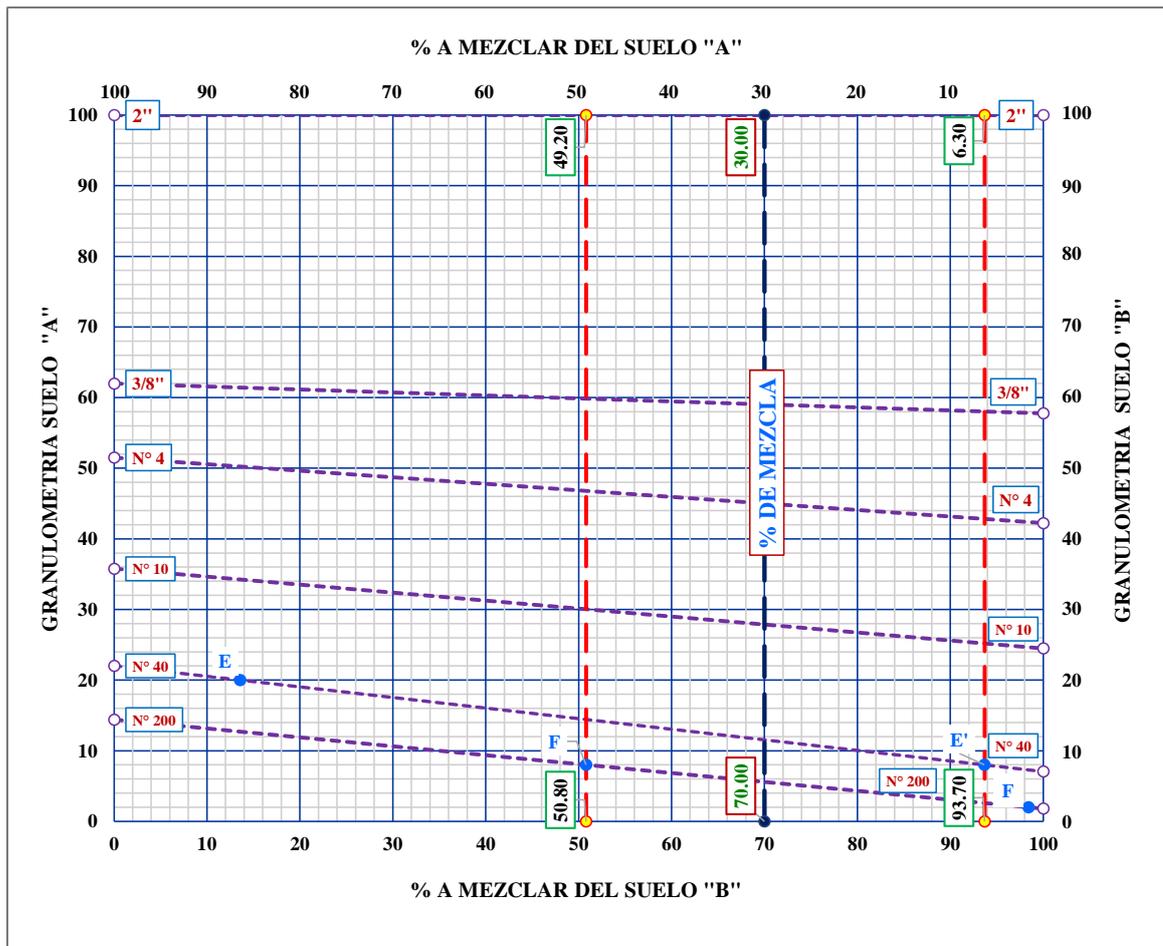


Figura N° 32: Método gráfico de mezcla de suelos  
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo al gráfico anterior realizamos el cálculo de los resultados, obteniendo:  
30% de la Cantera Ichu + 70% de la Cantera Cutimbo.

### 3.4.3.6. Resultados de los estudios geotécnicos de la mezcla de suelos

El valor del CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca fue de 74.57% el cual representa la resistencia al esfuerzo cortante con respecto a la resistencia al esfuerzo cortante de una muestra patrón (el cual es de 1000 Lb/pulg<sup>2</sup> ó 70.31 Kg/cm<sup>2</sup>), expresado en porcentaje. Este valor del CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca fue de 46.25%, el que representa el valor adoptado para el diseño propiamente dicho de pavimentos, más no el valor del CBR al 100% de la M.D.S.

Los resultados de los límites de consistencia para la mezcla de suelo son “N.P.” (No Presenta), lo cual indica que este suelo no es cohesivo, por lo tanto, es un suelo granular y que no posee límites de consistencia.

### 3.4.4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍAS CONVENCIONALES

#### 3.4.4.1. *Diseño estructural de Pavimento Rígido mediante la metodología AASHTO*

##### 93

La fórmula que indica la guía AASHTO 93 para el diseño del espesor de la losa del pavimento rígido se expresa como:

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

Donde:

- $W_{18}$  : Tráfico (Número de ESAL's)
- $Z_R$  : Desviación Estándar Normal
- $S_0$  : Error Estándar Combinado de la predicción del tráfico
- $D$  : Espesor de la losa del pavimento (en pulg.)
- $\Delta PSI$  : Diferencia de Serviciabilidad ( $\Delta PSI = P_o - P_t$ )
- $P_t$  : Serviciabilidad Final
- $S'_c$  : Módulo de Rotura del Concreto (psi)
- $C_d$  : Coeficiente de Drenaje
- $E_c$  : Módulo de Elasticidad de Concreto (en psi)
- $k$  : Módulo de Reacción de la Sub rasante en pci (psi/pulg).



Realizada la teoría respecto al diseño AASHTO 93, se determinó los valores obtenidos para cada variable de la ecuación:

**A. Tráfico (Número de ESAL's)  $W_{18}$**

Del estudio de tránsito en el Jr. Emilio Valdizan, se obtuvieron los siguientes datos

- Periodo de diseño 20 años
- $W_{18} = 121,361.72$  ejes equivalentes de 18000 lb o 8.2 Tn

**B. Desviación Estándar Normal**

Determinamos el nivel de confiabilidad R (probabilidad que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación)

Tabla N° 32: *Confiabilidad Según Tipo de Pavimento*

<b>Tipo de pavimento</b>	<b>Confiabilidad</b>
Autopistas	90%
Carreteras	75%
Rurales	65%
Zonas industriales	60%
Urbanas principales	55%
Urbanas secundarias	50%

FUENTE: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*

Para la estimación del valor de confiabilidad según la Tabla N° 32 y considerando nuestra vía urbana como secundaria, optamos por un R de 50%.

Determinamos la desviación estándar  $Z_r$

Tabla N° 33: *Valores de la Desviación Normal Estándar  $Z_r$*

<b>Confiabilidad R</b>	<b>Desviación estándar <math>Z_r</math></b>
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524



75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

FUENTE: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*

Para determinar el valor de desviación estándar  $Z_r$ , usaremos nuestro nivel de confiabilidad  $R= 50\%$  optado, y según la Tabla N° 33, para un 50% de confiabilidad se tiene una desviación estándar de:

$$Z_r = 0.000$$

### C. Error Estándar Combinado de la predicción del tráfico

Tabla N° 34: *Valores de Error Combinado So*

Pavimento rígido	0.30-0.40
En construcción nueva	0.35
En sobre capas	0.4

FUENTE: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*

Para la determinación del error estándar combinado de la predicción de tráfico, se utilizará la Tabla N° 34, la cual indica que para una construcción nueva se opta por:



$$S_o = 0.35$$

#### **D. Diferencia de Serviciabilidad ( $\Delta PSI = P_o - P_t$ )**

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía. La medida primaria de la serviciabilidad es el Índice de serviciabilidad presente. El procedimiento de diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) para varios niveles de tráfico y cargas de ejes.

Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo del deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para las carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para vías menos importantes sea de 2.0; para el valor del índice de serviciabilidad inicial la AASTHO llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto.

Por lo tanto, tenemos:

$$P_o = 4.5$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2.5$$

#### **E. Módulo de Rotura del Concreto ( $S^c$ )**

Es una propiedad del concreto que influye, notablemente, en el diseño de los pavimentos rígidos de concreto. Debido a que los pavimentos de concreto trabajan, principalmente a flexión, es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que



se le conoce como resistencia a la flexión por tensión ( $S'c$ ) ó módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Por lo tanto, tenemos:

$$S'c = 32F'c^{1/2}$$

Para determinar el módulo de rotura se realizó el diseño de mezclas de concreto en el ANEXO C para un  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , teniendo una resistencia de  $F'c = 212 \text{ kg/cm}^2$ , a los 28 días, reemplazando el valor, se calcula un módulo de rotura de:

$$S'c = 465.9 \text{ Psi ó } 32.8 \text{ kg/cm}^2$$

#### **F. Coeficiente de Drenaje**

Para determinar el coeficiente de drenaje se utilizará la Tabla N° 14, el cual indica que para el caso, los materiales a ser usados tienen una calidad regular de drenaje y está expuesto en un 30% durante un año normal de precipitaciones, se determina un valor de coeficiente de drenaje:

$$Cd = 0.90$$

#### **G. Módulo de Elasticidad de Concreto (en psi)**

Para el cálculo del módulo de elasticidad de concreto se utilizará las fórmulas detalladas a continuación, así mismo se calculará para un  $F'c = 212 \text{ kg/cm}^2$  según nuestro diseño de mezclas adjunto como anexo C.

$$Ec = 5500 \times F'c^{1/2} \text{ (En MPa)}$$

$$Ec = 17000 \times F'c^{1/2} \text{ (En Kg/cm}^2\text{)}$$

$$Ec = 247,523.74 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ec = 14.22334 \times 247,523.74 \text{ psi}$$



$$E_c = 3'520,614.26 \text{ Psi } \text{ ó } 247,523.69 \text{ kg/cm}^2$$

### H. Módulo de Reacción de la Sub rasante en pci (psi/pulg).

Se han propuestos algunas correlaciones de “K” a partir de datos de datos de CBR de diseño de la Sub Rasante, siendo una de las más aceptadas por ASSHTO las expresiones siguientes:

$$K = 2.55 + 52.5 (\text{Log CBR}) \quad \text{Mpa/m} \quad \text{CBR} \leq 10$$

$$K = 46.0 + 9.08 (\text{Log CBR}) \quad \text{Mpa/m} \quad \text{CBR} > 10$$

Para nuestra CBR de subrasante según nuestro estudio de suelos realizado al Jr. Emilio Valdizan

$$\text{CBR} = 7.02\%$$

$$K = 46.98$$

### I. ESPESOR DE LOSA DE PAVIMENTO (EN PULGADAS)

Es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño de una estructura de pavimento, en ese caso mediante el método AASHTO 93, según formula:

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \text{Log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \text{Log}_{10}\left[215.63 \frac{S'_c \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})}\right]$$



Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos un espesor de losa de concreto:

$$D=5.355 \text{ PULGADAS}$$

$$D= 13.60 \text{ cm}$$

Espesor de losa de concreto recomendable será: **D= 14 cm**

#### **J. ESPESOR DE LA SUB-BASE**

Para el cálculo del espesor de la Subbase, se calculará con la ayuda de un monograma. Para lo cual se cuenta con datos. CBR = 7.02%, vehículo más pesado que transita por la vía; del estudio de tráfico se tiene el vehículo "C3".

Tabla N° 35: Carga por Eje Tipo de Vehículo C3

<b>TIPO</b>	<b>EJE</b>	<b>CARGA POR EJE(lb)</b>	<b>CARGA POR LLANTA(lb)</b>
C3	1	15,418.50	7,709.25
	2	39,647.58	9,911.89

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

Se tomará el mayor valor de la carga por llanta del eje más pesado del vehículo C3 (vehículo más pesado que circula por la vía de estudio) el cual corresponde a:

EJE 2= 9,911.89 lb

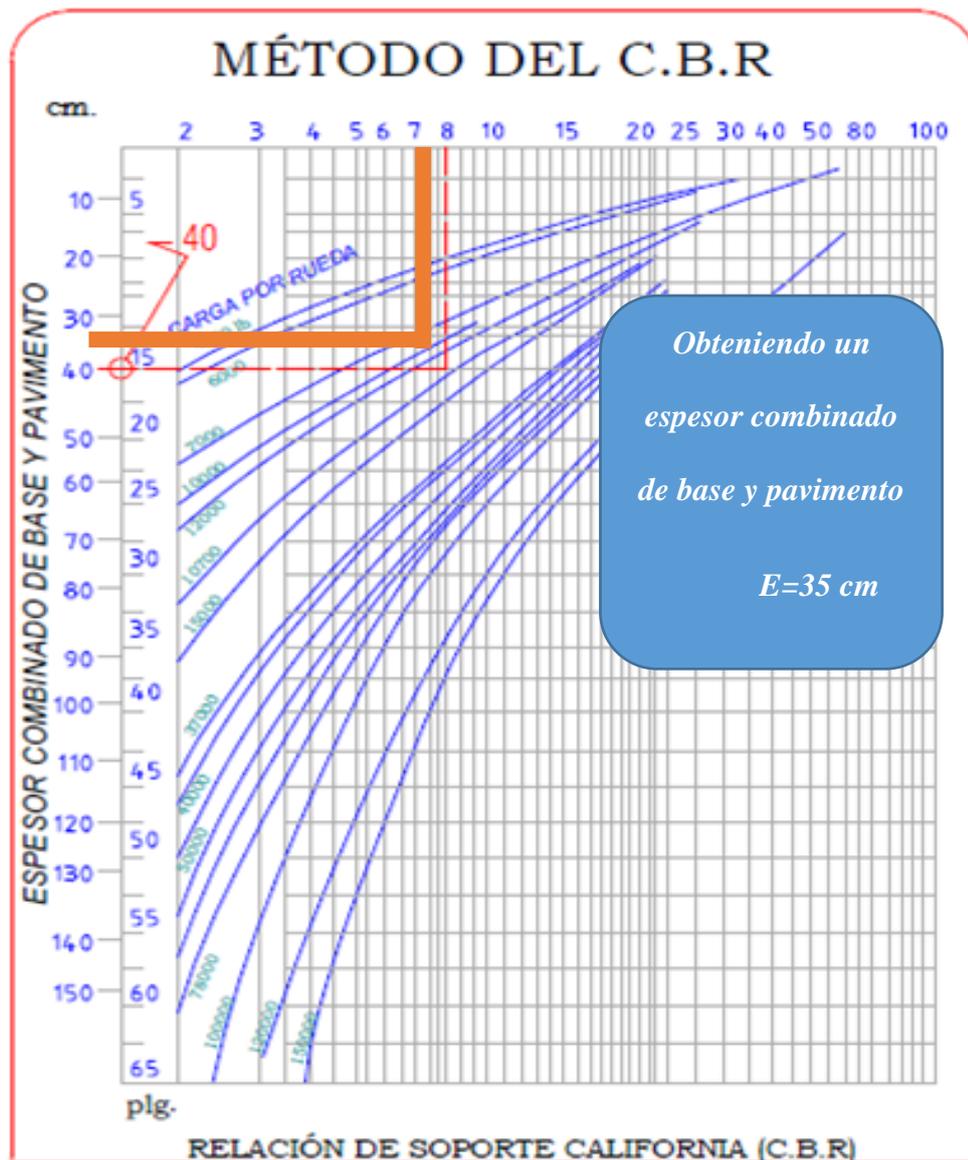


Figura N° 33: Cálculo de Espesor de Pavimento

FUENTE: AASHTO 93

Con los datos de diseño y utilizando el gráfico adjunto se obtiene un espesor combinado total de Sub base y losa de **35** cm. Teniendo definido el espesor de losa de 15 cm, tenemos un espesor de subbase de 20 cm.

Tabla N° 36: *Espesor de Capas de Pavimento según Diseño*

CAPA DE PAVIMENTO	ESPESOR (cm)
CAPA DE RODADURA	14
SUB BASE	20

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

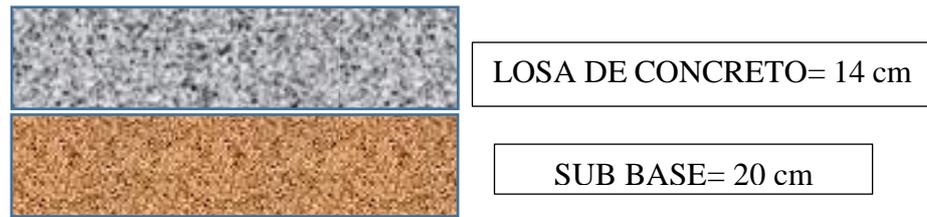


Figura N° 34: Representación Espesores de Pavimento de Diseño según AASHTO  
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 3.4.4.2. Diseño Estructural de Pavimento Rígido Mediante la Metodología Pca 84

Este método de la PCA, releva su propósito en hallar el mínimo espesor de pavimento de concreto (losa de concreto) que dará el más bajo costo anual, tanto inicial como de mantenimiento.

##### 3.4.4.2.1. Criterios de diseño del método de la PCA

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de falla: el criterio de erosión de la sub-base por debajo de las losas y el criterio del esfuerzo de fatiga.

- a. El criterio de erosión de la sub base por debajo de las losas, el cual reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo (erosión del terreno de soporte de la losa de concreto) y diferencias de elevaciones en las juntas.
- b. El criterio del esfuerzo de fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga.

##### 3.4.4.2.2. Factores de diseño del método de la PCA.

###### Módulo de rotura del concreto ( $M_r$ ).

Para determinar la resistencia a la flexión de concreto consideramos lo que se recomienda en nuestro país, como mínimo 34 kg/cm<sup>2</sup>.

$$M_r = 34 \text{ Kg/cm}^2 = 483.59 \text{ psi.}$$

###### Módulo de Reacción de la Sub Rasante (Modulo K).



$K = 46 \text{ Mpa/m ó } 170 \text{ lb/pulg}^3 \text{ (pci)}$

### **Periodo de Diseño.**

Dado que el tránsito muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un período muy largo, el período de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el diseño de pavimentos. Para el caso de nuestro proyecto se asume un periodo de diseño de 20 años

### **Numero de repeticiones esperadas para cada eje o N° de vehículos en carril de diseño.**

#### **- Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

El método de diseño de la PCA recomienda que se considera únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprecie todo el tráfico ligero como automóviles. Sin embargo, no es tan importante el hacer caso a esta recomendación debido a que el tráfico ligero no influye en el diseño de espesores. Se realizó un aforo vehicular durante 7 días obteniendo el tránsito promedio diario (TPD) de 109 vehículos por día, del cual se tiene un porcentaje perteneciente a los vehículos livianos 88% y vehículos pesados en un 12% (camiones y buses), y considerando que se tiene un tasa de crecimiento  $r = 4.0 \%$

#### **- Factor de Crecimiento Anual (FCA)**

Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente del período de diseño en años y de la tasa de crecimiento anual. Con estos datos podemos saber el factor de crecimiento de manera inmediata con la ayuda del siguiente cuadro que presenta relaciones entre tasas de crecimiento anual y factores de crecimiento anual para períodos de diseño de 20 y 40 años.



Tabla N° 37: *Tasas anuales de crecimiento con sus factores de proyección*

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 ½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 ½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 ½	1.4	2
4	1.5	2.2
4 ½	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 ½	1.7	2.9
6	1.8	3.2

FUENTE: *Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca (2002).*

Para una tasa de crecimiento de 4% y un periodo de diseño de 20 años, se tiene un factor de proyección igual a 1.5.

#### **- Factor de sentido**

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de sentido de 0.5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.0

En el caso de vialidades de doble sentido generalmente se asume que el tránsito (en sus diferentes tipos y pesos) viajan en igual cantidad para cada dirección (FS=0.5). Sin embargo, esto puede no aplicar en algunos casos especiales en que muchos de los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos, Si éste es el caso, se deberá hacer el ajuste apropiado y tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

Para nuestro caso, se tiene un factor de sentido de 1.0.

### - Factor de carril

Después de verse afectado el tráfico por el factor de sentido, también debemos de analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril. El factor de carril nos va a dar el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el carril con más tráfico. Para esto, la PCA recomienda emplear la siguiente figura en donde este factor depende del número de carriles por sentido o dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

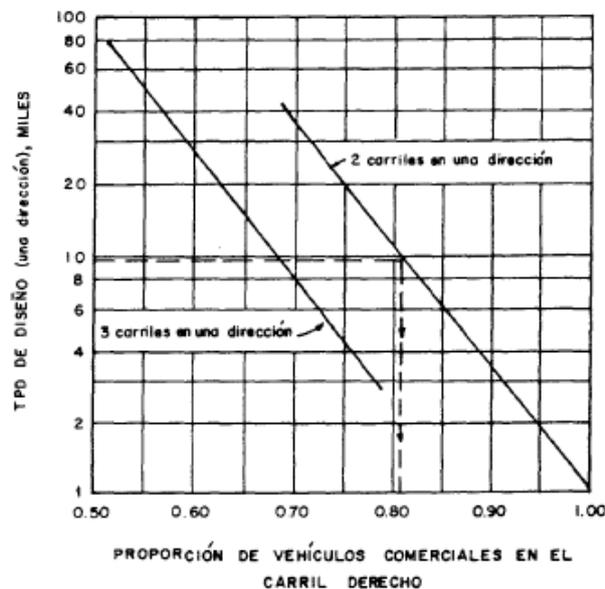


Figura N° 35: Porcentaje de camiones en el carril de diseño.  
FUENTE: *Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca (2008)*.

Para nuestro caso el factor carril es igual a 1.00.

### - Repeticiones Esperadas

$$Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times Pd \times FCA \times 365$$

Dónde:

- $Re = NVC$  (N° de vehículos comerciales en carril de diseño)
- TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual.



- % Te = % del TPDA para cada tipo de eje.
- FS = Factor de Sentido.
- FC = Factor de Carril
- Pd = Período de Diseño.
- FCA = Factor de Crecimiento Anual.
- 365 = Días de un año.

Reemplazando valores en la ecuación anterior, tenemos para el periodo de diseño estimado de 20 años:

$$Re = 109 \times 0.12 \times 1.00 \times 1.00 \times 20 \times 1.50 \times 365 = 143, 226 \text{ vehículos pesados.}$$

#### **- Factor de Seguridad de Carga (FSC).**

Una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje.

En nuestro caso se tiene un tráfico bajo, por lo que el Factor de seguridad de carga es igual a 1.0

#### **- Esfuerzo Equivalente (carga equivalente) y Factor de Erosión.**

Para cálculo de valores de esfuerzo equivalente y el factor de erosión es según las características y condiciones que se toman para la estructura vial como por ejemplo la consideración de refuerzos, bermas de concreto y sistemas de transferencia de cargas (dovelas), los valores resultantes por el análisis de las tablas de correlación que se toman en cuenta, son representados en la tablas de diseño. El factor de relación de esfuerzos se obtiene mediante la relación entre el esfuerzo equivalente correspondiente y el módulo de rotura (MR).



### 3.4.4.2.3. *Proceso de Cálculo*

1° Se ordenan los pesos por eje de la distribución vehicular determinados tomando en cuenta la categorización del tráfico en función de a la carga por eje, por miles de ejes comprendidos en el rango de una tonelada. Si a partir de un rango de carga, el número de pasadas es ilimitado, no es necesario obtener el porcentaje de daño en las columnas 5 y 7.

2° En la columna 2, se registran los pesos por eje corregidos por el factor de seguridad FSC, considerando el mayor valor del rango, toma en cuenta que la distribución es en forma decreciente.

3° Los valores de la columna 3, se registran las repeticiones esperadas para cada rango de carga, y se calcula de la siguiente manera:

*Columna 3*

$$= \frac{\text{Num. de ejes por cada } 1000V.C. \times \text{Num. esperado de V.C. durante el Pd}}{1000}$$

4° Las repeticiones permisibles por fatiga se obtienen utilizando la figura N° 36, con condiciones de juntas sin pasadores y con berma de concreto con consideración de la carga por eje simple y el factor de relación de esfuerzos para ejes simples, y para ejes tándem respectivamente los valores se anotan en la columna 4.

5° Los porcentajes de fatiga de la columna 5, se obtienen dividiendo los valores de la columna 3, entre los valores de la columna 4, en porcentajes. Al final se suman los valores los daños parciales y se anotan al pie de la columna 5.

6° Las repeticiones permisibles por Erosión de la columna 6, se obtienen utilizando la figura N° 37. Según las condiciones que se presenten en la estructura del



pavimento, al que se ingresa con los factores de erosión y cargas por ejes (para ejes simples y ejes tándem).

7° Los porcentajes de erosión de la columna 7, se obtienen dividiendo los valores de la columna 3, entre los valores de la columna 6, que se presentan en porcentajes. Al igual que en el análisis por fatiga, se suman los porcentajes de los daños parciales y se anotan al pie de la columna 7. De acuerdo a los resultados obtenidos, el espesor asumido para las losas de concreto, resulta adecuado y prevalece el criterio de análisis de fatiga y erosión.

### **Análisis por Erosión**

Este sirve para limitar los efectos de deflexión que se producen en los bordes de las losas, juntas y esquinas del pavimento; también para tener control sobre la erosión que se produce en la Sub base o Sub rasante y los materiales que conforman las bermas.

### **Análisis por Fatiga**

Esta sirve para mantener los esfuerzos que se producen dentro de los límites de seguridad, ya que el paso de cargas sobre las losas del pavimento produce esfuerzos que se convierten en agrietamientos.

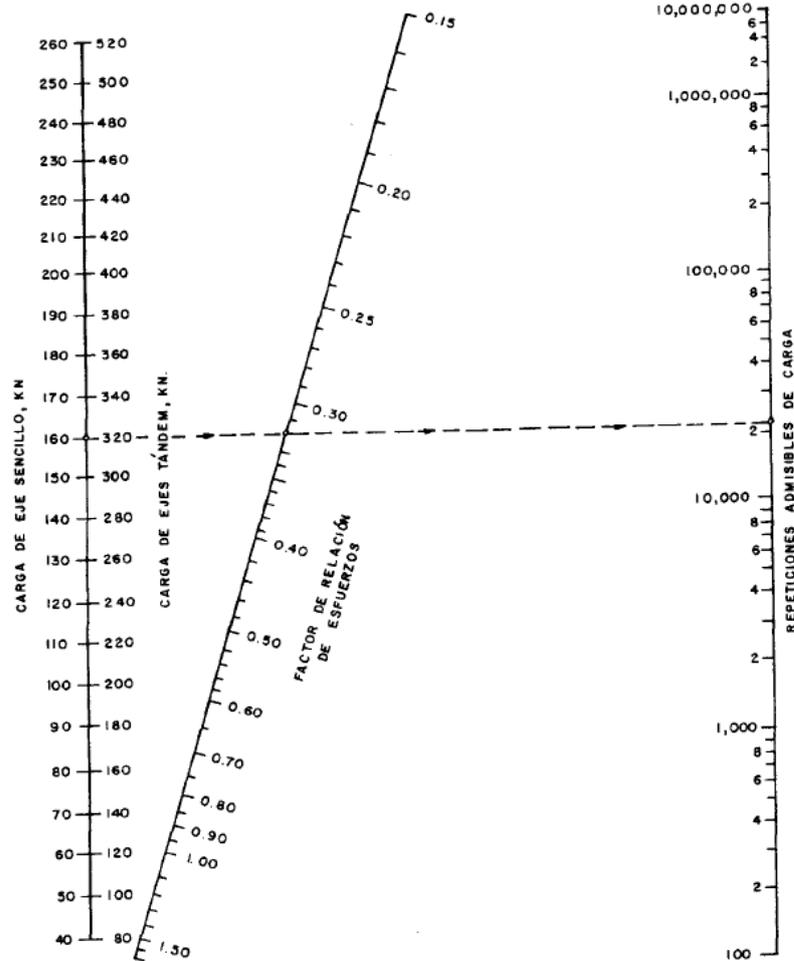


Figura N° 36: Análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de concreto).

FUENTE: *Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca (2008).*

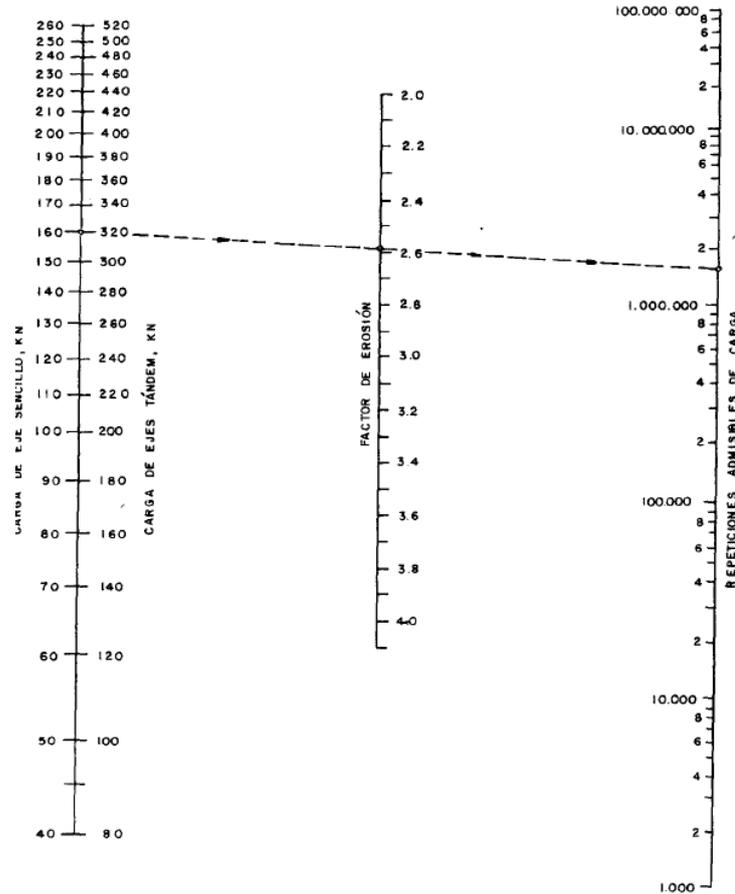


Figura N° 37: Análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión.

FUENTE: Ingeniería de Pavimentos, Montejo Fonseca (2008).

Tabla N° 38: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de  $E=15$  cm.

PROYECTO								
"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"								
Alternativa 1	Espesor estimado		15.00 cm	Factor de Seguridad de Carga		1.00		
	Modulo de rotura		34.0 kg / cm <sup>2</sup>	Junta con pasadores		No		
	K subrasante		4.69 kg / cm <sup>3</sup>	Berma de Concreto		Si		
	K subrasante-subase		6.57 kg / cm <sup>3</sup>	Posee Subase		Si		
	Periodo de Diseño		20.00 Años	Tipo		Granular		
Numero de Camiones		143226	Espesor Subbase [cm]		20.00			
Ejes por cada 1000 camiones	Cargas de ejes	Cargas por S. C.	F.	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
	1	2	3	4	Repeticiones admisibles	Consumo de fatiga	Repeticiones	Daños por erosión
-	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Eje simple</b>								
8	Esfuerzo equivalente:		19.96					
9	Factor de relación de Esfuerzo:		0.59	10	Factor de erosión		2.89	
5.56	11.0	11.00	796.34	264	301.44	137,276	0.58	
36.59	7.0	7.00	5240.64	414,223	1.27	3,081,512	0.17	
Suma parcial					302.71		0.75	
<b>Eje tandem</b>								
11	Tensión equivalente		16.95					
12	Factor de relación de tensión		0.50	13	Factor de erosión		2.87	
42.48	18.0	18.00	6084.24	136,470	4.46	553,842	1.10	
Suma parcial					4.46		1.10	
Consumo de fatiga			307.17	Daños por erosión			1.85	

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 39: *Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=16 cm.*

PROYECTO		"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"					
Alternativa 2	Esesor estimado	16.00 cm		Factor de Seguridad de Carga	1.00		
	Modulo de rotura	34.0 kg / cm <sup>2</sup>		Junta con pasadores	No		
	K subrasante	4.69 kg / cm <sup>3</sup>		Berma de Concreto	Si		
	K subrasante-subase	6.57 kg / cm <sup>3</sup>		Posee Subase	Si		
	Periodo de Diseño	20.00 Años		Tipo	Granular		
	Numero de Camiones	143226		Espesor Subbase [cm]	20.00		
Ejes por cada 1000 camiones	Cargas de ejes	Cargas por S. C.	F.	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión
					Repeticiones admisibles	Consumo de fatiga	Repeticiones Daños por erosión
-	1	2		3	4	5	6
<b>Eje simple</b>							
8	Esfuerzo equivalente:		18.65				
9	Factor de relación de Esfuerzo:		0.55		10	Factor de erosión	
5.56	11.0	11.00	796.34	1,080	73.75	223,815	0.36
36.59	7.0	7.00	5240.64	2,476,255	0.21	8,114,361	0.06
Suma parcial					73.96		0.42
<b>Eje tándem</b>							
11	Tensión equivalente		16.84				
12	Factor de relación de tensión		0.50		13	Factor de erosión	
42.48	18.0	18.00	6084.24	149,978	4.06	888,970	0.68
Suma parcial					4.06		0.68
Consumo de fatiga				78.02	Daños por erosión		1.10

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

Tabla N° 40: *Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=17 cm.*

PROYECTO		"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"					
Alternativa 3	Esesor estimado	17.00 cm		Factor de Seguridad de Carga	1.00		
	Modulo de rotura	34.0 kg / cm <sup>2</sup>		Junta con pasadores	No		
	K subrasante	4.69 kg / cm <sup>3</sup>		Berma de Concreto	Si		
	K subrasante-subase	6.57 kg / cm <sup>3</sup>		Posee Subase	Si		
	Periodo de Diseño	20.00 Años		Tipo	Granular		
	Numero de Camiones	143226		Espesor Subbase [cm]	20.00		
Ejes por cada 1000 camiones	Cargas de ejes	Cargas por S. C.	F.	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión
					Repeticiones admisibles	Consumo de fatiga	Repeticiones Daños por erosión
-	1	2		3	4	5	6
<b>Eje simple</b>							
8	Esfuerzo equivalente:		17.32				
9	Factor de relación de Esfuerzo:		0.51		10	Factor de erosión	
5.56	11.0	11.00	796.34	4,462	17.85	356,002	0.22
36.59	7.0	7.00	5240.64	ilimitado	0.00	44,016,900	0.01
Suma parcial					17.85		0.24
<b>Eje tándem</b>							
11	Tensión equivalente		14.43				
12	Factor de relación de tensión		0.42		13	Factor de erosión	
42.48	18.0	18.00	6084.24	6,592,812	0.09	1,625,231	0.37
Suma parcial					0.09		0.37
Consumo de fatiga				17.94	Daños por erosión		0.61

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

De los cálculos realizados, por las sumatorias efectuadas tanto por fatiga como por erosión se determina el espesor de la losa de concreto, se considera sobre



dimensionado cuando se aproxima a cero la sumatoria de porcentajes de los análisis y cuando supera el 100%, son considerados inadecuado para el diseño, es cuanto se tiene dos opciones próximos a tomar los valores de los espesores de la losa de concreto que son  $E = 16$  y  $17$  cm, de donde se toma el espesor de  $E = 16$  cm.

### 3.4.4.3. Resumen Diseño de Pavimento Rígido Mediante Metodologías Convencionales (AASHTO 93 Y PCA 84)

Tabla N° 41: Espesor capas de pavimento metodologías convencionales

	MEDIDAS CAPAS DE PAVIMENTO METODOLOGÍA AASHTO 93	MEDIDAS CAPAS DE PAVIMENTO METODOLOGÍA PCA 84	MEDIDAS ADOPTADAS METODOLOGÍAS CONVENCIONALES
ESPESOR			
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	34	36	35
SUBBASE	20	20	20
LOSA DE CONCRETO	14	16	15

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.4.5. METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS

Los valores y parámetros para obtener el espesor se explican a continuación:

Mediante el AASHTO Road Test, de acuerdo a los ensayos a escala realizados, se determinó las siguientes posiciones de carga, son estas zonas, las que sufren la máxima fatiga y el elemento muestra una respuesta mayor, por lo que el análisis que se debe realizar es de acuerdo a estas posiciones de carga y se escoge el modelo de diseño, el que presente una respuesta mayor.

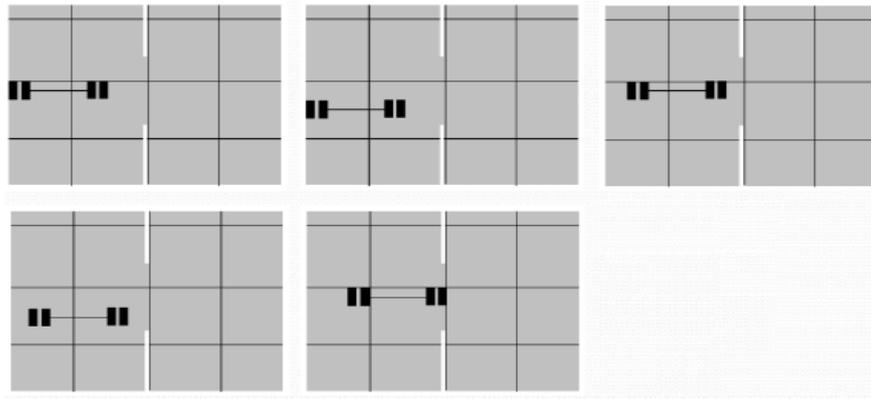


Figura N° 38: Posiciones de ejes de ruedas en un área de pavimento.

FUENTE: Estación y Valverde, 2012, pág. 25

#### 3.4.5.1. Modelación del Suelo

Otro aspecto importante en el diseño TCP es la modelación del suelo. Siempre se ha considerado que las losas de concreto son suficientemente resistentes para soportar las cargas de los vehículos y no soportan tensiones por punzonamiento. En caso de losas gruesas, es preferible utilizar una sub base blanda con (CBR 20%-50 %) para mejorar el apoyo de ésta en el suelo. Al utilizar losas más pequeñas este efecto es menos relevante ya que el voladizo es menor. En casos que se tengan losas con espesores menores a 12 cm, requieren que la base sea más rígida y que colabore con las cargas bajo las ruedas, que producen tensiones de punzonamiento. Es por ello que para estos espesores menores a 12 cm la sub base debe tener una rigidez suficiente para tomar estas cargas con CBR >80 % (Covarrubias, 2008).

#### 3.4.6. APLICACIÓN PROGRAMA SAP2000 PARA CALCULO DE TENSIONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

El procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas TCP y convencionales es el siguiente:

- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de sub rasante

$$\text{CBR} = 7.02\%$$

- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subbase

$$\text{CBR}=74.57\%$$

- Selección del diseño de mezcla

Resistencia a la compresión 212 kg/cm<sup>2</sup>

- Determinación de ejes equivalentes

W18 = **121,361.72** ejes equivalentes de 18000 lb o 8.2 Tn

$$\text{W18}=0.12*10^6$$

- Distribución de cargas

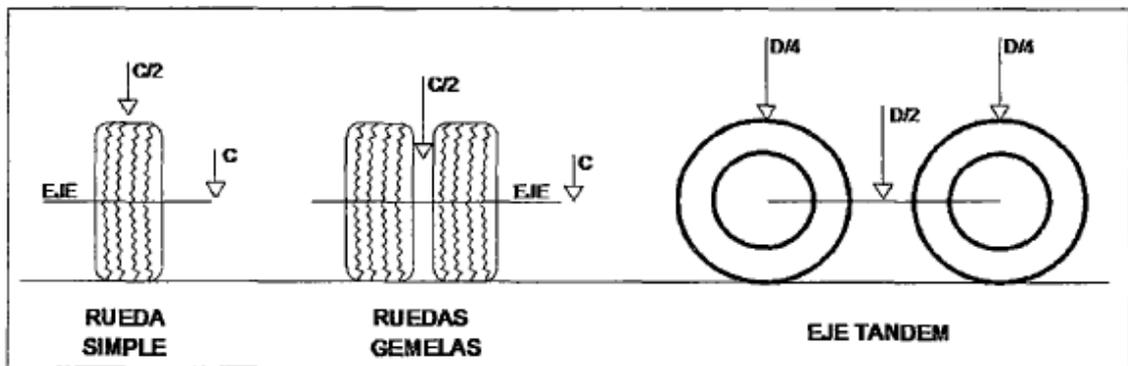


Figura N° 39: Carga de vehículos-acción de ruedas

FUENTE: *Pavimentos industriales, 2010, pág. 16*

**Ejes Simples**, es cada uno del vehículo, que forman un solo apoyo de chasis, en eje simple con rueda simple o ruedas gemelas, la carga  $P=C/2$  siendo “C” la carga por eje.

**Eje tándem**, en cada eje del tándem cada una de las dos ruedas simples o conjunto de dos ruedas gemelas transmitirá  $P=D/4$ , siendo “D” la carga por eje.

Siendo nuestro vehículo más pesado que circula por la vía un C3 (pág. 30)

Según la Tabla N° 3, tenemos  $D = 18$  tn

$$P= 18/4= 4.5 \text{ tn}$$

Estas cargas serán usadas como datos de entrada para el SAP 2000, así como su ubicación exacta en función a las longitudes que fueron tomadas de un camión C3.

- Módulo de rotura  $M_r$  (para concreto  $f_c=212 \text{ kg/cm}^2$ )

$$M_r=465.9 \text{ Psi ó } 32.8 \text{ kg/cm}^2$$

- Modulo elástico del concreto (para concreto  $f_c=212 \text{ kg/cm}^2$ )

$$E_c=3'520,614.26 \text{ Psi ó } 247,523.69 \text{ kg/cm}^2$$

- Aplicación el programa SAP2000 en el diseño de pavimento rígidos

Con los datos recabados se realizarán los cálculos pertinentes para obtener los valores necesarios las cuales serán insertadas como datos en el programa SAP2000 el cual trabaja con elementos finitos. Con todo esto obtendremos tensiones en losas diseñadas con metodologías convencionales y con metodología losas cortas TCP.

### 3.4.6.1. Pasos para el Cálculo de Tensiones en SAP 2000

- Asignación de material de concreto para nuestro caso con  $f_c 212 \text{ kg/cm}^2$

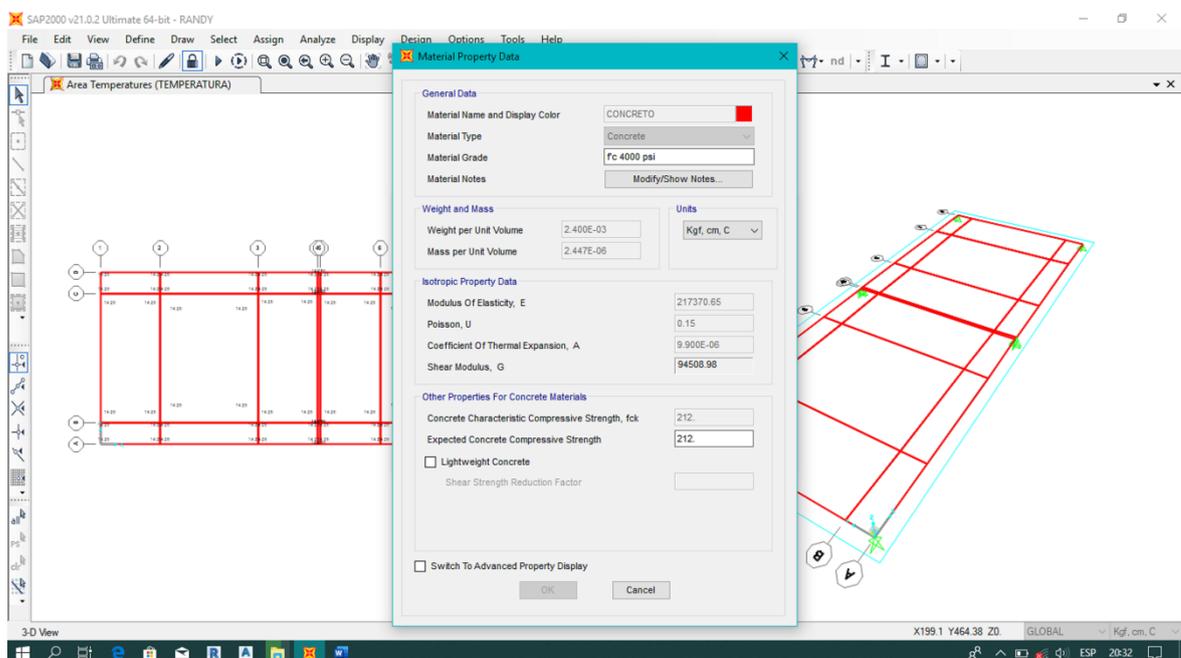


Figura N° 40: Asignación de material en SAP2000  
FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo -SAP2000

- Asignación de la losa en SAP 2000

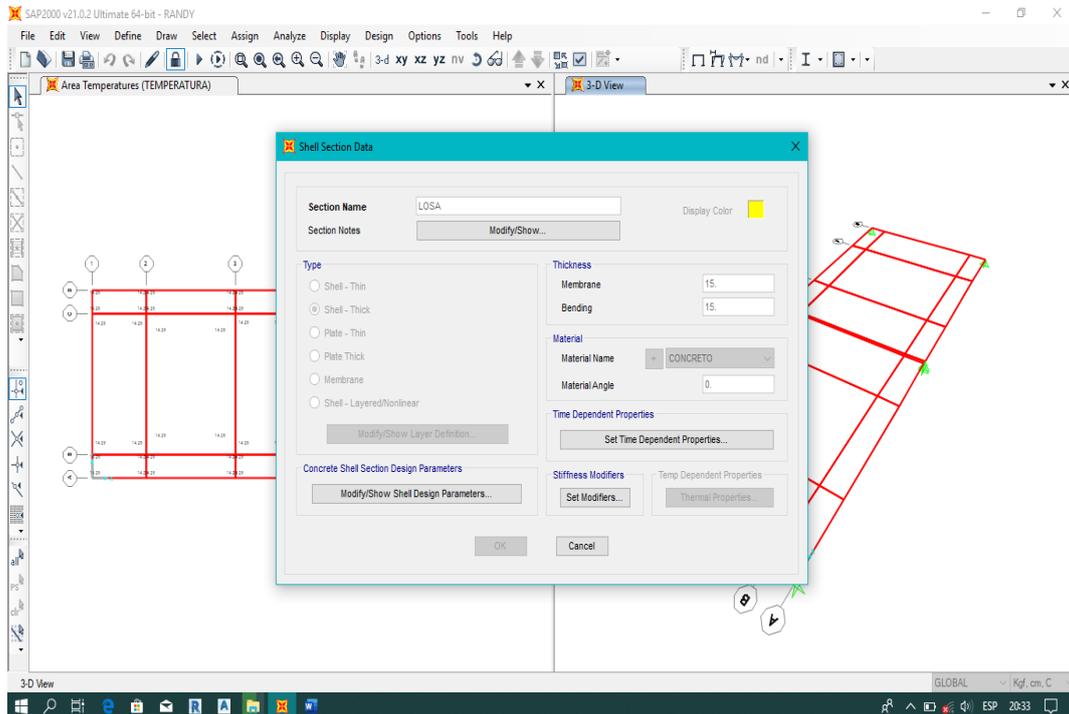


Figura N° 41: Asignación de losa en SAP 2000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo –SAP 2000

- Asignación de la temperatura en SAP 2000 (se consideró promedio de la variación de temperatura de acuerdo a los datos de SENAMHI - Anexo H)

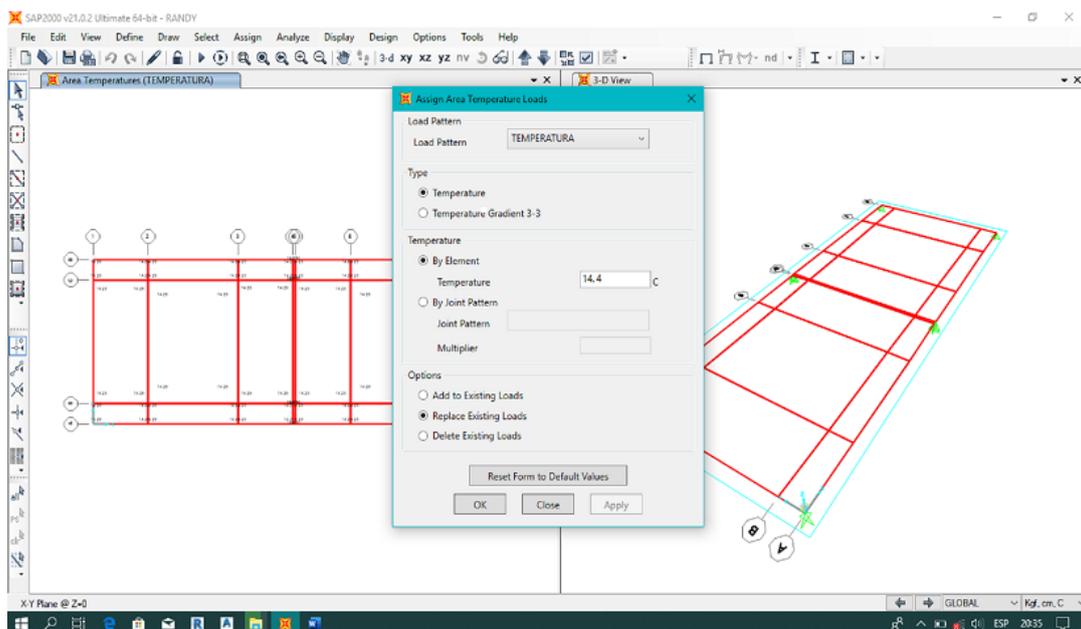


Figura N° 42: Asignación de temperatura en SAP 2000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo –SAP 2000

- Asignación de la carga puntual del vehículo en cada llanta

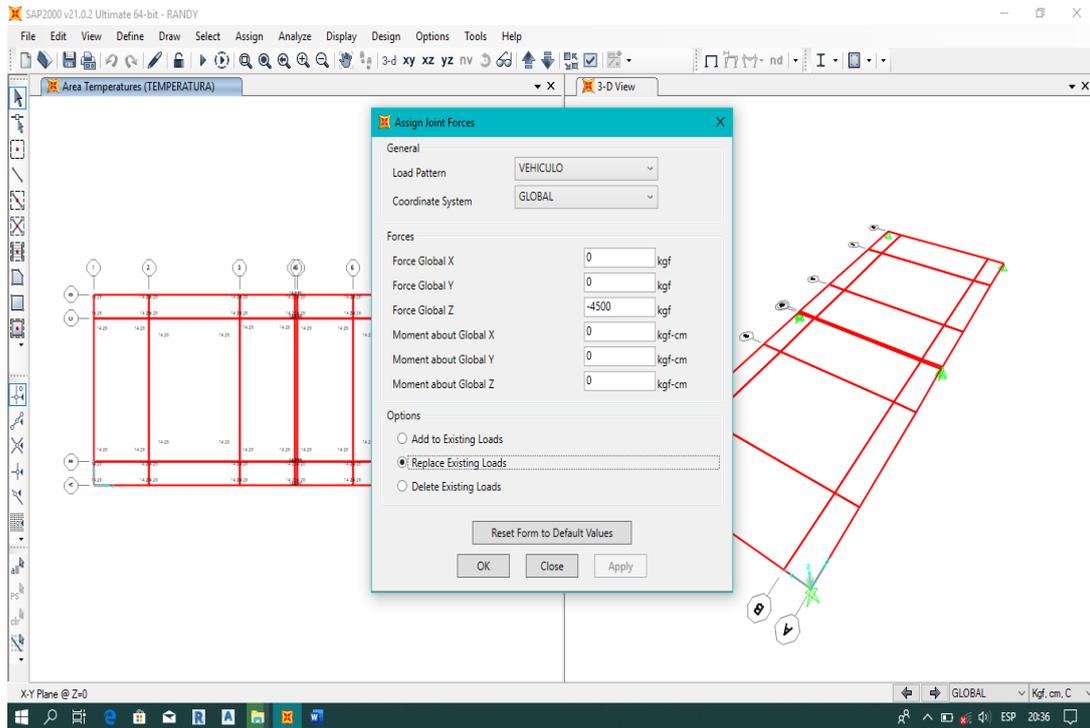


Figura N° 43: Asignación de carga en SAP 2000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo – SAP 2000

- Asignación del coeficiente de Balasto (modulo “K” reacción de la subrasante)

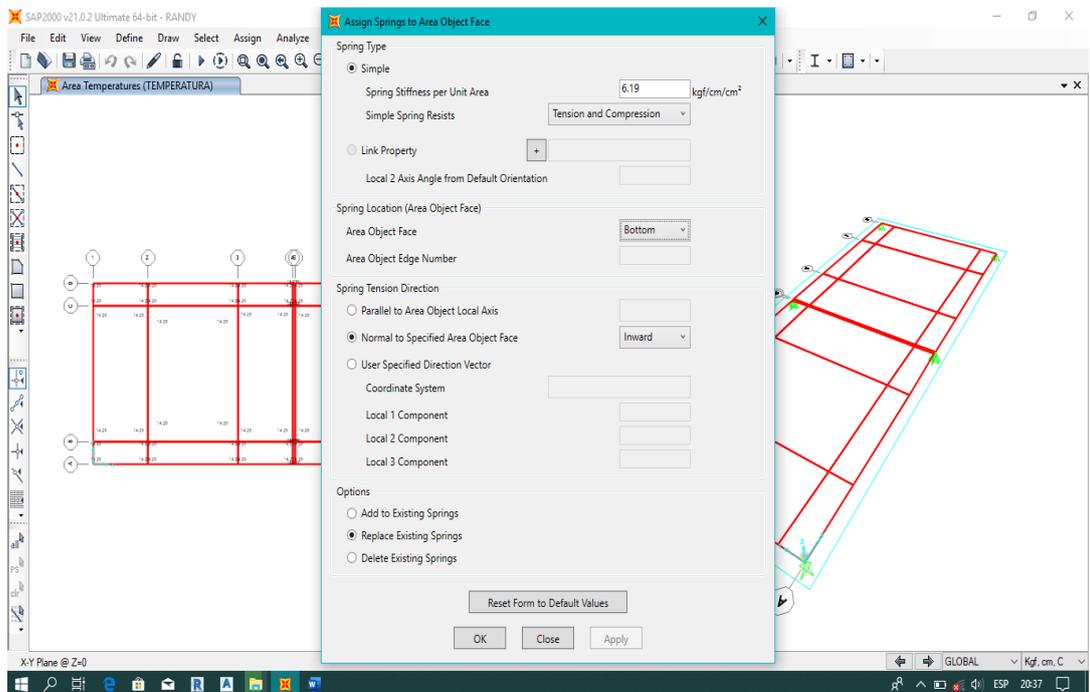


Figura N° 44: Asignación de coeficiente de Balasto “k”- SAP 2000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo – SAP 2000

- Combinación de cargas en SAP 2000

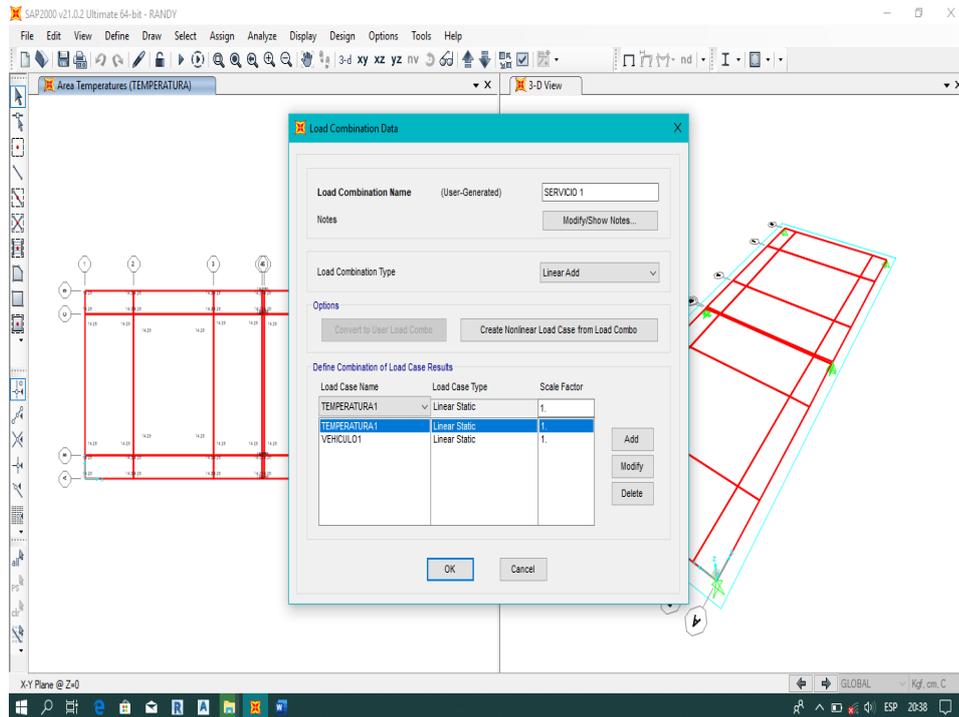


Figura N° 45: Combinación de cargas SAP 2000

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo –SAP 2000

- Cálculo de tensión y deformación según dimensiones de diseños convencionales.

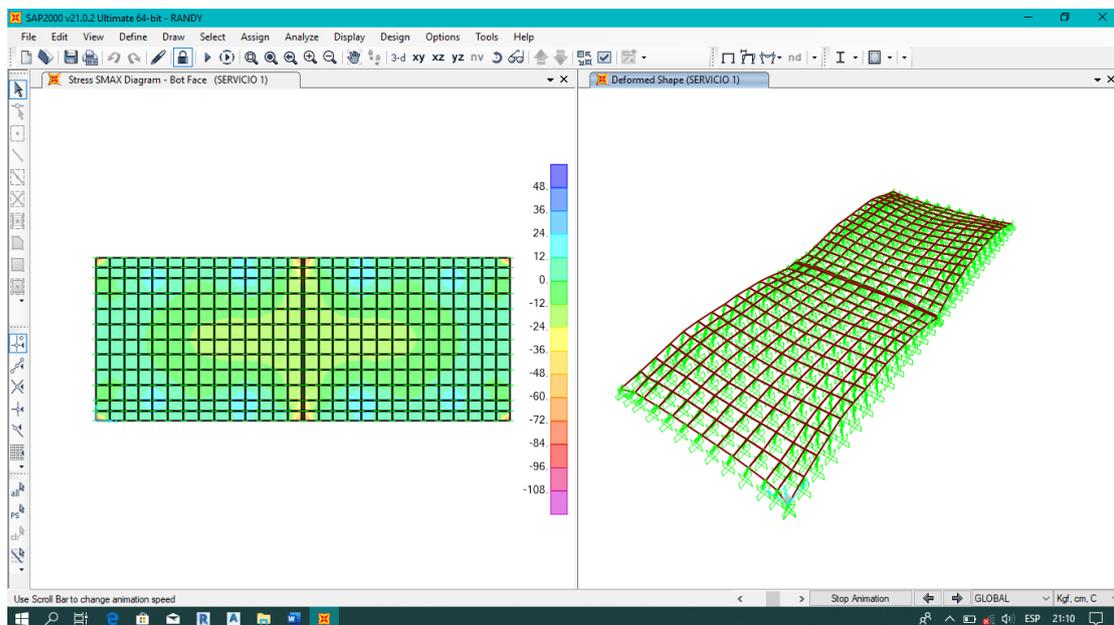


Figura N° 46: Cálculo tensiones en pavimentos convencionales

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo –SAP 2000

Se tiene como datos:

Largo de losa = 300 cm

Ancho de losa = 240 cm

Altura de losa = 15 cm

$K = 6.19 \text{ kg/cm}^3$

$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = 14.40 \text{ } ^\circ\text{C}$

Se obtiene como resultados:

Tensión = 25.29 kg/cm<sup>2</sup>

Deformación = 0.059 cm

- Cálculo de tensión y deformación reduciendo dimensiones de losa (1.20\*1.60), más considerando el mismo espesor de metodologías convencionales

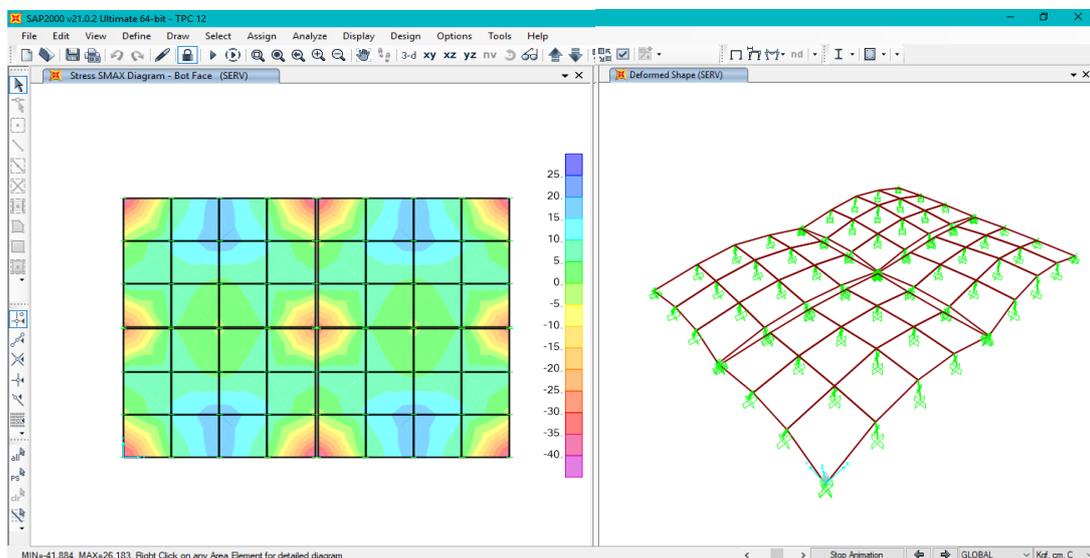


Figura N° 47: Cálculo de tensiones en pavimentos con dimensiones de losa TCP y espesor de metodologías convencionales

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo –SAP 2000

Se tiene como datos:

Largo de losa = 160 cm

Ancho de losa = 120 cm

Altura de losa = 15 cm

$K = 6.19 \text{ kg/cm}^3$

$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = 14.40 \text{ } ^\circ\text{C}$

Se obtiene como resultados:

Tensión =  $18.81 \text{ kg/cm}^2$

Deformación = 0.037 cm

- Cálculo tensión y deformación según dimensiones de diseños losas cortas

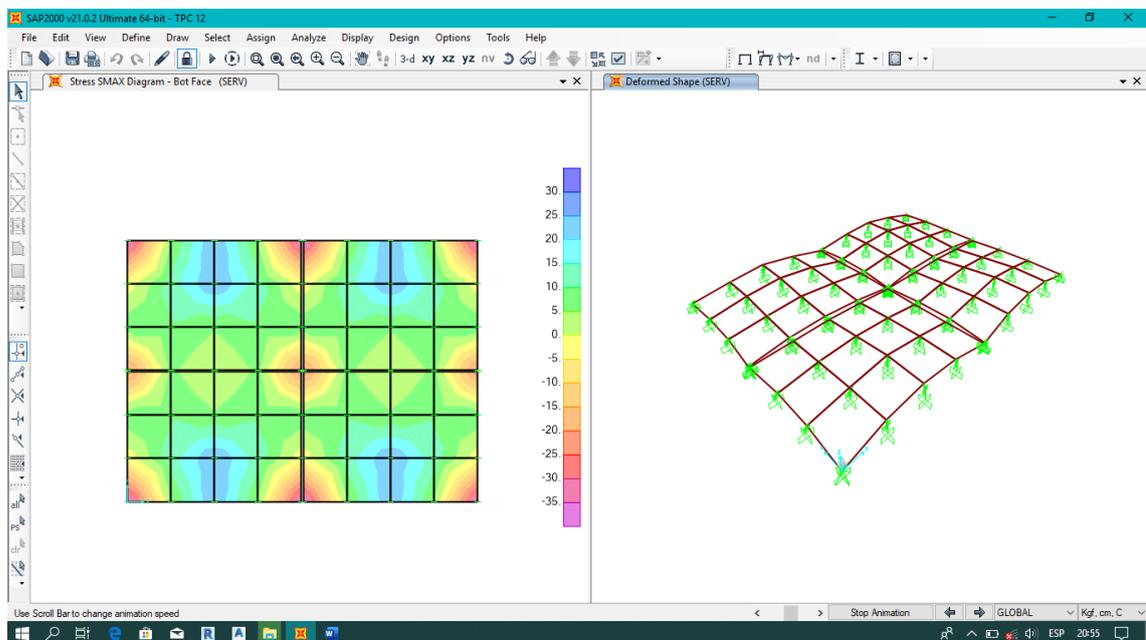


Figura N° 48: Cálculo de tensiones en pavimentos con metodología TCP

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo – SAP 2000

Se tiene como datos:

Largo de losa = 160 cm

Ancho de losa = 120 cm

Altura de losa = 12 cm

$K = 6.19 \text{ kg/cm}^3$



$$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} = 14.40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se obtiene como resultados:

$$\text{Tensión} = 25.24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Deformación} = 0.054 \text{ cm}$$

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. COMPARACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE METODOLOGÍAS CONVENCIONALES (AASHTO 93 – PCA 84) Y METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS

La comparación de las metodologías se da en base al cálculo de tensiones producidas en las losas del pavimento en metodologías convencionales (AASHTO 93 – PCA 84) y metodología de losas cortas (LOSA IDEALIZADA), teniendo igual tensiones realizadas en el programa SAP 2000, para las dimensiones dadas a continuación:

Tabla N° 42: *Comparación de Diseños Metodológicos Convencionales y TCP*

COMPARACIÓN DE DISEÑOS METODOLÓGICOS	METODOLOGÍAS CONVENCIONALES (AASHTO 93 - PCA 84)	METODOLOGÍA TCP (LOSA IDEALIZADA)
ESPESOR DE LOSA (cm)	15	0.12
ANCHO DE LOSA (m)	2.40	1.20
LARGO DE LOSA (m)	3.00	1.60

FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 4.2. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PAVIMENTO RÍGIDO PARA VÍAS (JIRONES Y PASAJES) DEL SECTOR NORESTE DE LA CIUDAD DE PUNO (CASO JR. EMILIO VALDIZAN)

Para el análisis de costos de pavimento rígido según metodología se tomó en cuenta el uso de recursos como son:

- MANO DE OBRA. -el cual contempla mano de obra calificada y mano de obra no calificada como sigue:
  - ✓ Operario



- ✓ Oficial
- ✓ Peón
- MATERIALES
- EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

En la construcción de un pavimento rígido se tiene la mayor cantidad de recursos aplicados en las partidas de subbase y losa de concreto como se muestra:

- SUB BASE. - Para la ejecución de esta meta los recursos con mayor incidencia son:
  - ✓ Material de préstamo cantera Ichu (30%)
  - ✓ Material de préstamo cantera Cutimbo (70%)
  - ✓ Maquinaria para la extracción de material
- LOSA DE CONCRETO. - Para la ejecución de esta meta los recursos con mayor incidencia son:
  - ✓ Cemento portland tipo IP
  - ✓ Agregados
  - ✓ Mano de obra
  - ✓ Equipos

#### 4.2.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA PAVIMENTO CON METODOLOGÍA CONVENCIONAL

Se muestra el presupuesto obtenido en el programa S10, con espesores pavimento mediante la metodología AASHTO 93.

		<b>Presupuesto</b>	
Presupuesto	0102005	"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"	
Subpresupuesto	001	"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"	
Cliente	METODOLOGIAS CONVENCIONALES AASHTO93 - PCA84		Costo al 23/10/2019
Lugar	PUNO - PUNO - PUNO		



Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	VIA URBANA DEL JIRON EMILIO VALDIZAN				304,351.67
01.01	PAVIMENTO RIGIDO				304,351.67
01.01.01	SUB BASE = 0.20 CM				51,365.22
01.01.01.01	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA ICHU(30%)				8,146.56
01.01.01.01.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m3	245.71	6.38	1,567.63
01.01.01.01.02	ZARANDEO DE MATERIAL CANTERA	m3	307.14	3.89	1,194.77
01.01.01.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE CANTERA	m3	307.14	17.53	5,384.16
01.01.01.02	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA CUTIMBO(70%)				16,960.56
01.01.01.02.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA CUTIMBO	m3	573.32	4.95	2,837.93
01.01.01.02.02	ZARANDEO DE MATERIAL CANTERA	m3	659.32	3.89	2,564.75
01.01.01.02.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE CANTERA	m3	659.32	17.53	11,557.88
01.01.01.03	CONFORMACION DE SUB BASE				26,258.10
01.01.01.03.01	MEZCLADO DE MATERIAL DE CANTERA PARA CONFORMACION DE SUB BASE	m3	819.03	6.71	5,495.69
01.01.01.03.02	SUB BASE GRANULAR E=0.20	m2	4,095.15	5.07	20,762.41
01.01.02	LOSA DE CONCRETO E=0.15 M				252,986.45
01.01.02.01	PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	614.27	383.47	235,554.12
01.01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PAVIMENTO RIGIDO	m2	229.57	40.31	9,253.97
01.01.02.03	CURADO DE CONCRETO	m2	4,095.15	0.79	3,235.17
01.01.02.04	JUNTA CON ASFALTO E= 1"	m	1,530.40	3.23	4,943.19
	<b>Costo Directo</b>				<b>304,351.67</b>

SON : TRESCIENTOS CUATRO MIL TRESCIENTOS CINCUENTIUNO Y 67/100 SOLES

#### 4.2.1.1. Uso de Recursos aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías

##### Convencionales (AASHTO 93 – PCA 84):

Los recursos usados se muestran según la relación de insumos incluido en los anexos.

Tabla N° 43: Uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías convencionales (AASHTO 93-PCA84)

RECURSOS	COSTO (EN SOLES)
MANO DE OBRA	91,022.55
MATERIALES	145,110.45
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	68,218.67
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 304, 351.67</b>

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



## 4.2.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA PAVIMENTO CON METODOLOGÍA LOSAS CORTAS

Se muestra el presupuesto obtenido en el programa S10, con espesores pavimento mediante la metodología de losas cortas TCP.

### Presupuesto

Presupuesto	<b>0102006</b>	<b>"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"</b>			
Subpresupuesto	<b>001</b>	<b>"OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS, APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOSAS CORTAS EN LA CIUDAD DE PUNO"</b>			
Cliente	<b>METODOLOGIA LOSAS CORTAS TCP</b>	Costo al	<b>23/10/2019</b>		
Lugar	<b>PUNO - PUNO - PUNO</b>				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	VIA URBANA DEL JIRON EMILIO VALDIZAN				257,002.39
01.01	PAVIMENTO RIGIDO				257,002.39
01.01.01	SUB BASE = 0.20 CM				51,365.22
01.01.01.01	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA ICHU(30%)				8,146.56
01.01.01.01.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA	m3	245.71	6.38	1,567.63
01.01.01.01.02	ZARANDEO DE MATERIAL CANTERA	m3	307.14	3.89	1,194.77
01.01.01.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE CANTERA	m3	307.14	17.53	5,384.16
01.01.01.02	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA CUTIMBO(70%)				16,960.56
01.01.01.02.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL DE CANTERA CUTIMBO	m3	573.32	4.95	2,837.93
01.01.01.02.02	ZARANDEO DE MATERIAL CANTERA	m3	659.32	3.89	2,564.75
01.01.01.02.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL DE CANTERA	m3	659.32	17.53	11,557.88
01.01.01.03	CONFORMACION DE SUB BASE				26,258.10
01.01.01.03.01	MEZCLADO DE MATERIAL DE CANTERA PARA CONFORMACION DE SUB BASE	m3	819.03	6.71	5,495.69
01.01.01.03.02	SUB BASE GRANULAR E=0.20	m2	4,095.15	5.07	20,762.41
01.01.02	LOSA DE CONCRETO E=0.12 M				205,637.17
01.01.02.01	PAVIMENTACIÓN DE CONCRETO F'C=210 KG/CM2	m3	491.42	383.47	188,444.83
01.01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PAVIMENTO RIGIDO	m2	153.04	40.31	6,169.04
01.01.02.03	CURADO DE CONCRETO	m2	4,095.15	0.81	3,317.07
01.01.02.04	JUNTA DE CONSTRUCCION	m	2,703.94	2.85	7,706.23
	<b>Costo Directo</b>				<b>257,002.39</b>

SON : DOSCIENTOS CINCUENTISIETE MIL DOS Y 39/100 SOLES

### 4.2.2.1. *Uso de recursos aplicando espesores obtenidos mediante la metodología de losas cortas TCP:*

Los recursos usados se muestran según la relación de insumos incluido en los anexos.

Tabla N° 44: Uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante la metodología Losas cortas TCP

RECURSOS	COSTO (EN SOLES)
MANO DE OBRA	77,127.03
MATERIALES	113,129.22
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	66,746.14
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 257,002.39</b>

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

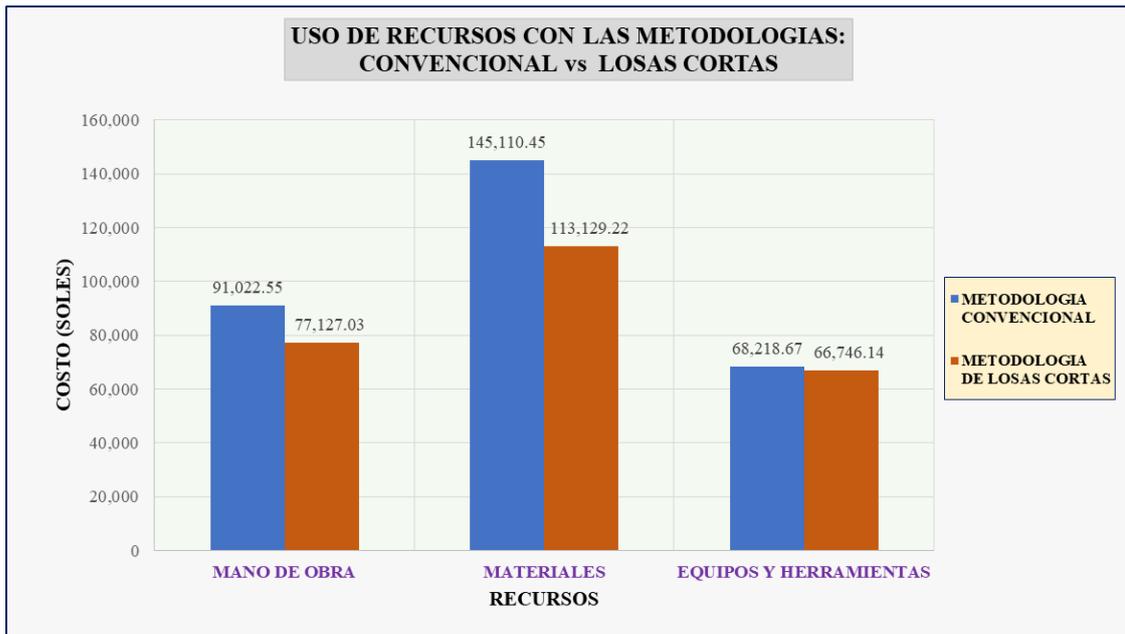
#### 4.2.3. COMPARACIÓN DE USO DE RECURSOS SEGÚN METODOLOGÍA USADA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL JR. EMILIO VALDIZAN

Uso de recursos y variaciones en el costo directo para la estructura del pavimento rígido, se muestra en la Tabla N° 45:

Tabla N° 45: Comparación de uso de recursos, aplicando espesores obtenidos mediante las metodologías convencionales vs metodología losas cortas TCP

RECURSOS	COSTO (EN SOLES), METODOLOGÍAS CONVENCIONALES (AASHTO 93 – PCA 84)	COSTO (EN SOLES) TCP	VARIACIÓN (SOLES)	VARIA_ CIÓN %
MANO DE OBRA	91,022.55	77,127.03	13,895.52	15.27 %
MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	145,110.45	113,129.22	31,981.23	22.04 %
	68,218.67	66,746.14	1,472.53	2.16 %
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 304,351.67</b>	<b>S/. 257,002.39</b>	<b>S/.47,349.28</b>	<b>15.56 %</b>

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



*Figura N° 49:* Uso de recursos con las metodologías: Convencionales y Losas Cortas  
FUENTE: *Elaborado por el equipo de trabajo*



## V. CONCLUSIONES

### 5.1. CONCLUSIÓN GENERAL

- De acuerdo a la metodología de losas cortas TCP en relación a metodologías convencionales (AASHTO 93 – PCA 84), la optimización de recursos es de mano de obra 15.27 %, materiales 22.04 %, equipos 2.16%, optimizando el uso de recursos en el costo directo de la estructura (sub base y losa de concreto) de un pavimento rígido en un 15.56 %, mejorando las condiciones de diseños convencionales, concluyendo que es más favorable el uso de la metodología TCP.

### 5.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- En cuanto a las tensiones generadas en el paquete SAP2000, mediante la metodología losas cortas se obtiene un espesor optimizado respecto a metodologías convencionales, según el tipo de tránsito, determinando que el diseño es apropiado asegurando confort y serviciabilidad durante su tiempo de vida útil.
- Los costos unitarios que se obtiene por metro cuadrado de estructura de pavimento mediante metodologías convencionales es S/. 108.06; y mediante la metodología TCP losas cortas de S/.91.25.
- Se evaluaron las propiedades físico mecánicas de subbase (CBR al 100% es de 74.57 %) y subrasante (CBR al 95% es de 7.02%); de acuerdo a las teorías y normas descritas, así mismo detallar que para los diseños convencionales es sumamente importante el valor de CBR al 95% de la subrasante como variable fundamental; y el CBR al 100% de la sub base es una variable incidente en la metodología TCP.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el corte de las juntas transversales no mayor a 1.60 m, por ser dato de ingreso en el programa SAP2000 ya que modificaría la distribución de cargas. Respecto al ancho de carril depende mucho de la sección de la vía la cual no siempre cumple los parámetros normados, por ejemplo, nuestro ancho de carril fue 2.40 m, determinado ancho de 1.20 m, para cada losa.
- Se recomienda el uso de concreto pre mezclado por la garantía en cuanto a la durabilidad y resistencia a flexión y compresión, debido que un pavimento principalmente trabaja a flexión.
- Se recomienda en tráficos ligeros debido a que no se tiene antecedente de uso en tráficos con alta incidencia de tránsito.
- Se recomienda el uso en vías locales ya que ellos son los que cuentan con tránsito ligero, y así poder pavimentar más sectores ya que esta tecnología se proyecta con menos costos respecto a los diseño y construcciones convencionales de la parte urbana de la ciudad de Puno, puesto que un proyecto de inversión busca mejora la calidad de vida de la población.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Becerra, M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto (Diseño, Construcción y Supervisión)*. Editorial Flujo Libre 2012 LB 001, Lima, Perú.
- Burboa, S. (2010). “*Análisis de rehabilitación de pavimentos de asfalto con Carpetas Delgadas de Hormigón*”. (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.
- Covarrubias, J. P. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 27 (3), 181-197.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México. International Thomson Editores.
- Estación, O. y Valverde, D. (2012), “*Aplicación de la tecnología de pavimento TCP en las calles 56 y 78 la habilitación urbana paseo de Mar – Nuevo Chimbote – Ancash - Perú*”, (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Santa, Chimbote, Perú.
- Hernández, R. y Fernández, C. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición), México. McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Chávez Loaiza, V. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia – ICG.
- Mendoza, H. (2015), “*Evaluación del diseño de losas cortas (TCP) en pavimentos según tensiones*”, (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Resolución Directoral N° 22-2013-MTC/14, aprueba la actualización del Manual de Carreteras – “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013”*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Resolución Directoral N° 10-2014-MTC/14, aprueba la versión de 2014 de la Sección: Suelos y Pavimentos del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Resolución Directoral N° 18-2016-MTC/14, aprueba la actualización del Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Montejo, A. (2008). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Editorial: Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Román, L. (2008), “*Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico*”, (Tesis), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.



## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

RESULTADOS ENSAYOS TERRENO DE FUNDACIÓN - LABORATORIO  
DE MECÁNICA DE SUELOS FICA

### **ANEXO B**

RESULTADOS ENSAYOS MEZCLA DE SUELOS - LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS FICA

### **ANEXO C**

RESULTADOS DISEÑO DE MEZCLAS - LABORATORIO DE  
CONSTRUCCIONES FICA

### **ANEXO D**

FICHAS DE AFORO VEHICULAR JR. EMILIO VALDIZAN

### **ANEXO E**

CALCULO DE TENSIONES PROGRAMA SAP2000

### **ANEXO F**

PANEL FOTOGRÁFICO

### **ANEXO G**

PROCESO CONSTRUCTIVO

### **ANEXO H**

TEMPERATURA SEGÚN DATOS DE SENAMHI

### **ANEXO I**

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS