



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



**PROPUESTA DEL PAVIMENTO DE ADOQUINES DE
CONCRETO EN LA PLAZA GRAU DE LA CIUDAD DE LAMPA,
COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTO DURABLE,
RESISTENTE Y ECONÓMICO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DANTE RAMOS GALINDO

Bach. EDDIE CESAR ESTRADA MALAGA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

*A mi madre Clotilde Galindo, por ser la
Motivación más importante de mi vida, por
ser la mejor consejera, nunca dejo de creer
en mí. Gracias madrecita hermosa.*

*A mi padre Martin Ramos, por ser el amigo
y apoyo más grande que todo hijo desea tener.*

Dante Ramos Galindo.

Dedicatoria



*A Dios, a mis queridos padres; Hilda
Malaga Estrada, Felicitas Estrada Huayta
y Juan Hancoo Zurita;*

*A mis hermanas Lidia, Esther y Anyhela; a
mi sobrino Diego; a mis primos Michel y
Luis; a mi tío Miguel y especialmente a
Elena, Korianca y Valeria a todos ellos por
darme fortaleza en momentos difíciles y
regalarme alegría en los buenos tiempos.*

Llenan mi vida por completo.

Eddie Cesar Estrada Malaga.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos salud y permitirnos concluir la presente tesis.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ingeniería civil y Arquitectura, y a cada uno de los docentes de nuestra querida y prestigiosa Escuela profesional de Ingeniería Civil.

A nuestro Asesor y Director de Tesis, M.Ing. Emilio Castillo Aroni; por su paciencia, comprensión y apoyo en este proceso de elaboración de tesis y ser un ejemplo en nuestra formación personal y profesional.

A nuestros docentes y ahora jurados de tesis;

Ing. José Luis Cutipa Arapa; por su paciencia, tiempo y valioso aporte.

Dr.Sc. Cesar Guerra Ramos por su aporte y enseñanza.

Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia por sus enseñanzas y por ser guía en nuestra formación profesional.

A nuestros compañeros y amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Dante Ramos y Eddie Cesar Estrada



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ACRÓNIMOS

RESUMEN 23

ABSTRACT..... 25

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Reseña histórica de la ciudad de Lampa 28

1.2. Planteamiento del problema..... 33

1.3. Formulación del problema 33

1.3.1. Problema general 33

1.3.2. Problemas específicos 34

1.4. Justificación del estudio..... 34

1.5. Hipótesis 35

1.5.1. Hipótesis general 35

1.5.2. Hipótesis específico..... 35

1.6. Objetivos de la investigación..... 35

1.6.1. Objetivo general 35

1.6.2. Objetivos específicos..... 35

1.7. Metodología de investigación..... 36

1.7.1. Tipo de investigación 36

1.7.2. Nivel de investigación 36

1.7.3. Método de investigación..... 36



1.8. Ubicación Del Proyecto	36
1.8.1. Ubicación política del proyecto	37
1.8.2. Accesibilidad	37
1.8.3. Altitud.....	39
1.8.4. Clima	39
1.8.5. Población	39
1.8.6. Límites	39
1.8.7. Iglesia de Santiago Apóstol	39

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación	42
2.1.1. Antecedentes Internacionales	42
2.1.2. Antecedentes Nacionales	42
2.1.3. Antecedentes a nivel local	43
2.2. Marco teórico	44
2.2.1. Pavimentos	44
2.2.2. Características que debe reunir un pavimento.....	44
2.2.3. Clasificación de los pavimentos	45
2.2.4. Pavimentos de adoquines de concreto.....	45
2.2.4.2. Ventajas y desventajas de los pavimentos de adoquines	48
2.2.4.3. Tecnología de pavimentación con adoquines de concreto	50
2.2.4.4. Aplicaciones y solicitudes de los pavimentos de adoquines	51
2.2.4.5. Clasificación de los adoquines	52
2.2.4.6. Normativas recomendadas para especificaciones técnicas y ensayos de adoquines de concreto.	54
2.2.4.7. Comportamiento estructural de los pavimentos de adoquines de concreto	54
2.2.4.8. La trabazón mecánica.....	57



2.2.4.9.	Efecto conjunto de la forma y aparejo del adoquín.....	58
2.2.4.10.	Efecto del ancho de junta	61
2.2.4.11.	El comportamiento a la fatiga	61
2.2.4.12.	Variables que describen el comportamiento de los pavimentos de adoquines.....	62
2.2.4.13.	Especificaciones para la construcción de pavimentos de adoquines de concreto.	70
2.2.4.14.	Estado de tensiones en pavimentos de adoquines	80
2.2.5.	Pavimentos flexibles.....	82
2.2.5.1.	Funciones de las capas de un pavimento flexible	83
2.2.6.	Pavimentos Rígidos	84
2.2.6.1.	Funciones de las capas de un pavimento rígido.	85
2.2.7.	Factores que considerar en el diseño de pavimentos.....	86
2.2.7.1.	El tránsito	86
2.2.7.2.	Solicitaciones de diseño	86
2.2.7.3.	Solicitaciones de tráfico vehicular	87
2.2.7.4.	La sub rasante.....	88
2.2.7.5.	El clima	88
2.2.7.6.	Disponibilidad de materiales.....	89

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Periodo de duración del estudio.....	90
3.2.	Procedencia del material y datos	90
3.2.1.	Estudio de tráfico.....	90
3.2.2.	Estudio de suelos	90
3.2.3.	Estudio hidrológico	90
3.2.4.	Estudio topográfico	90
3.3.	Población y muestra.....	91



3.4.	Condición actual del pavimento existente en la plaza Grau	91
3.5.	Ingeniería del proyecto	93
3.5.1.	Estudio topográfico	93
3.5.1.1.	Topografía	93
3.5.1.2.	Tipos de levantamientos.....	93
3.5.1.3.	Curvas de nivel.....	93
3.5.1.4.	Procedimiento en campo	94
3.5.2.	Estudios geotécnicos	97
3.5.2.1.	Introducción	97
3.5.2.2.	Reconocimiento del terreno	98
3.5.2.3.	Muestreo y exploración de suelos	99
3.5.2.4.	Número de puntos de investigación	99
3.5.2.5.	Sistema de clasificación de suelos AASHTO	100
3.5.2.6.	Características de los puntos de investigación	101
3.5.2.7.	Ensayos de suelos en laboratorio	102
3.5.2.8.	Resumen de los datos obtenidos en laboratorio	103
3.5.2.9.	Determinación del CBR de diseño	106
3.5.3.1.	Generalidades	107
3.5.3.2.	Evaluación de Canteras	107
3.5.3.3.	Localización y estudios para la explotación de canteras.....	108
3.5.3.4.	Cantera Pichincha.....	109
3.5.3.5.	Cantera rio Lampa.....	109
3.5.3.6.	Trabajo de campo	110
3.5.3.7.	Ensayos de laboratorio.....	112
3.5.3.7.1.	Resultados de estudios geotécnico de las canteras.....	112
3.5.3.8.	Mezcla de Suelos para la Base granular.....	112
3.5.3.9.	Arena para capa de soporte	116
3.5.3.10.	Arena para sello.....	117



3.5.4.1.	Generalidades	117
3.5.4.2.	La cuenca hidrográfica	118
3.5.4.3.	La microcuenca	118
3.5.4.4.	El ciclo hidrológico	118
3.5.4.5.	Precipitación.....	119
3.5.4.6.	Intensidad	120
3.5.4.7.	Duración	120
3.5.4.8.	Periodo de retorno	120
3.5.4.9.	Probabilidad	121
3.5.4.10.	Análisis de frecuencias.....	121
3.5.4.11.	Cálculo del periodo de retorno.....	122
3.5.4.12.	Probabilidad del periodo de retorno	123
3.5.4.13.	Cálculo de tiempo de concentración Tc	123
3.5.4.14.	Método para el cálculo de caudales	124
3.5.4.15.	Método Racional	125
3.5.4.16.	Dimensionamiento de la estructura de drenaje	132
3.5.5.1.	Introducción	136
3.5.5.2.	Definiciones generales	136
3.5.5.3.	Tránsito (demanda)	138
3.5.5.4.	Volumen de tránsito	138
3.5.5.5.	Determinación del IMDA	139
3.5.5.6.	Análisis de tráfico.	140
3.5.5.7.	Aforo vehicular.	140
3.5.5.7.1.	Determinación del IMDA.	145
3.5.5.7.2.	Determinación del periodo de diseño.....	149
3.5.5.7.3.	Tasa de crecimiento anual de tráfico.....	149
3.5.5.8.	Factor camión.....	150
3.5.5.8.1.	Factores De Equivalencia De Carga (FEC).	150



3.5.5.8.2.	Número de repeticiones de ejes equivalentes	153
3.5.5.8.3.	Carril de diseño.	155
3.5.5.8.4.	Factor direccional y Factor carril	156
3.5.5.8.5.	Estimación del factor camión, FC.....	157
3.5.5.8.6.	ESALs de diseño	161
3.5.5.8.7.	Crecimiento del tránsito.	161

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Pavimento Flexible	163
4.2.	Pavimento Rígido	175
4.3.	Pavimento de adoquines de concreto.....	189
4.4.	Determinación de la resistencia, Absorción y durabilidad del adoquín de concreto.....	193
4.4.1.1.	Ensayo de rotura de adoquines.....	193
4.4.1.2.	Ensayo de absorción.....	195
4.4.1.3.	Prueba a compresión con porcentajes de sulfato de sodio	197
4.4.1.4.	Ensayo de durabilidad.	197
4.5.	Comparación Económica.....	199
4.5.2.1.	Presupuesto pavimento Flexible.	200
4.5.3.1.	Tiempo de ejecución Pavimento Flexible.	206
4.5.3.2.	Tiempo de ejecución Pavimento Rígido.	207
4.5.3.3.	Tiempo de ejecución Pavimento de Adoquines de Concreto.....	208
4.6.	Análisis de Rentabilidad	208
4.6.4.1.	Oferta sin proyecto.	210
4.6.4.2.	Oferta con proyecto.....	211
4.6.4.3.	Balance oferta – demanda	212
4.6.4.4.	Costo a precio de mercado.	212
4.6.4.5.	Costo de inversión.....	212



4.6.4.6.	Costo De Operación Y Mantenimiento.....	212
4.6.4.7.	Flujo de costos incrementales	213
4.6.4.8.	Identificación de beneficios.	213
4.6.4.9.	Costos sociales.	213
4.6.4.10.	Costos de operación y mantenimiento a precios sociales.	214
4.6.5.1.	Pavimento flexible.	214
4.6.6.2.	Costos de Inversión y Mantenimiento a Precios Sociales:.....	218
4.6.6.3.	Costos Incrementales:	219
4.6.6.4.	Evaluación Económica:.....	219
4.6.6.6.	Costo Mantenimiento en US\$ - Km:.....	221
4.6.6.7.	A Precios Sociales:.....	221
4.6.6.8.	Costos de Inversión y Mantenimiento:	221
4.6.6.9.	Costos de inversión y mantenimiento a precios sociales:	222
4.6.6.10.	Costos Incrementales:	222
4.6.6.11.	Evaluación Económica:.....	223
V.	CONCLUSIONES.....	224
VI.	RECOMENDACIONES	226
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	227

TEMA: Propuesta de pavimento de adoquines de concreto

ÁREA: Planificación vial urbano

LÍNEA: Transporte y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 de agosto del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fotografía Antigua de la plaza Grau y sus costumbres	30
Figura 2 Construcción de la plaza Grau de la ciudad de Lampa	31
Figura 3 Pila a base de hierro forjado hecha en Francia.....	31
Figura 4 Ley Declarando Monumento Nacional al Templo Santiago Apóstol	32
Figura 5 Ubicación política del proyecto de tesis.....	37
Figura 6 Imagen Satelital Plaza Grau de la Ciudad de Lampa.	38
Figura 7 Plaza Grau de la ciudad de Lampa.	38
Figura 8 Catedral Santiago Apóstol.....	41
Figura 9 Estructura de un pavimento articulado.....	46
Figura 10 Adoquines para uso peatonal.....	46
Figura 11 Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.	47
Figura 12 Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.....	47
Figura 13 Esquema del proceso tecnológico de pavimentación con adoquines de concreto.	51
Figura 14 Clasificación de los adoquines	53
Figura 15 Dispositivo de Knapton para aplicación de carga sobre pavimentos de adoquines.....	55
Figura 16 Cuenco de presiones obtenidas por Knapton en su experimento.	56
Figura 17 Porcentaje de reducción de tensiones bajo la placa de carga.	56
Figura 18 Trabazón vertical, rotacional y horizontal de un pavimento de adoquín.	58
Figura 19 Efecto de la rotación de adoquines lisos y ondulados en aparejos lineales....	59
Figura 20 Efecto de rotación de adoquines lisos y ondulados en aparejos espina de pescado	60



Figura 21 Progresión de las deformaciones permanentes en pavimentos de adoquines	62
Figura 22 Efecto del aparejo en las deformaciones de pavimentos	64
Figura 23 Efecto del aparejo en las deformaciones horizontales de pavimentos para adoquines lisos de 60mm y ancho de junta 3mm	65
Figura 24 Influencia del espesor de la cama de arena en las deformaciones verticales	67
Figura 25 Nivelación de la cama de arena	73
Figura 26 Uniformidad de la superficie de cama de arena	74
Figura 27 Colocación de los adoquines	74
Figura 28 Colocación de los adoquines	75
Figura 29 Patrón en hiladas de adoquines rectangulares	75
Figura 30 Patrón en hiladas de adoquines NO rectangulares	76
Figura 31 Método “click and drop” (golpear y soltar)	76
Figura 32 Compactación inicial	78
Figura 33 Sellado de juntas	78
Figura 34 Compactación final	79
Figura 35 Bulbo de presiones bajo el eje de aplicación de carga para un eje simple de 8.17Tn, un espesor de adoquín de 60mm y cama de arena de 40mm	82
Figura 36 Estructura típica de un Pavimento Flexible	82
Figura 37 Estructura típica de un Pavimento Rígido	85
Figura 38 Esquema general de cálculo de solicitaciones	87
Figura 39 Situación actual del Pavimento Rígido en la Plaza Grau	92
Figura 40 Ubicación de los puntos de investigación	102
Figura 41 Ubicación De Las Canteras	109
Figura 42 Reconocimiento de la Cantera Pichincha	110
Figura 43 Extracción del material, cantera Pichincha	111



Figura 44 Extracción del material, cantera Rio Lampa	111
Figura 45 Método gráfico de mezcla de suelos	114
Figura 46 Ciclo hidrológico del Agua	119
Figura 47 Ubicación del proyecto para el tiempo de Concentración.....	123
Figura 48 Áreas tributarias de influencia para el cálculo de caudales.....	131
Figura 49 Cuneta de sección transversal triangular	134
Figura 50 Aforo Vehicular.....	145
Figura 51 Dimensiones, pesos y medidas de vehículos Pesados.....	158
Figura 52 Determinación de a_1	171
Figura 53 Determinación de a_2	172
Figura 54 Determinación de a_3	173
Figura 55 Disposición final de espesores del pavimento flexible	175
Figura 56 Relación aproximada entre los valores de resistencia y clasificación del suelo	181
Figura 57 Cálculo del espesor total del pavimento – Método CBR	188
Figura 58 Disposición final de espesores del Pavimento Rígido.....	189
Figura 59 Catálogo de estructuras de pavimento de adoquines con base granular y periodo de diseño 20 años	190
Figura 60 Disposición final de espesores del pavimento de adoquines de concreto	191
Figura 61 Disposición final de espesores del pavimento de adoquines de concreto	192
Figura 62 Ensayo de resistencia a la compresión	194
Figura 63 Ensayo de absorción.....	195
Figura 64 Ensayo a la compresión con % sulfato de sodio	197
Figura 65 Ensayo de durabilidad	198
Figura 66 Durabilidad a ciclo de hielo.....	198



Figura 67 Durabilidad a ciclo de deshielo	199
Figura 68 Características de la vía con Pavimento Flexible	200
Figura 69 Características de la vía con Pavimento Rígido	202
Figura 70 Características de la vía con Pavimento de adoquines de concreto	204
Figura 71 Programación de Obra Pavimento Flexible.....	206
Figura 72 Programación de Obra Pavimento Rígido.....	207
Figura 73 Programación de Obra Pavimento de Adoquines de Concreto	208



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesor nominal y resistencia a la compresión.	48
Tabla 2 Aplicaciones de pavimentos de adoquines según nivel de sollicitación y grupo de aplicación.	52
Tabla 3 Ensayos en adoquines de concreto.	54
Tabla 4 Factores que determinan el desempeño de los pavimentos de adoquines de concreto.....	62
Tabla 5 Granulometría de la arena para soporte de adoquines.....	70
Tabla 6 Granulometría de la arena para soporte de sello.....	71
Tabla 7 Requerimiento de calidad para base y su base granular.....	72
Tabla 8 Puntos topográficos obtenidos.....	95
Tabla 9 Número de puntos de investigación.....	99
Tabla 10 Clasificación de suelos AASHTO.....	101
Tabla 11 Datos de la calicata.....	102
Tabla 12 Datos Obtenidos En Laboratorio De Suelos.....	103
Tabla 13 Perfil estratigráfico de la calicata C-1.....	104
Tabla 14 Perfil estratigráfico de la calicata C-2.....	105
Tabla 15 Categorías de sub rasante.....	107
Tabla 16 Coordenadas UTM, Ubicación de las canteras.....	108
Tabla 17	112
Tabla 18 Requerimientos Granulométricos Para Base Granular.....	113
Tabla 19 Gradación de la mezcla de suelos.....	113
Tabla 20	115
Tabla 21 Obra: “Construcción y Mejoramiento Infraestructura vial de las vías de Lampa”	115



Tabla 22 Cama de arena.....	116
Tabla 23 Análisis Granulométrico	116
Tabla 24 Sello de arena.....	117
Tabla 25 Análisis Granulométrico	117
Tabla 26 Años de precipitaciones extremas, estación Lampa	122
Tabla 27 Coeficiente de escorrentía.....	126
Tabla 28 Coeficiente de escorrentía para el proyecto.....	126
Tabla 29 Ubicación de la estación pluviométrica	127
Tabla 30 Precipitación máxima en 24 horas - Estación Lampa.....	128
Tabla 31 Intensidad máxima horaria	128
Tabla 32 Aplicación de la ley de Gumbel.....	130
Tabla 33 Áreas tributarias para el cálculo de caudales	131
Tabla 34 Caudales obtenidos según áreas tributarias	132
Tabla 35 Coeficiente de rugosidad de Manning para cunetas	135
Tabla 36 Evaluación de caudales usando la ecuación de Manning	136
Tabla 37 Fichas de Aforo vehicular lunes	141
Tabla 38 Fichas de Aforo vehicular martes	141
Tabla 39 Fichas de Aforo vehicular miércoles	142
Tabla 40 Fichas de Aforo vehicular jueves	142
Tabla 41 Fichas de Aforo vehicular viernes	143
Tabla 42 Fichas de Aforo vehicular sábado.....	143
Tabla 43 Fichas de Aforo vehicular domingo	144
Tabla 44 Fichas de Aforo vehicular resumen	144
Tabla 45 Valores de nivel de confianza R, de acuerdo con el tipo de camino	147
Tabla 46 Factores de desviación normal.....	148



Tabla 47 Cálculo de desviación estándar.....	148
Tabla 48 Periodo de análisis	149
Tabla 49 Parque Automotor Nacional por departamentos.....	150
Tabla 50 Factores de Equivalencia de Carga.....	152
Tabla 51 Configuración de los ejes.....	153
Tabla 52 Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos, pavimentos Flexibles y Semirrígidos	154
Tabla 53 Relación de cargas por Eje para determinar equivalencias (EE) para Pavimentos rígidos	154
Tabla 54 Peso máximo por eje independiente o grupos	155
Tabla 55 Carril de diseño según Instituto del Asfalto	156
Tabla 56 Carril de diseño según AASHTO	156
Tabla 57 Factores de Distribución direccional y de Carril para determinar el tránsito en el carril de diseño.....	157
Tabla 58 Factor camión para C2 y B2 (Pavimento Flexible)	159
Tabla 59 Factor camión para C3 (Pavimento Flexible).....	159
Tabla 60 Factor camión para C2 y B2 (Pavimento Rígido)	159
Tabla 61 Factor camión para C3 (Pavimento Rígido)	160
Tabla 62 Resultados del Factor Camión para Pavimentos Flexibles.....	160
Tabla 63 Resultados del Factor Camión para Pavimentos Rígidos	160
Tabla 64 Cálculo de ESAL de diseño (Pavimento Flexible)	162
Tabla 65 Cálculo de ESAL de diseño (Pavimento Rígido)	162
Tabla 66 Periodo de diseño en función del tipo de carretera.....	164
Tabla 67 Valores del nivel de confianza R, de acuerdo con el tipo de camino	165
Tabla 68 Valores de Desviación estándar normal	165



Tabla 69 Índice de Serviciabilidad	166
Tabla 70 Calidad de Drenaje	168
Tabla 71 Valores recomendados calidad de drenaje.....	169
Tabla 72 Espesores mínimos en pulgadas, en función de los Ejes Equivalentes	173
Tabla 73 Valores del nivel de confianza R, de acuerdo con el tipo de camino	177
Tabla 74 Valores del nivel de con fianza R, de acuerdo l tipo de camino.....	177
Tabla 75 Índice de Serviciabilidad	179
Tabla 76 Calidad del drenaje	184
Tabla 77 Calidad del drenaje	184
Tabla 78 Coeficientes de transferencia de carga	185
Tabla 79 Determinación de la mayor carga por llanta.....	187
Tabla 80 Caracterización de los métodos de diseño	192
Tabla 81 Características de Resistencia y absorción según NTP	193
Tabla 82 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión	194
Tabla 83 Resultado de ensayo de absorción M1-M2.....	196
Tabla 84 Resultado de ensayo de absorción M3-M4.....	196
Tabla 85 Resultado de ensayo de absorción M5-M6.....	196
Tabla 86 Resultado de ensayo de absorción M7-M8.....	196
Tabla 87 Resultados de ensayo a la compresión con % de sulfato de sodio	197
Tabla 88	198
Tabla 89 Resultados durabilidad a ciclo de deshielo	199
Tabla 90 Presupuesto Pavimento Flexible.....	201
Tabla 91 Presupuesto Pavimento Rígido	203
Tabla 92 Presupuesto Pavimento de Adoquines de Concreto	205
Tabla 93 Tráfico generado por tipo de proyecto.....	209



Tabla 94 Determinación del tránsito actual	210
Tabla 95 Caracterización De La Vía En Estudio Sin Proyecto	211
Tabla 96 Caracterización de la vía en estudio con proyecto.....	211
Tabla 97 Costo de mantenimiento con proyecto y sin proyecto.....	213
Tabla 98 Factores de corrección	214
Tabla 99 Costo pavimento flexible	214
Tabla 100 Factores para costo de mantenimiento.....	214
Tabla 101 Factores Sociales	215
Tabla 102 Tabla de costo de inversión y mantenimiento pavimento flexible	215
Tabla 103 Tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento flexible	216
Tabla 104 Costos Incrementales	216
Tabla 105 Tabla evaluación económica pavimento flexible.....	217
Tabla 106 Costo pavimento rígido.....	217
Tabla 107 Factores para costo de mantenimiento.....	217
Tabla 108 Factores sociales	218
Tabla 109 Tabla de costo de inversión y mantenimiento pavimento rígido.....	218
Tabla 110 tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento rígido	219
Tabla 111 Costos Incrementales	219
Tabla 112 Tabla evaluación económica pavimento Rígido.....	220
Tabla 113 costo pavimento de adoquines de concreto	220
Tabla 114 Factores para costo de mantenimiento.....	221
Tabla 115 Factores sociales	221
Tabla 116 Costo de inversión y mantenimiento pavimento adoquines de concreto.....	221



Tabla 117 Tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento de adoquines de concreto	222
Tabla 118 Costos incrementales	222
Tabla 119 Tabla evaluación económica pavimento adoquines de concreto	223



ACRÓNIMOS

AASHTO: *American Association of State Highway and Transportation Officials.*

ASTM: *American Society for Testing and Materials.*

NTP: *Norma Técnica Peruana.*

INEI: *Instituto Nacional de Estadística e Informática.*

ICH: *Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.*

ICPI: *Interlocking Concrete Pavement Institute.*

CBR: *California Bearing Ratio.*

MTC: *Ministerio de Transportes y Comunicaciones.*

ICCG: *Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala.*

FEC: *Factor de Equivalencia de Carga.*

ESAL: *Numero de ejes equivalentes.*

DD: *Factor de distribución Direccional.*

DL: *Factor de distribución por carril.*

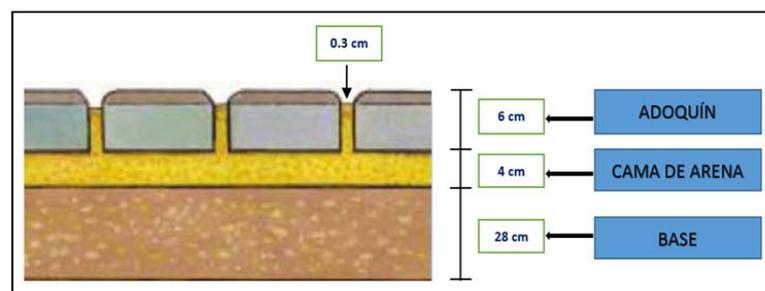
IMDA: *Índice Medio Diario Anual.*

IMDS: *Índice Medio Diario Semanal.*

RESUMEN

El presente proyecto de tesis, “Propuesta del pavimento de adoquines de concreto en la plaza Grau de la ciudad de Lampa, como alternativa de pavimento durable, resistente y económico”, tiene por finalidad generar una alternativa de pavimento que satisfaga estructuralmente a las solicitudes de tránsito, que a largo plazo sea más económico con respecto a los pavimentos tradicionales y con la misma importancia generar un espacio arquitectónico que permita una adecuada contrastación estética y paisajística del centro histórico de la ciudad de Lampa. La propuesta del pavimento de adoquines de concreto además de proporcionar resistencia, durabilidad y economía tiene por objeto repotenciar el turismo en la ciudad Rosada de Lampa puesto que en el entorno de la plaza Grau se ubica la catedral Santiago Apóstol que en 1941 fue declarado monumento nacional, en tal sentido, se pretende generar un cambio socioeconómico de los pobladores de la ciudad de Lampa. El proyecto de investigación tiene por objetivo determinar la influencia del pavimento de adoquines de concreto en la plaza Grau de la ciudad de Lampa, teniendo como metodología; el estudio de tráfico, estudio de suelos, diseño y análisis económico. De esa manera se espera que el pavimento de adoquines de concreto influya de manera positiva debido a sus cualidades frente al pavimento existente, consecuentemente permitir una mayor afluencia turística a la ciudad rosada de Lampa.

El resultado de la estructura del pavimento a base de adoquines de concreto se detalla a continuación.





La rentabilidad de las tres alternativas se detalla a continuación.

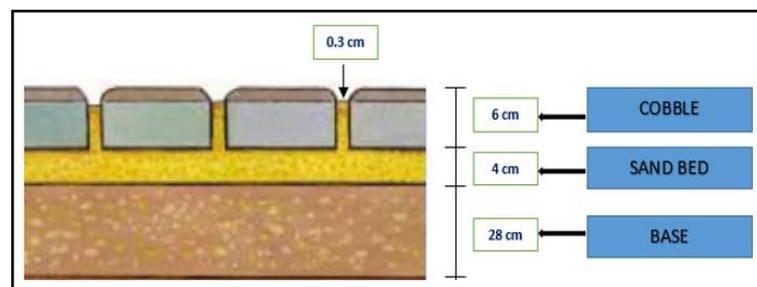
Metodología	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Pavimento con adoquines de concreto
C/E	6.98 soles/hab.	8.56 soles/hab.	8.29 soles/hab.

Palabras clave: Pavimento de Adoquines de concreto, Pavimento Rígido, Pavimento flexible, durabilidad y resistencia del pavimento, pavimento económico.

ABSTRACT

This thesis project, “proposal for a concrete paving pavement in plaza Grau in the city of Lampa, as a durable, resistant and economic pavement alternative, aims to generate a pavement alternative that structurally satisfies traffic requests, that in the long term it is more economical” with respect to traditional pavements and with the same importance to generate an architectural space that allows an adequate aesthetic and landscape contrast of the historic center of the city of Lampa. The proposal of the pavement of concrete cobblestones, in addition to providing resistance, durability and economy, aims to boost tourism in the city of pink of Lampa since the Santiago Apóstol cathedral is located in the surroundings of Plaza Grau, which in 1941 was declared a monument. national, in this sense, it is intended to generate a socioeconomic change of the inhabitants of the city of Lampa. The objective of the research project is to determine the influence of the concrete cobblestone pavement in the Grau square of the city of Lampa, having as methodology; traffic study, soil study, design and economic analysis. In this way, it is expected that the concrete cobblestone pavement will have a positive influence due to its qualities compared to the existing pavement, consequently allowing a greater tourist influx to the pink city of Lampa.

The result of the pavement structure based on concrete pavers is detailed below.





The profitability of the three alternatives is detailed below.

Methodology	Flexible pavement	Rigid pavement	Pavement with concrete pavers
C/E	6.98 soles/inhab.	8.56 soles/inhab.	8.29 soles/inhab.

Keywords: Concrete Cobblestone Pavement, Rigid Pavement, Flexible Pavement, durability and resistance of the pavement, economic pavement.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos a base de adoquines de concreto cuentan con una estructura diferente a los que presentan los pavimentos tradicionales tales como el flexible y rígido, por ende, un comportamiento estructural muy particular frente a las solicitudes de tráfico y efectos climáticos.

La presente tesis referido a la “Propuesta del pavimento de adoquines de concreto en la plaza Grau de la ciudad de Lampa, como alternativa de pavimento durable, resistente y económico”, la misma que se realiza como consecuencia del deterioro básicamente en la superficie de rodadura del pavimento existente, sumado a todo ello se tiene una desproporción por el tipo de pavimento en el aspecto cultural del centro histórico de la ciudad de Lampa.

La investigación está enfocada fundamentalmente al comportamiento mecánico, estructural y ornamental del adoquín de concreto en la plaza Grau de la ciudad de lampa, para tal efecto se consideran algunas acciones o actividades como son estudio de tráfico, estudio de suelos y diseño del pavimento propiamente; y que en su conjunto permitan desarrollar un pavimento óptimo.

La propuesta de utilización del pavimento de adoquines de concreto permite básicamente una mejora en el entorno paisajístico, sin abstenerse de su resistencia y durabilidad frente a las cargas producidos por el tráfico y climas variables, que en términos generales permita elevar el aspecto socioeconómico de los pobladores de la ciudad de Lampa a través del turismo.



1.1. Reseña histórica de la ciudad de Lampa

Las primeras manifestaciones de hombres que habitaron en el lugar datan aproximadamente hace cinco mil años en la cueva o abrigo natural de Lenzora, donde existen grabados rupestres, el tiempo seguramente puso pausas porque no hay vestigios propiamente posteriores, pero luego ya se avecina la época Qaluyo que es un asentamiento en la cabecera norte del circunlacustre del Titicaca, del cual Lampa fue parte, y de hecho en esta zona se habló el idioma Puquina. Posteriormente fue absorbido por una gran civilización que es la cultura Pukara, cuya cabecera y centro arqueológico está en Pucará, la ciudadela del santuario de Kalasaya con un magnífico avance en materia arquitectónica por que han sabido utilizar la piedra bien pulida inclusive con las mismas o mejores características que los Tiahuanacos al que posteriormente perteneció Lampa y el sur del Perú. En síntesis, lampa ha pertenecido a los Qaluyos como toda la zona norte de Puno, los Pukaras, los Tiahuanacos que han florecido no solamente en el altiplano puneño sino también en el Alto Perú que hoy en día es Bolivia. Con el tiempo, esta cultura se fragmenta y surgen los reinos altiplánicos Pakajes, Qollas y el lado norte de Puno denominados Qollas con feroces enfrentamientos propiamente entre ellos y otros reinos altiplánicos, además de vivir enfrentados con los Canas y los Incas que habitan más allá de La Raya (límite natural entre Cusco y Puno). Hasta ahí se advierte que en Lampa ha habido una muy buena consolidación de los Qollas, hay muchos vestigios en Lampa hechos de piedra con características propiamente de esa época y que posteriormente ya los incas se instalan en lampa en no más de 50 años y que eso se ha producido hasta 1532 año en que llegan los conquistadores. Revisando datos, de hecho, en la actual plaza Grau y de Armas ha habido una importante manifestación urbana o por lo menos poblacional, lugar donde el templo está edificado, cuya construcción inicia en 1675. En los cimientos del templo Santiago Apóstol se advierte la utilización de piedras con muchas



características incaicas pulidas con cierta curvatura propia de la época incaica, por lo cual cabe la certeza de la existencia de una Waca inca en la cual es posible que los españoles a través de los primeros curas realizaron actos ceremoniales con el fin de extirpar y destruir las idolatrías como en la mayoría del Perú han aplastado dichas Wacas y los centros ceremoniales. En el interior del templo Santiago apóstol es evidente la existencia de una Waca inca donde se ha tenido que hacer una adoración al agua, por la existencia de una fuente de agua, puesto que en la actualidad al ingresar a las catacumbas se manifiesta filtraciones de agua y es muy probable que se haya clausurado o desviado, sin embargo, el agua sigue su curso y en el entorno de la misma se puede visualizar la utilización de piedras propiamente incaicas.

En la época colonial se advierte un florecimiento masivo de este lugar dado que se han instalado también pobladores españoles debido a la ubicación de minas. Con la misma fortuna que obtuvieron, se construyen la arquitectura civil o casonas, las enormes viviendas (solares), además se construye el Templo Santiago apóstol. En resumen, las dos características importantes son las construcciones de las casonas y el templo Santiago apóstol como testimonio material de la época de los conquistadores.

Ahora bien, posteriormente a la época de la colonia ya pasando el año 1825 en el cual se crea la provincia de Lampa, ha seguido creciendo en materia de mejora arquitectónica se ha edificado el puente de calicanto sobre el río Lampa, es así que Lampa a seguido mejorando en materia de presentación ornamental, tal es el caso la donación del presidente Miguel de San Román de una hermosa pila a base de hierro forjado hecha en Francia y que se encuentra instalado en el centro de la plaza Grau. Es así que Lampa se transforma en un centro atractivo, económico y de influencia social enorme. Hasta 1950 Lampa fue el primer productor de lana de oveja a nivel nacional y el traslado de esa enorme riqueza fue por medio de las construcciones de ferrocarriles de la época.

Hay muchas razones suficientes para decir que Lampa es una ciudad absolutamente histórica debido a su trascendencia y relevancia en el escenario regional y nacional, tal es así que una de las calles más cercanas al palacio de gobierno lleva el nombre de Jr. Lampa.

Figura 1

Fotografía Antigua de la plaza Grau y sus costumbres



Nota: Fotografía, 1960.

Figura 2

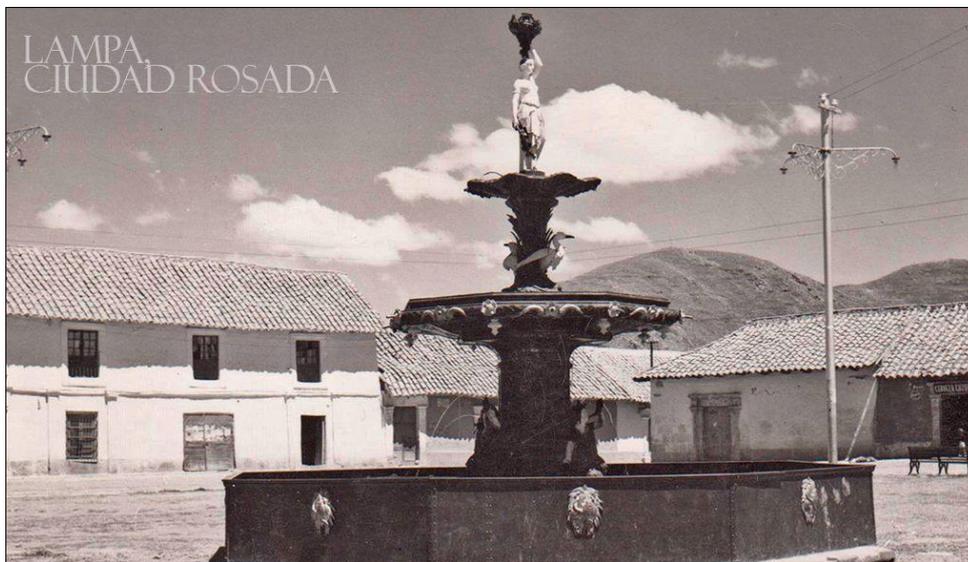
Construcción de la plaza Grau de la ciudad de Lampa



Nota: Fotografía, 1968.

Figura 3

Pila a base de hierro forjado hecha en Francia



Nota: Villazante R, 1971.

Figura 4

Ley Declarando Monumento Nacional al Templo Santiago Apóstol

LEY N° 9342

Declarando Monumento Nacional el Templo de Santiago Apóstol, de Lampa, y declarando Zona Turística del Perú, la ruta que va de Lampa a Ayaviri, pasando por la Villa de Pucará.

EL PRESIDENTE DE LA
REPUBLICA

Por cuanto:

El Congreso ha dado la ley siguiente:

EL CONGRESO DE LA REPUBLICA
PERUANA

Ha dado la ley siguiente:

Artículo 1°—Declárase Monumento Nacional y bajo el amparo de la ley N° 8853 (1), el Templo de Santiago Apóstol de la ciudad de Lampa.

Artículo 2°—Declárase Zona Turística del Perú, la ruta que partiendo de la ciudad de Lampa y pasando por la Villa de Pucará, va hasta la ciudad de Ayaviri en el Departamento de Puno.

Comuníquese al Poder Ejecutivo, para su promulgación.

Dada en la Sala de Sesiones del Congreso, en Lima, a los dieciocho días del mes de febrero de mil novecientos cuarenta y uno.

E. Montagne, Presidente del Senado.

Carlos Sayán Alvarez, Presidente de la Cámara de Diputados.

Raúl A. Pinto, Senador Secretario.

Manuel B. Llosa, Diputado Secretario.

Al señor Presidente Constitucional de la República.

—————

Por tanto:

Mando se publique y cumpla.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de febrero de mil novecientos cuarenta y uno.

MANUEL PRADO.

Pedro M. Oliveira.

—————

(1).—Ley N° 8853.—Creando el Consejo Nacional de Conservación y Restauración de lugares históricos, edificios, monumentos, muebles, joyas, pinturas, esculturas, y, en general, de todo objeto que tenga valor histórico o artístico de la época colonial; indicando su constitución; y señalando sus obligaciones y atribuciones.—Anuario de la Legislación Peruana.—Tomo XXXI.—Pág. 77.

*
* *

Nota: Congreso de la Rep., 1941.



1.2. Planteamiento del problema

“Los pavimentos de adoquines han estado presentes en la ingeniería de pavimentos desde el período del Imperio Romano. Pero no es sino hasta el decenio de los 70’s en donde empieza a masificarse el uso de adoquines de concreto en aparcamientos, calzadas vehiculares, viandantes y espacios públicos” (Rivas., 2011)

El inadecuado tipo de pavimento, el mal estado y deterioro que presenta en la actualidad las vías de la plaza Grau de la ciudad de Lampa conllevan a un enfoque que permita preservar el entorno cultural, turístico y colonial, puesto que en las inmediaciones de la plaza Grau se ubica el templo Santiago apóstol, declarado en 1941 monumento nacional.

A través del pavimento de adoquines de concreto se pretende repotenciar el atractivo cultural consecuentemente mejorar el aspecto socio económico de la ciudadanía con el embellecimiento paisajístico del centro histórico de la ciudad rosada.

El presente proyecto de investigación busca determinar la influencia del pavimento de adoquines de concreto en la plaza Grau de la ciudad de Lampa, como alternativa de pavimento óptimo, que permita atender las necesidades de los pobladores a través del desarrollo socioeconómico.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera influye el pavimento de adoquines de concreto como alternativa de pavimento durable y resistente, frente a las solicitudes de tráfico en la plaza Grau de la ciudad de Lampa?



1.3.2. Problemas específicos

- ¿Es más rentable la construcción del pavimento de adoquines de concreto con respecto a los pavimento flexible y rígido, en la plaza Grau de la ciudad de Lampa?
- ¿Cuál es el porcentaje de absorción de las unidades de los adoquines de concreto que se propone utilizar en la plaza Grau de la ciudad de lampa?
- ¿Cuál es el tipo de pavimento óptimo en la plaza Grau de la ciudad de lampa?

1.4. Justificación del estudio

A fin de preservar y repotenciar el atractivo turístico de la ciudad rosada, se propone una alternativa del pavimento de adoquín de concreto en la plaza Grau del centro histórico de Lampa, donde también se ubica la catedral Santiago Apóstol que en 1941 fue declarado como monumento nacional por el Instituto Nacional de Cultura, de manera que permita generar un entorno agradable que brinde durabilidad, resistencia y comodidad al tránsito peatonal así como también vehicular de modo que esta propuesta de pavimento sea económico a largo plazo, es decir durante su vida útil.

El presente proyecto de tesis está enfocado en la importancia del pavimento de adoquines de concreto como alternativa de pavimento estético, durable, resistente y económico de esa manera generar una mejora estructural y ornamental en la plaza Grau en la ciudad de Lampa.

El presente proyecto de investigación permitirá ser una fuente o antecedente en la construcción de pavimentos que involucran a entornos urbanos más aun en centros históricos o coloniales, además de ello se consideran como una solución interesante frente a los pavimentos tradicionales. asimismo, la ventaja de un pavimento de adoquín de concreto por sobre todo tipo de estructura vial es su característica de fácil montaje y



desmontaje lo cual permite en el caso de auscultación destructiva, el reponer totalmente el pavimento con un mínimo costo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El pavimento de adoquines de concreto influye de manera positiva en la resistencia y durabilidad, frente a las solicitudes de tráfico en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.

1.5.2. Hipótesis específico

- La construcción del pavimento de adoquines de concreto es más rentable con respecto a los pavimento flexible y rígido, en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.
- El porcentaje de absorción de las unidades de los adoquines de concreto que se propone utilizar en la plaza Grau de la ciudad de lampa cumple con NTP 399.611
- El diseño de pavimentos de adoquines de concreto es el más óptimo en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del pavimento de adoquines de concreto como alternativa de pavimento resistente y durable, frente a las solicitudes de tráfico, en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar la rentabilidad de construcción del pavimento de adoquines de concreto, pavimento rígido y flexible en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.



- Determinar el porcentaje de absorción de las unidades de los adoquines de concreto que se propone utilizar en la plaza Grau de la ciudad de Lampa
- Diseñar el pavimento de adoquines de concreto, para su construcción en la plaza Grau de la ciudad de Lampa.

1.7. Metodología de investigación

1.7.1. Tipo de investigación

El tipo de Investigación es APLICADA puesto que 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.(Suárez, 2012)

1.7.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es DESCRIPTIVA. Ya que la misma Investiga y determina las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio.

Una de las características principales de la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y de su descripción detallada de las partes. (Suárez, 2012)

1.7.3. Método de investigación

El método de investigación es CUANTITATIVO puesto que plantea una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis.(Suárez, 2012)

1.8. Ubicación Del Proyecto

La plaza Grau, se encuentra emplazado en el centro de la ciudad de Rosada de Lampa, dentro de los límites comprendidas entre los jirones José Gálvez, Jr. José Antonio

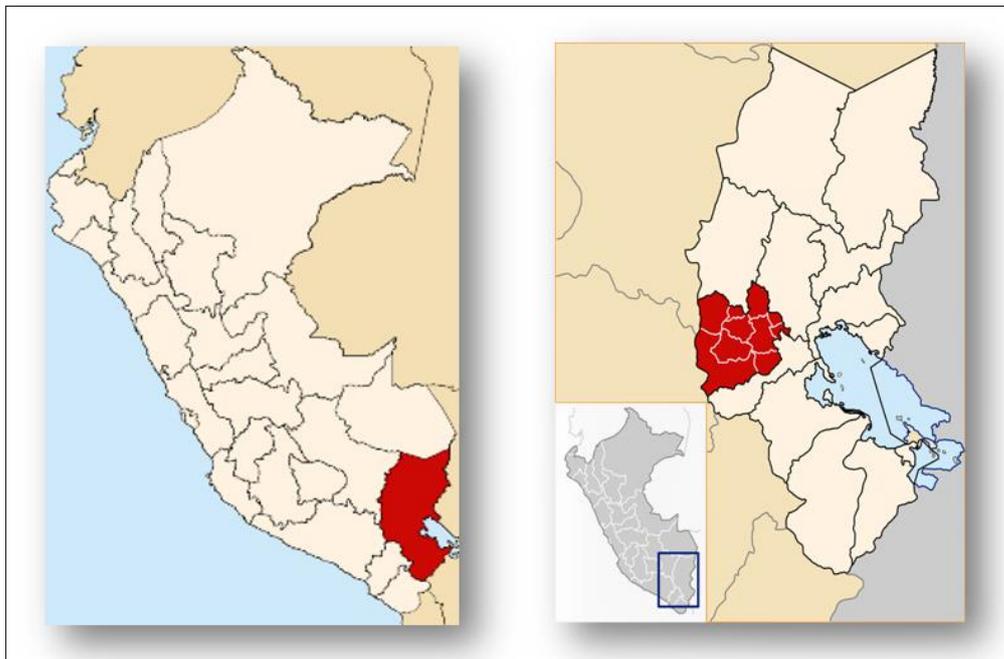
Barrionuevo, municipalidad y jirón More. Como también se encuentra ubicada la catedral Santiago Apóstol declarado como monumento histórico.

1.8.1. Ubicación política del proyecto

Departamento : Puno
Provincia : Lampa
Distrito : Lampa
Zona del proyecto : Plaza Grau

Figura 5

Ubicación política del proyecto de tesis



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

1.8.2. Accesibilidad

La mayor afluencia vehicular se genera en la vía Juliaca – Lampa, para luego continuar el trayecto al ingreso a la ciudad de Lampa por la Av. Arequipa continuando por el jr. J.C. Belón para finalmente interceptarse con el Jr. Municipalidad hasta llegar a la plaza Grau de la ciudad de Lampa.

Figura 6

Imagen Satelital Plaza Grau de la Ciudad de Lampa.



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 7

Plaza Grau de la ciudad de Lampa.



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.



1.8.3. Altitud

La ciudad de Lampa tiene una altitud de 3892 m.s.n.m. se encuentra en la parte central y occidental del departamento de Puno a 15° 21' 54" de latitud sur y 70° 22' 03" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Según la concepción del doctor Pulgar Vidal por su ubicación geográfica pertenece a la región Suni (3500 m.s.n.m. – 4000 m.s.n.m.)

1.8.4. Clima

En invierno presenta un clima frígido con heladas intensas, principalmente entre los meses de junio y julio, en tanto, en el mes de agosto fuertes vientos. Durante la primavera (setiembre - diciembre), es suave y templado. En el resto del año (diciembre - abril) se presentan intensas lluvias, granizadas y nevadas.

1.8.5. Población

Según el último censo del INEI la provincia de Lampa alcanza a 43,207 habitantes, mientras tanto en el distrito de Lampa presenta 13,232 habitantes

1.8.6. Límites

Por el norte: Con la provincia de Azángaro y Melgar.

Por el Sur: Con la provincia de San Román.

Por el Sur Oeste: Con la provincia de Caylloma departamento de Arequipa.

Por el Este: Con las provincias de San Román y Azángaro.

Por el Oeste: Con la provincia de Espinar y Canas departamento de Cusco.

1.8.7. Iglesia de Santiago Apóstol

Declarado monumento nacional por ley Nro. 9342 del 20 de febrero de 1941 su construcción data entre los años de 1675 y 1685, desde cualquier punto de la ciudad se puede apreciar esta fantástica obra arquitectónica colonial, ocupa toda una manzana ubicada en el neurálgico de la ciudad entre la PLAZA GRAU Y LA PLAZA DE ARMAS.



Desde todos los ángulos se visualiza el asombroso contorno y se distingue de forma impresionante con respecto a la ciudad. La iglesia de Santiago Apóstol parece desarrollarse y fomentarse en completa oportunidad, abrumando con su masa y la construcción física y profunda de la ciudad. Siendo el volumen más significativo del conjunto escena – ciudad ya que es la perspectiva y referencia obligada, pues ella resulta el punto de mira y de referencia obligatoria un verdadero patrón de medida entre las laderas envolventes y el enorme cielo azul.

El monumento está incrustado sobre una colosal cámara rectangular totalmente empedrada en base a canto rodados y restringido por ocho pináculos que están ubicadas en cada una de los bordes de lo que antes fue el cementerio parroquial, es decir, como hitos representativos. La cubierta primaria o tejado de la iglesia es a dos aguas, extendiéndose sobre la nave fundamental con un largo borde que presenta una notable caída horizontal de tejas para las dos ciadas. Las tejas revestidas y caleidoscópicas cuelgan en el entorno entregando con el extraordinario altiplano una ronda de luces, vigas y resplandores diversos por do doquier, un notable pináculo de tres cuerpos de aproximadamente treinta y cinco metros de altura se valora en escandalosa derecha de la cubierta principal, construida absolutamente en sillar de tono rosado y unido con la estrategia del calicanto.

Figura 8

Catedral Santiago Apóstol.



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Montañés E. (2018), En su tesis titulado “Pavimentos De Adoquines De Concreto Una Solución Ambiental en La Construcción De Infraestructura Vial Colombiana”. Concluye: La elección del tipo de pavimento a construir, depende de lo que se deba cubrir, pero también del elemento financiero que conlleva la realización de un proyecto de pavimentación de calles, es decir, los costos de desarrollo, mantenimiento y rehabilitación. Últimamente se ha considerado el costo ambiental de llevar a cabo la mejora y el desarrollo de un distrito a través de la infraestructura urbana.

Canterero L, Mendez Douglas (2003), En su tesis “Análisis y evaluación de las características geométricas de los pavimentos de adoquín en las vías rurales de Nicaragua”. Concluye: Deben construirse diseños de pavimentos que puedan llenarse de forma práctica y normal, y que realmente pretendan que, a pesar del desarrollo acelerado del tránsito, se puedan utilizar las construcciones actuales, lo que sugiere la búsqueda de una armonía entre los puntos de vista técnico y el económico.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Scipion O. (2018), En su tesis “Diseño de pavimentos portuarios con adoquines para la durabilidad del patio de contenedores del puerto del Callao, 2018”. Concluye: En que son muchas las ventajas de diseñar un pavimento articulado en un terminal portuario, donde recibirá altas cargas, estáticas como dinámicas Se espera superar el tiempo de vida proyectado



Ramírez W, Zavaleta R. (2017), En su tesis “Estudio Comparativo Del Diseño Del Pavimento Rígido, Semirrígido Con Adoquines De Concreto Y Flexible Para Las Calles Del Sector Vi C- El Milagro- Trujillo- La Libertad”. Concluye: El Diseño de la construcción del pavimento Rígido, Semirrígido con Adoquines de Concreto y Flexible del proyecto presentado, depende de los parámetros del sitio, tomando como factores de información el tráfico, las propiedades mecánicas de los materiales y del suelo del lugar, las circunstancias climáticas, las condiciones de filtración, los grados de trabajabilidad y calidad confiabilidad.

Palacion E. (2016), En su tesis “Determinación de la tasa de infiltración de los pavimentos de adoquines en el casco urbano de la ciudad de Piura”. Concluye: El estado de los pavimentos adoquinados en Piura podría estar relacionado con el ancho de sus juntas. Los pavimentos con anchos de junta más angostos están en mejor estado que los asfaltos con juntas más extensas.

Yesang J. (2016), En su tesis “Propuesta de pavimento de adoquines de concreto para evacuaciones pluviales en la calle Orbegoso del A.H. El Obrero - Sullana – Piura”. En conclusión, hemos detectado que el lamentable estado de las vías de la calle Orbegoso en el A.H. El Obrero de la ciudad de Sullana-Piura se encuentra en un estado lamentable, por lo que es prudente utilizar adoquines de concreto, que trabajen en la ornamentación.

2.1.3. Antecedentes a nivel local

Chambi R, Isidro R. (2017), En su tesis “Estudio Comparativo Técnico-Económico Entre Pavimento Rígido Y Pavimento Flexible Como Alternativa De Pavimentación De La Avenida Circunvalación Del Distrito De Yunguyo, Provincia De Yunguyo – Puno”. Concluye: Todo este conjunto de análisis técnico- económico permite finalmente conocer la alternativa más rentable y la que se ajusta a las condiciones de la zona del proyecto que se quiere plantear.



2.2. Marco teórico

2.2.1. Pavimentos

Un pavimento se compone de un conjunto de capas superpuestas de nivel moderado horizontales, diseñadas y construidas con materiales adecuados y suficientemente compactados. Estas capas estratigráficas se sostienen en la subrasante de una vía, conseguida por los movimientos de tierra en el proceso de exploración y deben soportar suficientemente a las cargas que se transmiten con el tráfico durante el período para el cual se planificó la estructura del pavimento.(Fonseca, 2002)

2.2.2. Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir sus solicitudes debe reunir los siguientes requisitos que se presentan a continuación:

- Debe ser resistente a las cargas de los ejes impuestas por el tránsito vehicular.
- Debe ser firme ante los agentes hídricos de intemperismo.
- Introducir una superficie ajustada a las velocidades previstas. de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene 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 deformación.
- Debe encajar una superficie regular, tanto transversal como longitudinal, que permita una placentera comodidad a los usuarios a partir de las longitudes de onda y velocidad deformadas.



- Debe ser perdurable.
- Debe tener suficientes condiciones de drenaje.
- La conmoción en movimiento en el interior de los vehículos que influyen en el usuario, así como en el exterior que impacta en el clima debe ser dirigida satisfactoriamente.
- Debe ser apropiadamente económico.
- Debe tener la variedad suficiente para alejarse de los reflejos y asombros, y ofrecer una seguridad satisfactoria al tránsito.(Fonseca, 2002)

2.2.3. Clasificación de los pavimentos

En nuestro país se clasifican en:

- Pavimentos de adoquines de concreto.
- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos rígidos.

2.2.4. Pavimentos de adoquines de concreto

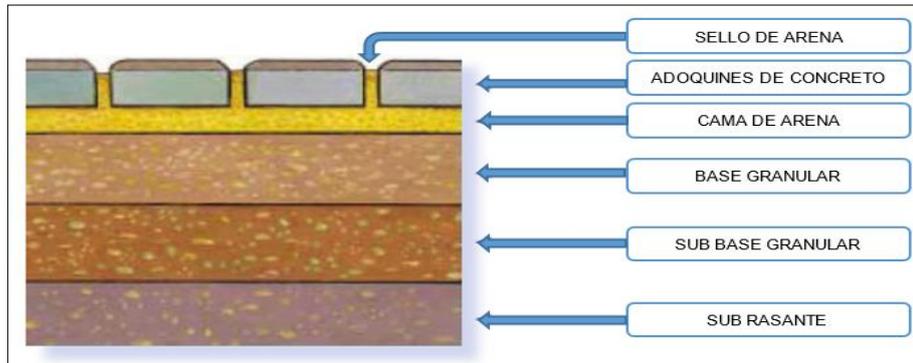
Es un pavimento que normalmente se compone de una base granular, una cama de arena de material seleccionado, adoquines de concreto, arena de sellado, confinamientos de drenaje y laterales, estos desarrollados sobre la subrasante de suelo preparada para su conformación.

Los pavimentos inter trabados se construyen con el objetivo de que las cargas verticales de los vehículos se transmitan por corte a la arena de sellado de las juntas.

Se debe instalar restricciones en los bordes para prevenir el movimiento de los adoquines de concreto debido al tráfico. Estos movimientos pueden provocar la abertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre estos elementos.(R.N.E., 2010)

Figura 9

Estructura de un pavimento articulado.



Nota: (IECA, 2014)

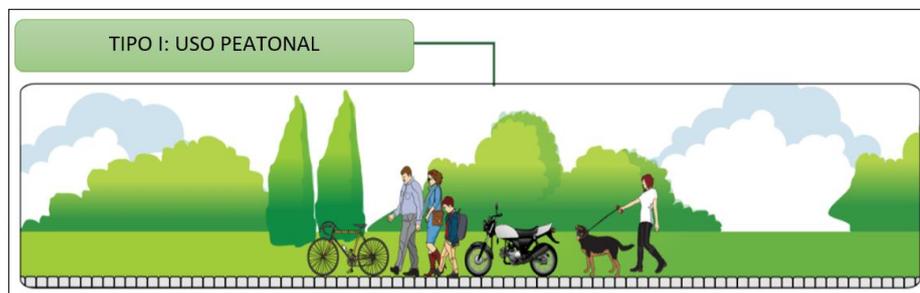
2.2.4.1. Tipos de pavimentos de adoquines

De acuerdo con norma técnica peruana NTP 399.611 se clasifican en:

Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.

Figura 10

Adoquines para uso peatonal.

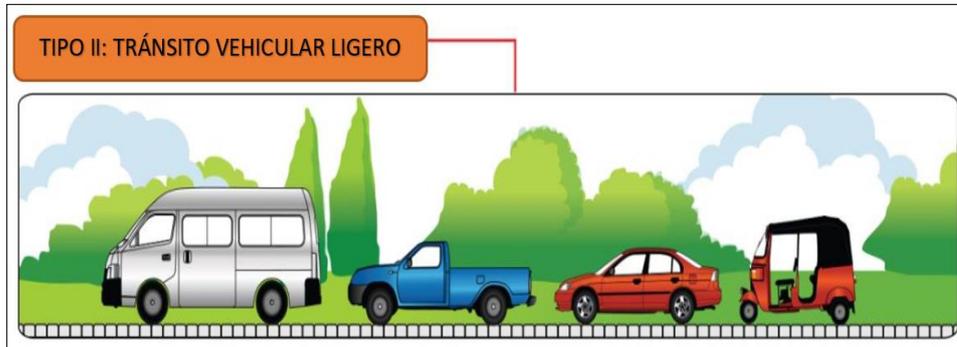


Nota: (ICCG, 2010)

Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

Figura 11

Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

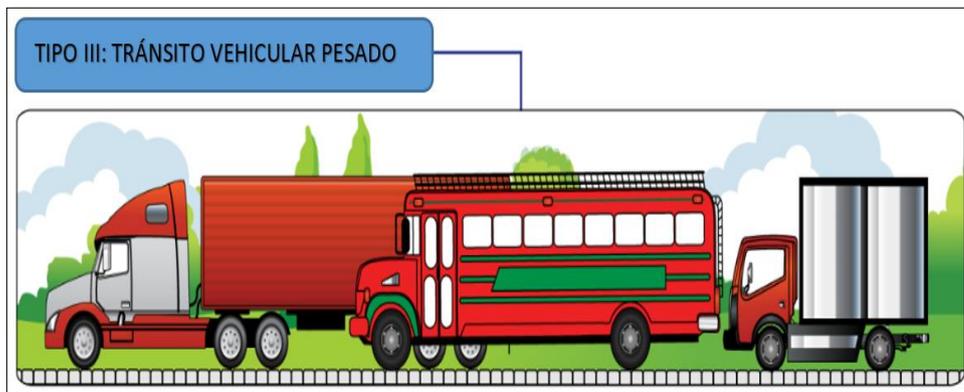


Nota: (ICCG, 2010)

Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Figura 12

Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.



Nota: (ICCG, 2010)

Los requisitos físicos para la utilización de adoquines de concreto se detallan a continuación:

Tabla 1

Espesor nominal y resistencia a la compresión.

Tipo	Espesor Nominal (mm)	Resistencia a la compresión, min. Mpa(kg/cm ²) Promedio de 3 unidades	Resistencia a la compresión, min. Mpa(kg/cm ²) unidad individual
I (Peatonal)	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
II (vehicular ligero)	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
III (Vehicular pesado, patios industriales o de contenedores)	≥80	55 (561)	50 (510)

Nota:(NTP 399.611, 2017).

2.2.4.2. Ventajas y desventajas de los pavimentos de adoquines

Los pavimentos adoquinados, al igual que algún otro tipo de pavimento, gozan de ventajas y desventajas que deciden cuando es adecuado o no seleccionar una respuesta a este tipo.

En consecuencia, más que hablar de ventajas y desventajas es preciso analizar cuando esta solución es adecuada dado el problema que se quiera resolver. por lo tanto, resulta conveniente citar los atributos de los pavimentos adoquinados:

Diversidad

El extraordinario surtido de formas, variedades y superficies con las que se pueden fabricar los adoquines y la variedad de configuraciones potenciales a utilizar, dan al proyectista componentes que adecuadamente formados dan lugar a pavimentos seductores.

Así mismo, al utilizar diversas variedades y superficies es posible incluir dibujos y diseños, señalar o diferenciar áreas con fines explícitos, con la posibilidad de



transformarlos eficazmente si es necesario. En este sentido, los adoquines ofrecen un amplio abanico de posibilidades para la composición y la escenografía de los espacios públicos, más aún en centros culturales e históricos.

- Calidad

Dado que los adoquines de concreto son elementos prefabricados, el control y la confirmación de la calidad pueden realizarse en planta o fábrica, disminuyendo la heterogeneidad de la naturaleza en el lugar. En consecuencia, en el campo el control de calidad de los materiales se centra en las arenas y el material de base, en la terminación a nivel superficial del pavimento y en el control de los ciclos o procesos constructivos de la base, subbase y terminaciones.

- Durabilidad

Las cualidades de los adoquines, la resistencia a la compresión, absorción, resistencia al congelamiento y resistencia a la abrasión, le otorgan una alta durabilidad ante ambientes agresivos, la cual puede superar la vida útil prevista del pavimento.

- Rapidez de puesta en operación

Independiente del método constructivo, manual o mecánico, los pavimentos de adoquines pueden utilizarse inmediatamente después del ensamblaje, lo cual les confiere una ventaja significativa sobre otros tipos de pavimentos, especialmente en aquellos lugares en donde no es posible contar con otras tecnologías de pavimentación.

- Mantenimiento

Dado que los componentes y/o elementos se pueden reponer con facilidad, cualquier deformación provocado por aspectos funcionales o estructurales pueden ser ajustados o corregidos restableciendo completamente la condición de la superficie, igualando al área adyacente del pavimento.



De este modo, se consigue una notablemente homogeneidad en la reparación y/o reposición de infraestructuras de servicios que se encuentren soterradas.

- Condiciones de operación

Debido a la regularidad superficial del pavimento producto de las juntas entre adoquines y las juntas de confinamiento, este tipo de arreglos es apropiada para velocidades de tráfico alrededor de 50 km/h o menos. Por lo tanto, no son razonables para vías con velocidades de operación elevadas. Sin embargo, son componentes eficaces para reducir la velocidad en los pasos peatonales, calles locales e intersecciones, contribuyendo de esta manera a la seguridad vial.

- Reutilización

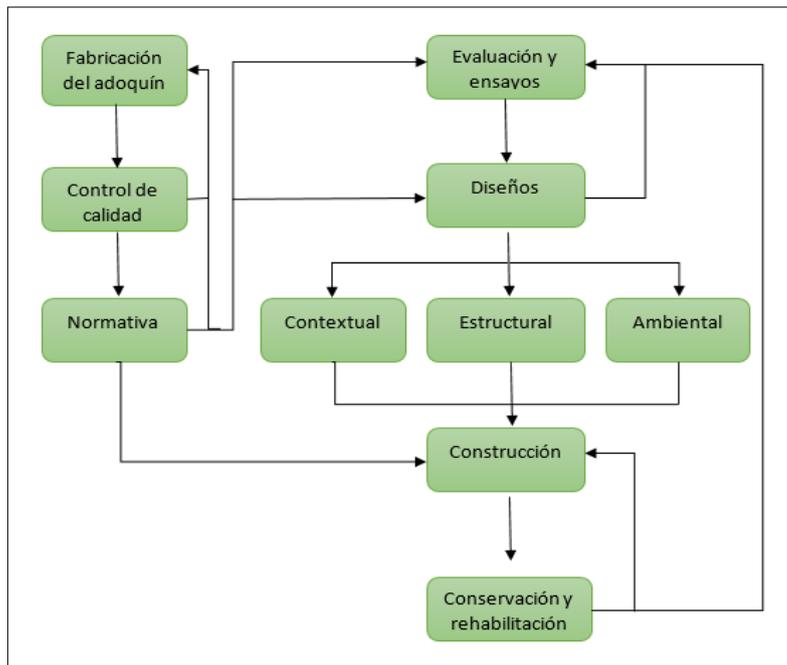
Los adoquines de concreto, en tanto se encuentren sanos o en buen estado (no fracturados o degradadas y cumplan con las características de diseño), pueden reutilizarse para pavimentar, lo cual es ventajoso en términos ecológicos y medioambientales ya que disminuye la cantidad de material de desecho.

2.2.4.3. Tecnología de pavimentación con adoquines de concreto

Al igual que otro tipo de pavimento, los adoquines de concreto son una innovación. Por lo tanto, incluyen un ciclo de existencia que comienza con la producción de los adoquines, su control de calidad, su modelo estructural, construcción y mantenimiento, de acuerdo con las normativas.

Figura 13

Esquema del proceso tecnológico de pavimentación con adoquines de concreto.



Nota: (ICH., 2013)

2.2.4.4. Aplicaciones y solicitudes de los pavimentos de adoquines

Los pavimentos de adoquines son usados para diferentes solicitudes de tránsito. Comprenden desde pavimentos ornamentales hasta pavimentos en puertos y aeropuertos. Mientras que los primeros requieren bajas solicitudes de tránsito, los segundos lo están a solicitudes exigentes. Por tanto, los diseños deben plantearse de manera específica para cada situación.

Tabla 2

Aplicaciones de pavimentos de adoquines según nivel de solicitud y grupo de aplicación.

Nivel de solicitud de tránsito	Grupo de aplicación	Tipo de aplicación
BAJA	Espacios públicos	Veredas
		Plazas
	Residenciales	Ciclovías
		Entradas de vehículos
		Senderos
MEDIA	Proyectos comerciales	Espacios recreacionales
		Pavimentos interiores en Condominios
		Estacionamientos esporádicos
	Caminos y calles	Estacionamientos masivos
		Paraderos de taxi
ALTA	Áreas industriales	Terminales de buses
		Estacionamientos de servicio
		Centros comerciales
		Veredas en parques
		Cruces peatonales
		Calles y pasajes
		Intersecciones
		Plazas de peaje
		Patios de carga en puertos
		Aeropuertos
		Patios de carga en puertos secos
		Zonas militares
		Patios de contenedores
		Rellenos sanitarios

Nota: (ICH., 2013)

2.2.4.5. Clasificación de los adoquines

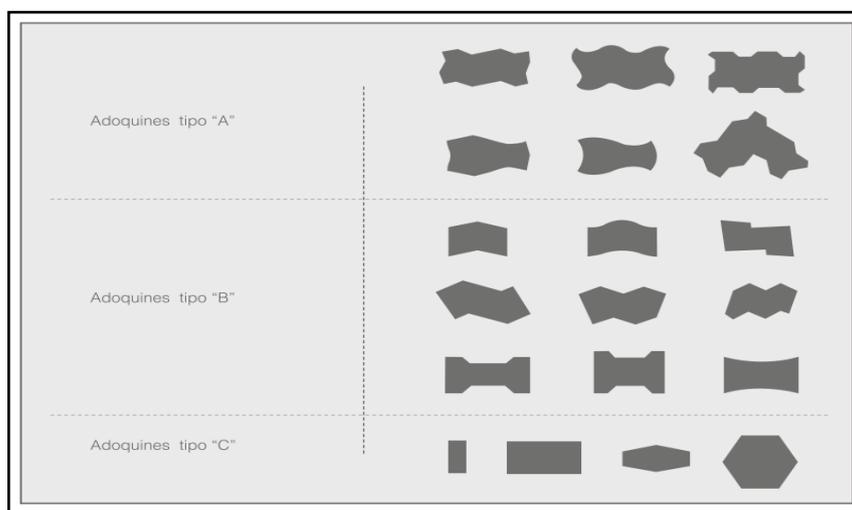
Los adoquines se clasifican en normas internacionales como adoquines tipo “A”, “B” y “C”.

- Los adoquines tipo “A” tienen una correspondencia a unidades dentadas que se traban unas con otras proporcionando las mejores condiciones de intertrabazón ante la aplicación específicas de fuerzas verticales y horizontales.

- Los adoquines tipo “B” muestran una menor inter-trabazón y permite una mejor trabajabilidad ante desplazamientos paralelos a uno de sus ejes.
- Los adoquines tipo “C” en tanto, tienen formas regulares en sus caras y no muestran una inter-trabazón favorable para repeler movimientos longitudinales o rotacionales.

Figura 14

Clasificación de los adoquines



Nota: (ICH., 2013)

La norma ASTM C936-01 nos da una progresión de requerimientos físicos que cada pieza individual deben cumplir, en general cubren las principales perspectivas a controlar.

- Dimensiones: La tolerancia para el ancho y largo debe ser $\pm 2\text{mm}$ y para el espesor $\pm 3\text{mm}$.
- Resistencia: para los proyectos en las que las necesidades de carga son significativas se recomienda que la resistencia individual sea de 50MPa y que la resistencia promedio de la muestra sea superior a 55MPa. En cualquier caso, en proyectos con menores solicitaciones o con fines ornamentales pueden aceptarse resistencias en un rango comprendido entre los 40MPa y 50MPa.



- Absorción: la absorción promedio debe ser inferior al 5% e individualmente inferior al 7%.
- Resistencia a la abrasión: Para los proyectos donde las solicitaciones sean significativas se recomienda que la resistencia individual sea de 50MPa y que la resistencia promedio de la muestra sea superior a 55MPa. No obstante, en proyectos con solicitaciones menores o con fines ornamentales pueden aceptarse resistencias en un rango comprendido entre los 40MPa y 50MPa.
- Resistencia a ciclos de hielo y deshielo: cada pieza no debe perder más del 1% de masa seca después de 50 ciclos de hielo y deshielo.

2.2.4.6. Normativas recomendadas para especificaciones técnicas y ensayos de adoquines de concreto.

En la tabla 3 se resumen las normativas recomendadas a considerar respecto a especificaciones, ensayos de inspección y mantenimiento de adoquines de concreto.

Tabla 3

Ensayos en adoquines de concreto.

Aspecto	Norma	Contenido
Adoquines	ASTM C936 – 08	Especificaciones para adoquines.
	ASTM C1645 – 09	Ensayo de durabilidad ante ciclos de hielo/deshielo.
Ensayo de adoquines	BS EN 1338: 2003	Requisitos y métodos de ensayo para adoquines homologados a norma europea.
Mantenimiento	ASTM E284 – 11	Inspección y evaluación de pavimentos de adoquines.

Nota: (ICH., 2013)

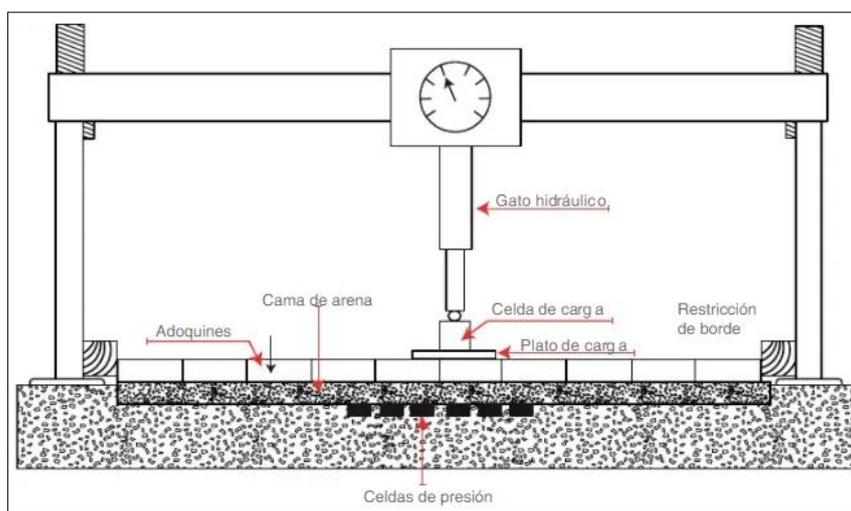
2.2.4.7. Comportamiento estructural de los pavimentos de adoquines de concreto

En 1976, (Knapton, 1980) para establecer un método de diseño, analizó las propiedades mecánicas de este tipo de pavimento. Para ello, ideó un mecanismo que recreaba el uso de cargas verticales estáticas sobre un pavimento de adoquines. (Knapton, 1980)

Los adoquines fueron colocados sobre una cama de arena, de este modo descansaba sobre una base de concreto. La carga vertical fue aplicada mediante un gato hidráulico que accionaba una placa circular de 250mm. Sobre el pavimento conformo una grilla de celdas de presiones sobre la base de concreto para medir la transmisión de tensiones inducidas por la placa de carga, espaciadas cada 250mm x 100mm.

Figura 15

Dispositivo de Knapton para aplicación de carga sobre pavimentos de adoquines

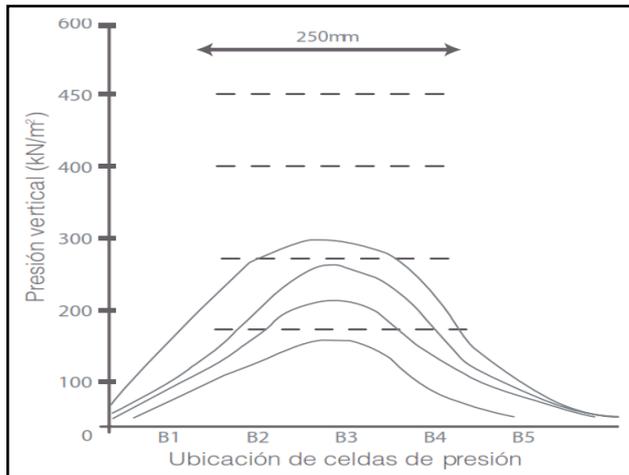


Nota: (Knapton, 1980)

Knapton colocó cargas de hasta 25kN (presiones de hasta 510kN/m²) y registro las presiones obtenidas en las celdas, propio a cada carga aplicada. Con ello formo el grafico de la figura 16, en donde ilustro el cuenco de presiones bajo la cama de arena.

Figura 16

Cuenca de presiones obtenidas por Knapton en su experimento.

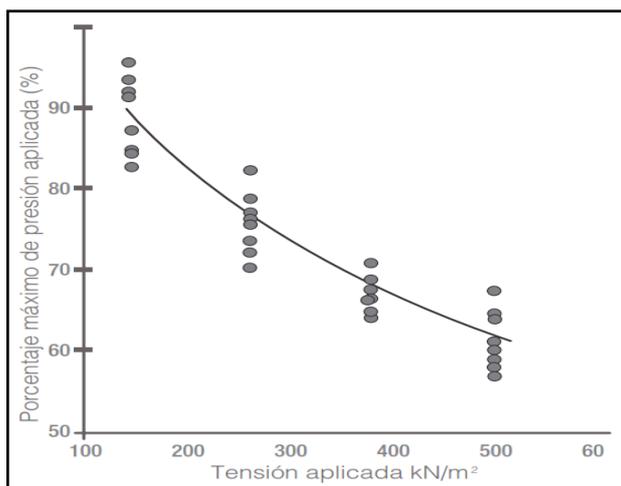


Nota: (Knapton, 1980)

Comprobó que las presiones en las celdas se intensificaban en menor proporción porcentual que las presiones aplicadas en la superficie figura 17, por lo que los adoquines efectivamente disipaban las tensiones.

Figura 17

Porcentaje de reducción de tensiones bajo la placa de carga.



Nota: (Knapton, 1980)

Cotejando estos resultados con la capacidad teórica de disipación de carga en pavimentos bituminosos, Knapton dedujo que una capa combinada de adoquines (80mm) y arena (50mm), era semejante a una capa de 160mm de material bituminoso. De tal manera permitió establecer un método de diseño parecido al de los pavimentos flexibles.

2.2.4.8. *La trabazón mecánica*

La trabazón mecánica se define como “la inhabilidad de los adoquines de moverse aisladamente de sus vecinos y es en esencia un mecanismo de disipación de tensiones” (Vlist, 1980)

Esta es la principal cualidad que caracteriza el comportamiento de los adoquines. El efecto de transferencia de carga entre los adoquines facilita que estos actúen de forma solidaria, más que como piezas rígidas aisladas, lo cual acerca a este tipo de pavimento hacia un comportamiento flexible.

La trabazón mecánica en los adoquines determina en buena parte la capacidad resistente del pavimento, su durabilidad y serviciabilidad. Depende principalmente de la forma del adoquín y del aparejo utilizado, de la dirección de las fuerzas aplicadas y del espaciamiento entre las juntas.

La trabazón de los adoquines se puede catalogar según la investigación de (Lim, 2003), en trabazón vertical, rotacional y horizontal.

- Trabazón vertical: Es importante la transferencia de carga de los adoquines contiguos a través de las juntas. Se consigue mediante el diseño de espesor de las juntas y la compactación del material de relleno de estas. Esto permite que una gran parte de la trabazón vertical se deba a la fricción.

- Trabazón rotacional: Es necesaria para controlar deformaciones y desprendimientos o rotura de adoquines. Está relacionada con el espesor del pavimento, el espacio entre juntas y las restricciones de borde. Particularmente, las restricciones de

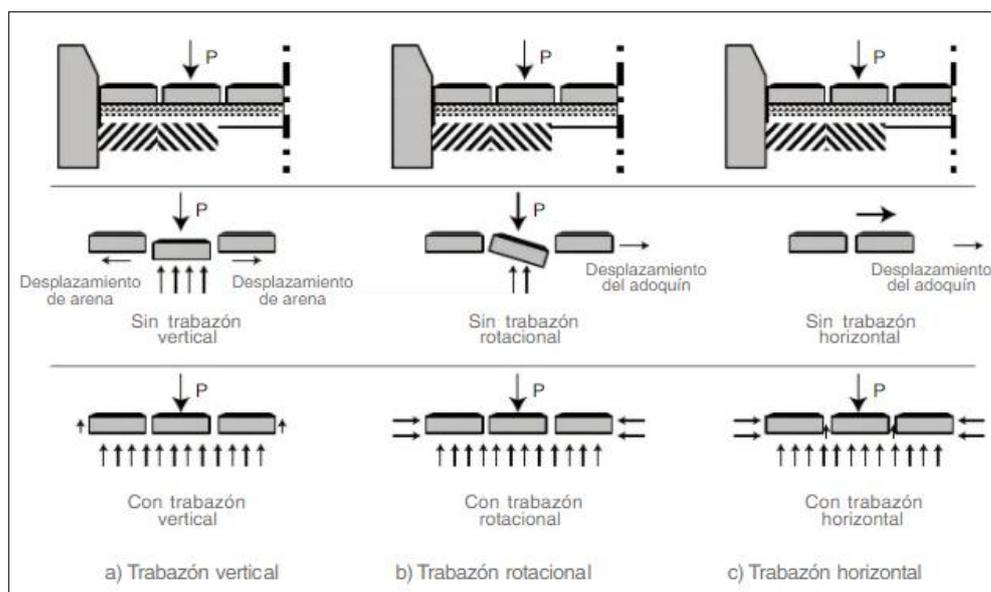
borde limitan el “efecto de arco” que corresponde al levantamiento de dos adoquines contiguos por rotación de los adyacentes. (Sun, 1996)

- Trabazón horizontal: Es necesario para tolerar las fuerzas de corte producidas en maniobras de frenado, giro o aceleración. La resultante de estas fuerzas es el desplazamiento de los adoquines, el cual se puede limitar utilizando formas irregulares y aparejos que minimicen estos desplazamientos.

- Una trabazón mecánica acorde, permite observar las deformaciones permanentes, el desprendimiento y ruptura de los adoquines, así como el tratado del material más fino de la cama de arena.

Figura 18

Trabazón vertical, rotacional y horizontal de un pavimento de adoquín.



Nota: (Knapton, 1980)

2.2.4.9. Efecto conjunto de la forma y aparejo del adoquín

(Lim, 2003) Analizaron ampliamente el impacto del aparejo y forma de los adoquines en la trabazón mecánica. Consideraron dos tipos de adoquines: adoquines lisos

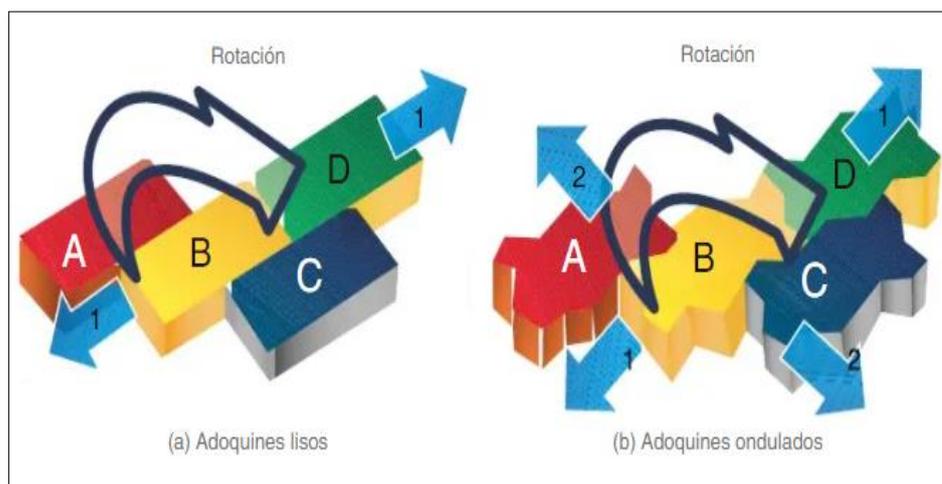
y adoquines ondulados, y dos tipos de aparejos: aparejo lineal y aparejo “espina de pescado”.

La figura 15. Se encuentra graficada el efecto de rotación del adoquín “B” sobre los adoquines “A”, “C” y “D” para el caso del aparejo lineal y adoquines lisos y ondulados. Al someter a rotación al adoquín liso “B” (figura 19a) este es libre de girar en torno a los adoquines “A” y “C”, perdiendo trabazón lateral y produciendo un empuje al adoquín “D”. En este caso, se produce un efecto de cuña en la dirección 1, es la única que permite lograr trabazón entre los adoquines “B” y “D” por contacto directo.

En el caso de adoquín ondulado (figura 19b), la misma ondulación ocasiona trabazón del adoquín “B” con respecto a los adoquines “A” y “C”, impidiendo la rotación libre. Esto conlleva a que el efecto de acuñaamiento por empuje se ejerza en las direcciones 1 y 2, aumentando dicha trabazón en dos sentidos en consecuencia, aumentando la rigidez del conjunto de bloques.

Figura 19

Efecto de la rotación de adoquines lisos y ondulados en aparejos lineales



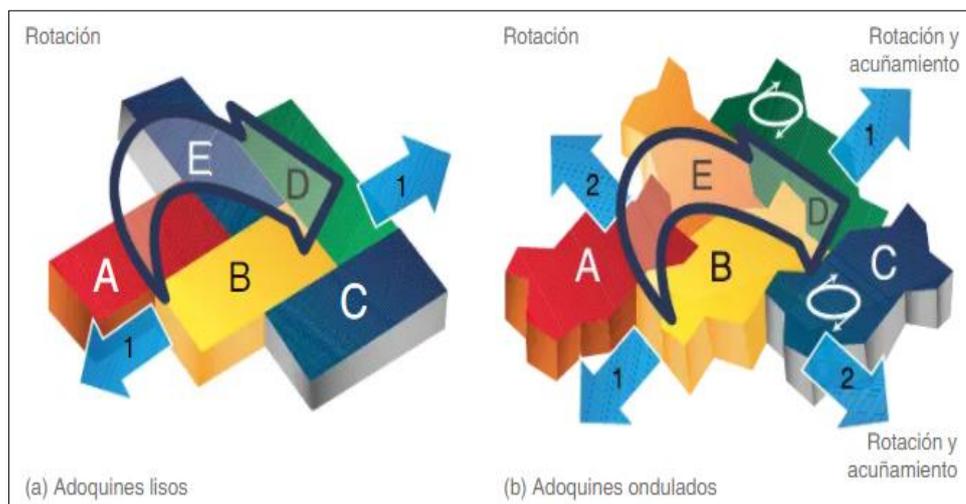
Nota: (Lim, 2003)

Al cotejar ambos tipos de adoquines para el aparejo espina de pescado (figuras 20a y 20b) se llega a los resultados semejantes. En el caso de adoquines lisos (figura 20a), se puede apreciar que la rotación del adoquín “B” también ocurre libremente respecto de los adoquines “A” “C” y “E”, produciéndose un ajuste del adoquín “D” y eventualmente rotación en torno a su eje vertical.

En caso de los adoquines ondulados (figura 20b), el adoquín “B” está imposibilitado de girar libremente respecto de los adoquines “A”, “C” y “E”, produciendo un ajuste en ambas direcciones (1 y 2). Por otro lado, el empuje producido por el adoquín “B”, induce una rotación en torno al eje horizontal de los adoquines “C” y “D”, ampliando el efecto de su ajuste. Por tanto, la trabazón se hace más eficaz en este último caso aumentando aún más la rigidez del conjunto de adoquines.

Figura 20

Efecto de rotación de adoquines lisos y ondulados en aparejos espina de pescado



Nota: (Lim, 2003)

2.2.4.10. Efecto del ancho de junta

El efecto de trabazón está relacionado estrechamente con el comportamiento de las juntas. Esto se debe a que el grado de la trabazón es otorgada por la fricción entre adoquines y la arena que se agrega a las juntas, siempre y cuando estas tengan una anchura satisfactoria para que este fenómeno ocurra.

Como se ha referido más arriba, los mecanismos principales de contacto entre adoquines se producen por la rotación y desplazamiento. Desde un punto de vista, la rotación permite inducir el efecto de acuñamiento, lo cual comprime la arena y eventualmente permite el contacto directo entre adoquines. Por otra parte, el desplazamiento vertical permite generar trabazón por fricción, y el desplazamiento horizontal por compresión de la arena intersticial. En los dos casos, la eficiencia de la trabazón está condicionada por el grado y número de ciclos de compactación de la cama de arena y de la arena en las juntas.

2.2.4.11. El comportamiento a la fatiga

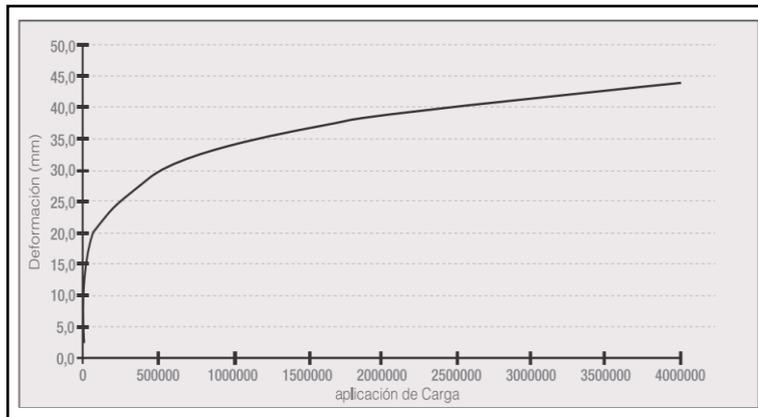
La variable principal que describe el comportamiento de fatiga de los pavimentos de adoquines es la deformación permanente. La mayoría de las investigaciones del efecto de las variables de diseño utilizan como criterio de comparación las deformaciones permanentes. razonablemente, las deformaciones permanentes se acumulan en el tiempo en la medida que el pavimento recibe aplicaciones de carga, hasta llegar a un máximo y estabilizarse Figura 21.

El proceso de acumulación de deformaciones está firmemente relacionado con la compactación durante la construcción, la compactación da comienzo a la densificación inicial, a la cual posteriormente se les suma la deformación debido a las cargas de tráfico.

En esta etapa posterior, los efectos combinados de carga y clima deciden el proceso de progresión de las deformaciones (Armstrong, 1986).

Figura 21

Progresión de las deformaciones permanentes en pavimentos de adoquines



Nota: (van der Heijden, 1985)

2.2.4.12. Variables que describen el comportamiento de los pavimentos de adoquines

Como indica(Shakel, 2003) los elementos que influyen el desempeño de los pavimentos de adoquines de concreto se pueden clasificar según la Tabla 4

Tabla 4

Factores que determinan el desempeño de los pavimentos de adoquines de concreto

Componente del pavimento	Factores de desempeño
Adoquines de concreto	Espesor
	Forma
	Resistencia
	Aparejo
	Ancho de la junta
cama de arena	Condición de borde
	Espesor
	Granulometría
	Angularidad
	Dureza
base y sub base	Grado de humedad
	Composición petrográfica
	Espesor
	Granulometría
	Plasticidad
	Resistencia y durabilidad
	Compactación



sub rasante	Tipo de suelo Rigidez y resistencia Grado de humedad
-------------	--

Nota: (Shakel, 2003)

- Adoquines de concreto

la función de los adoquines de concreto es generar una superficie de rodadura resistente, durable, estético y funcional, que permite transmitir y disipar tensiones a las capas inferiores y además restringir las deformaciones.

Para cumplir este objetivo es importante conocer el modo de comportamiento de los diferentes elementos o factores que determinan el desempeño del pavimento.

- Espesor del adoquín

Las pruebas de carga estática y dinámica realizados desde los años 80 han coincidido en señalar que las deflexiones y las deformaciones permanentes en el pavimento son considerablemente menores con adoquines de 80mm que con adoquines de 60mm, en circunstancias similares. Con los adoquines de 100mm la ventaja adicional no es tan acentuado para cargas de tráfico bajas, sin embargo, lo es para cargas de tráfico altas como en puertos, sitios industriales y aeropuertos.

- Forma del adoquín

La configuración del adoquín de concreto repercute en la distribución de tensiones por trabazón mecánica. Las deflexiones son menores con los adoquines ondulados que con los lisos, es por ello la gran importancia de la forma de los adoquines de concreto.

Resistencia mecánica del adoquín

(Shakel., 1980) y (Ghosh A.K, 2002) demostraron que la resistencia a la compresión del adoquín no es decisivo en el desempeño estructural, sin embargo, es decisivo para controlar otros parámetros de desempeño, como la resistencia a ciclos de congelación/descongelación y al efecto agresivo del sulfatos.

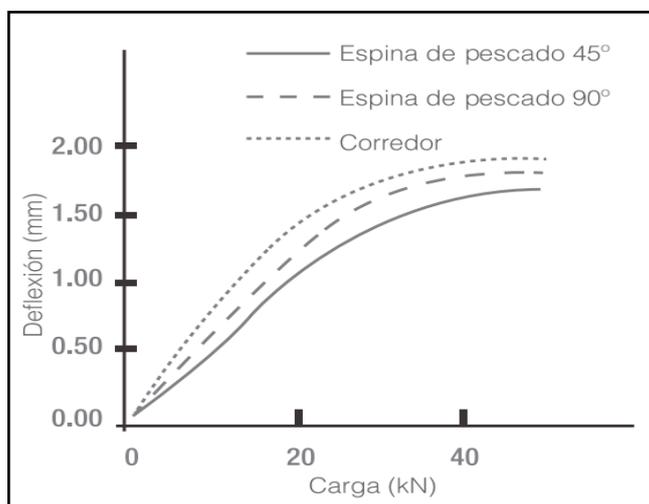
- Aparejo

El término aparejo comprende la forma en que los adoquines se distribuyen en el sentido predominante del tráfico o tránsito.

(Lim, 2003) fundamentan esta realidad en los hechos experimentales de (Shakel., 1980) que estimaron las deformaciones verticales para diferentes aparejos y obtuvieron las menores en aparejos espina de pescado a 45° y las mayores con los aparejos de corredor. Este hecho se visualiza en la figura 22.

Figura 22

Efecto del aparejo en las deformaciones de pavimentos



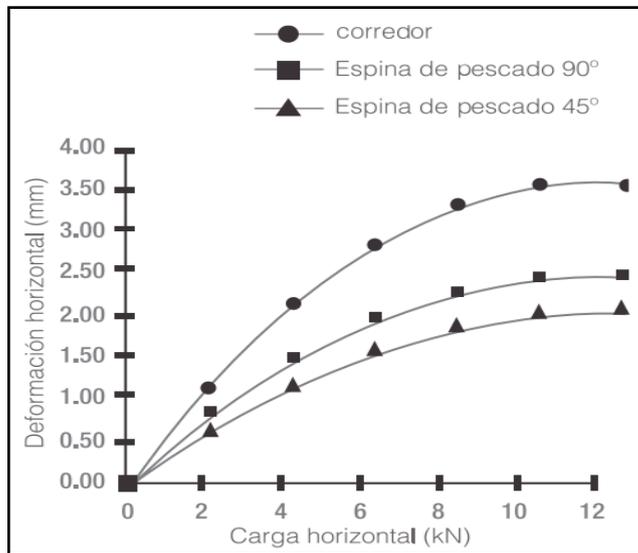
Nota: (Shakel., 1980)

La figura 23 muestra además el impacto del aparejo en los desplazamientos horizontales, que son habituales en las pendientes. La muestra que el aparejo espina de pescado a 45° es más eficiente o perdurable para limitar las deformaciones horizontales.

Figura 23

Efecto del aparejo en las deformaciones horizontales de pavimentos para adoquines

lisos de 60mm y ancho de junta 3mm



Nota: (Nor, 2006)

- Ancho de la junta

El ancho de las juntas y el material de sellado desempeñan un papel importante en el intercambio de tensiones entre los adoquines. El rango de variación del ancho de juntas, dentro de la cual reacción subyacente del pavimento es ideal, está comprendida entre los 2mm y 7mm. Cuando el ancho de junta es menor a 2mm, las juntas no están totalmente llenas de arena incluso después de la compactación. (Nor, 2006)

Cuando el ancho de junta es superior a 7mm queda sin efecto la trabazón mecánica, facilitando desplazamientos verticales, rotacionales y horizontales. (Nor, 2006) encontraron experimentalmente que a medida que el ancho de la junta aumenta, las deflexiones aumentan también, independientemente del aparejo, del tipo y espesor del adoquín.

(Ghosh A.K, 2002) Encontró que para anchos de junta entre 2mm y 4mm, la ausencia de arena aumenta en un 200% las deflexiones. Por ello, es recomendable utilizar por diseño un ancho de junta del orden de 3mm.

- Condición de borde

Las condiciones de borde se agrupan en dos tipos. Una, el confinamiento lateral, que controla las deformaciones en los bordes del pavimento producto de expansión térmica o por cargas de tráfico de borde (Bullen, 1994). Otra, los anclajes intermedios que están destinados esencialmente a controlar los desplazamientos horizontales en grandes extensiones de pavimentos de adoquines (Nor, 2006)

- Cama de arena

La función de la cama de arena es actuar como base para la conformación de adoquines y permitir la consolidación producto de la compactación y paso de tráfico en los primeros años de vida del pavimento. Para satisfacer adecuadamente su capacidad, la cama de arena debe caracterizarse en cuanto a su ancho y sus propiedades físicas. Esto garantizará su durabilidad en un periodo largo, especialmente ante la aplicación de cargas pesadas repetidas como es el caso de camiones y buses.(Beaty, 1996)

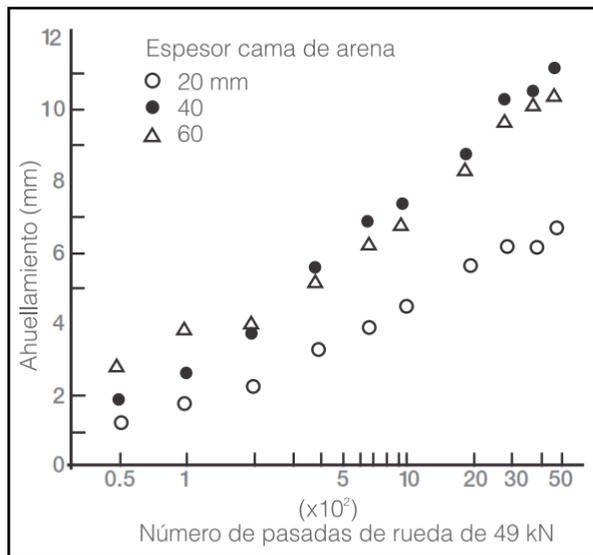
- Espesor de la cama de arena

El espesor de la cama de arena está relacionado con su capacidad para controlar las deformaciones verticales. Esta capacidad queda determinada, además, por la eficacia de la compactación y por la uniformidad del espesor.

(Ghosh A.K, 2002) Observaron que la utilización de espesores inferiores a 50mm no afecta significativamente las deformaciones. Consistentemente con este resultado, (Miura, 1984) vio que a medida que el espesor de cama de arena disminuye. Disminuye también la deformación del pavimento. Es por ello la recomendación del uso de espesores entre 20mm y 40mm.

Figura 24

Influencia del espesor de la cama de arena en las deformaciones verticales



Nota:(Miura, 1984)

- Granulometría

La granulometría de la cama de arena decide su resistencia al corte.(Ghosh, 2002) indicaron que el uso de arenas gruesas aumenta la resistencia a los movimientos verticales, lo cual favorece su utilización en pavimentos de alto tráfico. En general, la práctica de diseño se sugiere usar arenas con un porcentaje de finos de hasta un 5%. (Ghosh, 2002) y (Livneh., 1988) Demostraron que las arenas con índices de finos superiores al 5% incrementa las deformaciones. Por lo tanto, este valor aborda el nivel de finos más extremo.

- Angularidad

La angularidad está relacionada con el origen de las arenas. Esta propiedad determina la resistencia al corte. (Ghosh, 2001) analizaron arenas de diversos orígenes, encontrando que las arenas procedentes del chancado ofrecen resistencias al corte significativamente mayores que las arenas de río. Por otra parte, las arenas utilizadas en las juntas requieren una menor angularidad, un tamaño máximo menor y una capacidad



mayor de dilatación, a fin de lograr un mejor comportamiento friccional (Shakel., 1980) y (Panda, 2002)

- Dureza de las partículas

(Dawson, 1988), sostienen que la propiedad física más relevante para lograr resistencia en la cama de arena es la dureza de las partículas, por lo que es prudente mantener al margen partículas que se fracturen fácilmente.

- Humedad

La humedad de la cama de arena influye directamente en la resistencia al corte. La práctica común es restringir la humedad de las arenas al 8% (Shakel., 1980) considera que en un rango de humedad entre 4% y 8% se logra la mayor eficiencia en la compactación, siendo deseable un valor de 6%.

- Composición petrográfica

La composición petrográfica de las arenas está relacionada con la dureza de los componentes minerales.

(Burak, 2009), explica que las arenas con contenidos de cuarzo son las más adecuadas, así como las que tienen sílice. El instituto de adoquines de hormigón de estados unidos, (ICPI, 2004) fomento una progresión de ensayos sobre arenas con distintas proporciones de sílice, concluyendo que los mejores comportamientos se dan en aquellas que poseen un mayor porcentaje de sílice.

- Base y subbase

Al igual que los distintos tipos de pavimentos la base y sub base tienen por objetivo disipar las tensiones que recibe desde las cargas superficiales y transmitir las uniformemente al terreno de fundación, para controlar las deformaciones a largo plazo.



La base y sub base pueden estar compuestas por suelos granulares o tratadas con asfalto o cemento. Los principales parámetros de desempeño son el espesor y la calidad, expresadas en términos de granulometría, plasticidad y resistencia.

El espesor o altura de base y sub base es uno de los principales factores de diseño. Todos los métodos de diseño coinciden en que mayores espesores permiten lograr una mayor resistencia y durabilidad del pavimento.

Los primeros métodos de diseño de base utilizan espesores mínimos de 100mm a 150mm, de ese modo controlar las deformaciones permanentes (Livneh., 1988). Estos espesores mínimos asumen valores medios de capacidad de soporte medida con el ensayo CBR (California Bearing Ratio) del 40% para la sub base y 60% para la base, asumiendo para la sub rasante un CBR entre 2% y 8%. Esto garantiza además un buen comportamiento resiliente de la base y sub base. Del mismo modo para garantizar la drenabilidad y resistencia a las heladas, algunos estudios sugieren considerar bases y sub bases con índices de finos inferiores al 15%, baja plasticidad y espesores superiores a los 250mm (Beaty, 1996). Dado que la humedad influye directamente la resistencia de las bases y sub bases granulares, el control de la humedad durante la compactación permite también controlar la resistencia.

- Sub rasante

Para un determinado grado de tráfico, es la resistencia de la sub rasante la que decide la estructura del pavimento y por tanto el espesor de cada una de las capas que constituyen la misma. La gran mayoría de los métodos de diseño utilizan para caracterizarla el valor CBR, en cualquier caso, teniendo en cuenta las limitaciones de este indicador. No obstante, existe una corriente creciente en la ingeniería de pavimentos y en particular en el caso de los pavimentos de adoquines, de estudiar más bien el



comportamiento resiliente, ya que permite caracterizar de una manera más exacta el comportamiento a la fatiga de la sub rasante.

2.2.4.13. Especificaciones para la construcción de pavimentos de adoquines de concreto.

- Materiales.

a) *Cama de arena.*

Se utilizará para la cama de arena de los adoquines de concreto, material de origen aluvial, sin trituración, libre de finos plásticos y materia orgánica, debiendo cumplir los siguientes requisitos:

o Granulometría.

la granulometría de la arena deberá ceñirse al R.N.E. C.E.10 tabla 19 y 20: Agregados, especificaciones normalizadas para agregados en concreto, como se indica a continuación.

Tabla 5

Granulometría de la arena para soporte de adoquines

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,50 mm (3/8")	100
4,75 mm (N° 4)	95 - 100
2,36 mm (N° 8)	80 - 100
1,18 mm (N° 16)	50 - 85
600 µm (N° 30)	25 - 60
300 µm (N° 50)	10 - 30
150 µm (N° 100)	2 - 10
75 µm (N° 200)	00 - 01

Nota: (R.N.E., 2010)

o Limpieza

El equivalente de arena deberá estar contemplada con la NTP 339.146 o MTC E 114. Sistema de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino, deberá ser mínimamente 60%.



Descarga de arena: previo a la descarga la arena, esta obedecerá a estar ligeramente humedecida, preferentemente esta actividad deberá ser realizada en horas de la mañana.

b) *Adoquines*

Deberán estar contempladas en la NTP 399.611 Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos: espesor y resistencia a la compresión.

Su textura deberá ser idónea y esta facilitará una superficie lisa y resistente al desgaste.

c) *Arena para sello*

La arena que se utilizará para el sello de juntas entre los adoquines será de origen aluvial sin trituración, libre de finos plásticos, materia orgánica u otras impurezas. Su granulometría tendrá que ceñirse a los límites mostrados en el siguiente cuadro.

Tabla 6

Granulometría de la arena para soporte de sello

Tamiz	Porcentaje que pasa
2,36 mm (N° 8)	95 - 100
1,18 mm (N° 16)	70 - 100
600 µm (N° 30)	40 - 75
300 µm (N° 50)	20 - 40
150 µm (N° 100)	10 - 25
75 µm (N° 200)	0 - 10

Nota: (R.N.E., 2010)

d) *Base y sub-base granulares*

En el Reglamento Nacional de Edificaciones, sección Pavimentos Urbanos ANEXO F, tabla F7, señalan las características de la base y sub base granular.

Tabla 7

Requerimiento de calidad para base y su base granular

	Base granular	Sub base granular
CBR (mínimo)	80%	30%
Índice plástico	≤ 6	≤ 10
Límite líquido	≤ 25	≤ 25
Compactación (densidad AASHTO T - 180)	$\geq 95\%$	$\geq 95\%$
Espesores mínimos (mm)	100 para EAL <500000 150 para EAL ≥ 500000	100

Nota: (R.N.E., 2010)

- Compactación

Esencialmente, el engranaje fundamental para la ejecución de los trabajos comprende de; vehículos organizados para el transporte de adoquines para prevenir la modificación de la naturaleza de dichas piezas, vehículos para el transporte de arena, una vibrocompactadora de placa e instrumentos manuales como rieles, reglas, tiras, martillo de goma, palas, cepillos, etc.

- Requerimientos de construcción
 - o Preparación de la superficie existente

La capa de arena de soporte de los adoquines no se extenderá hasta que sea comprobada que la superficie sobre la cual se va a colocar el adoquín de concreto tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas.

- o Colocación y nivelación de la capa de arena.

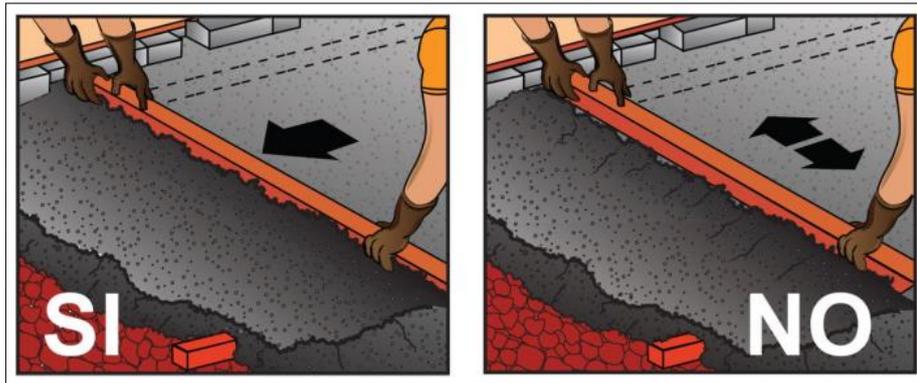
Se tendrá cuidado en el vaciado de arena seca y también en el espesor uniforme, tal que luego de ser nivelado el pavimento tenga un espesor promedio entre 3 cm y 5 cm.

Si la arena ya esparcida sufre algún tipo de compactación antes de instalar los adoquines, se ajustará con la acción repetida de un rastrillo, para devolverle su carácter suelto y se enrasará de nuevo.

La capa de arena se extenderá sincronizadamente con el emplazamiento de los adoquines, de manera que no quede a media instalación el colocado de adoquines de concreto al término de la jornada de trabajo.

Figura 25

Nivelación de la cama de arena



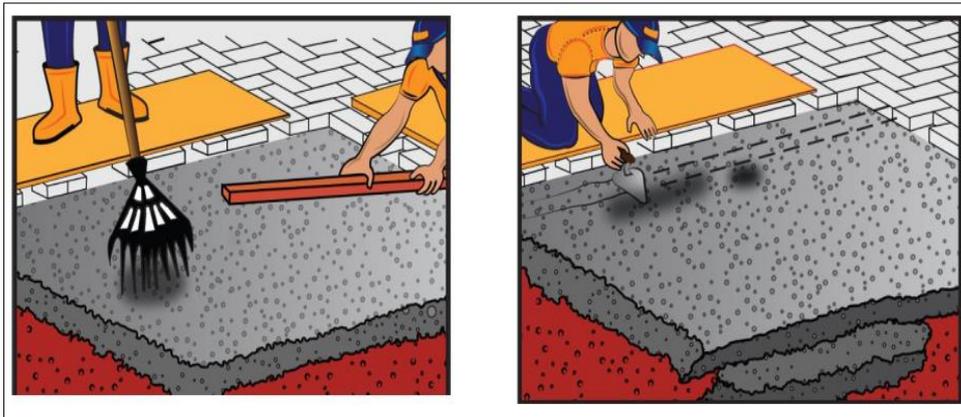
Nota: (ICCG, 2010)

- Uniformidad de la superficie

La capa exterior de la arena nivelada debe ser uniforme, sin aberturas ni arañazos ni huellas. En caso de que esta superficie esté alterada o compactada por personas, animales, vehículos, etc., antes de la limpieza, la zona alterada debe aflojarse con un rastrillo u otra herramienta similar y nivelarse de nuevo con una pequeña regla. Las huellas dejadas por los rieles cuando se eliminan deben cargarse igualmente con arena libre y alisarse con una pequeña regla con la consideración adecuada para no dañar la superficie vecinas ya terminadas.

Figura 26

Uniformidad de la superficie de cama de arena



Nota: (ICCG, 2010)

- Colocación de los adoquines

Los adoquines se emplazarán sobre una capa de arena completamente nivelada, a tope unos con otros, de manera que generen juntas que ajustarán a los adoquines de concreto y estas no deberán exceder los 3mm.

El emplazamiento de adoquines seguirá un orden uniforme, evitando desplazamientos de los adoquines ya colocados, las mismas que se controlan a través de hilos para resguardar su alineamiento transversal y longitudinal.

Figura 27

Colocación de los adoquines

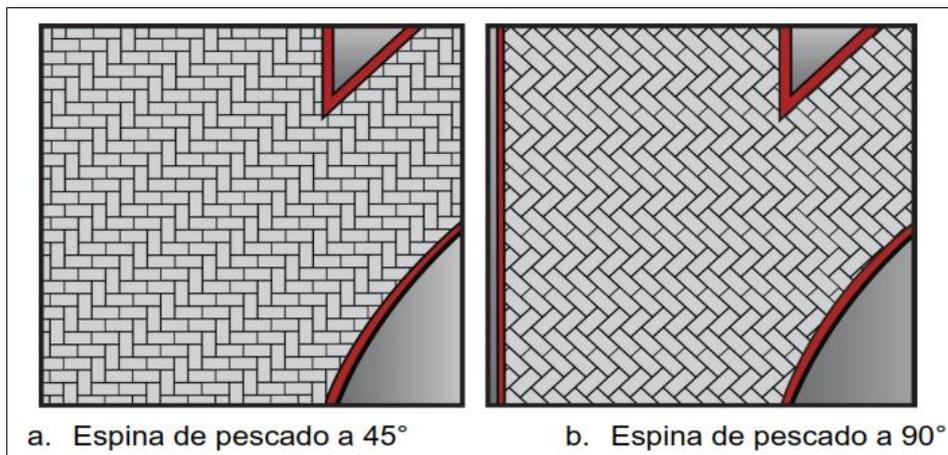


Nota: (ICCG, 2010)

Si los adoquines son forma rectangular con relación largo/ancho de 2/1, el tipo de colocación será de la forma espina de pescado, dispuestos en cualquier ángulo sobre la superficie en la cual se colocará, modelo que se seguirá de manera continua, sin necesidad de variar su rumbo al doblar esquinas o seguir trazados curvos.

Figura 28

Colocación de los adoquines

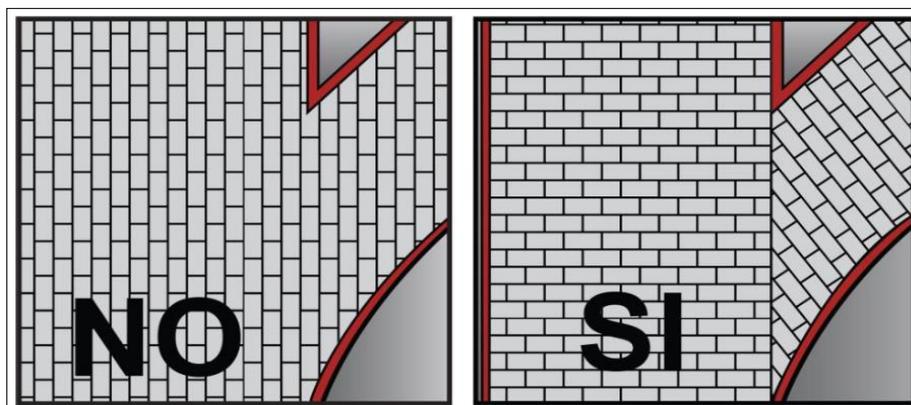


Nota: (ICCG, 2010)

Si los adoquines se distribuyen en hileras, tendrán que cambiar de orientación para así respetar la perpendicularidad a la dirección preferencial de circulación de vehículos.

Figura 29

Patrón en hileras de adoquines rectangulares

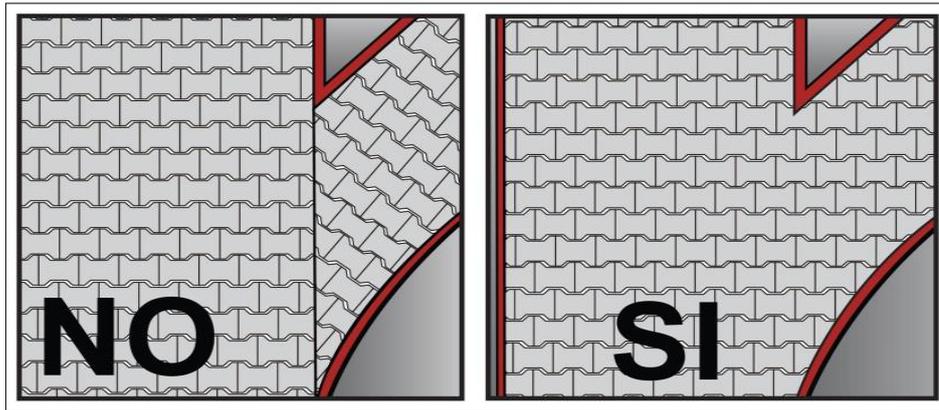


Nota: (ICCG, 2010)

Los adoquines de concreto se colocarán en hileras perpendiculares a la dirección preferencial de circulación, pero sin transformar el sentido al doblar esquinas o seguir trazados curvos.

Figura 30

Patrón en hiladas de adoquines NO rectangulares

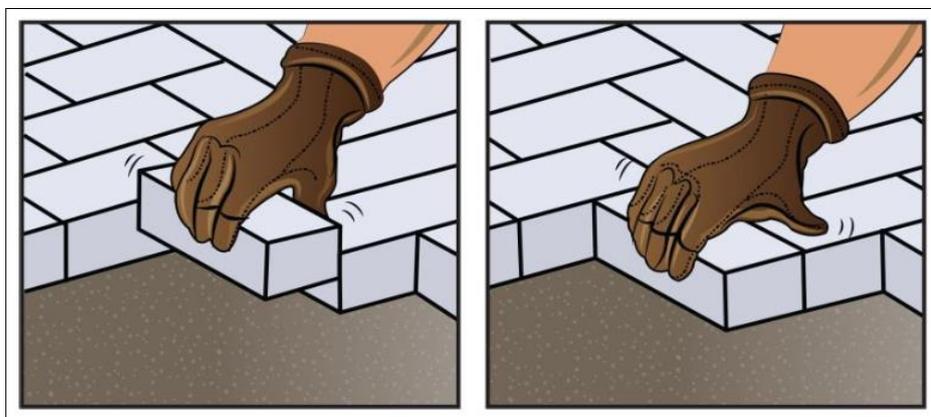


Nota: (ICCG, 2010)

Los adoquines no se nivelarán ni ajustarán individualmente, pero si se podrán ajustar de forma horizontal para conservar el alineamiento. Para zonas en pendientes, el emplazamiento de los adoquines se hará preferentemente de abajo hacia arriba.

Figura 31

Método “click and drop” (golpear y soltar)



Nota: (ICCG, 2010)



- Ajustes

Una vez emplazados los adoquines dentro de área de trabajo, se realizarán ajustes en las áreas que hayan quedado libres contra las estructuras de drenaje o confinamiento.

Estos ajustes se realizarán, preferentemente, cortando adoquines en piezas con la forma necesaria para su colocación.

Para acondicionar áreas cuya dimensión sea inferior a la cuarta parte del tamaño de un adoquín de concreto, estas se harán después de la conformación y compactación final, empleando un mortero compuesto por un diseño de mezclas requerido.

- Compactación

- a) Compactación inicial

Una vez terminado el acondicionamiento con piezas partidas, se procederá a la compactación inicial de la capa de adoquines de concreto, mediante el apisonado de una vibro compactadora de placa, por lo menos 2 pasadas en direcciones perpendiculares.

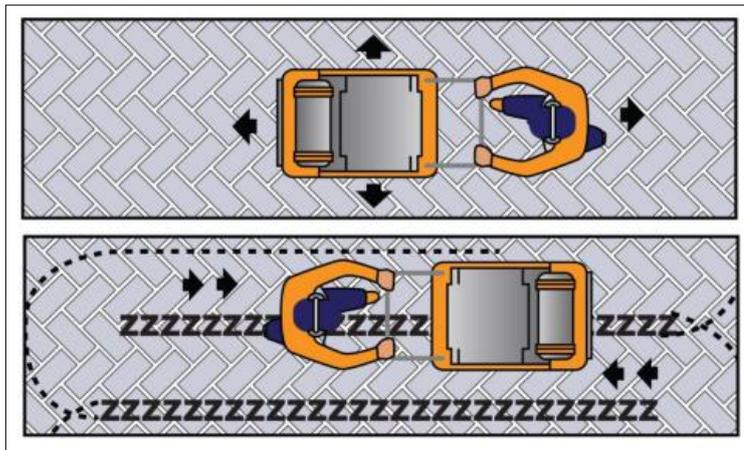
La superficie adoquinada se compactará hasta un metro del margen del avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al término de la jornada de trabajo, los adoquines de concreto deberán haber recibido, como mínimo la compactación inicial, excepto en la franja de un metro recién descrita. (M.T.C. EG, 2013)

Los requisitos de la compactación inicial en pavimentos de adoquines son:

- En primer lugar, Enrasar la capa de adoquines para enmendar cualquier irregularidad en el espesor durante su emplazamiento.
- Posteriormente iniciar la compactación de la cama de arena de asiento de los adoquines.
- Para luego continuar con el llenado parcial de las juntas desde la cama de arena de asiento hacia arriba y con ello el asegurar los adoquines. (ICCG, 2010)

Figura 32

Compactación inicial



Nota: (ICCG, 2010)

b) Compactación final y sello de juntas

Seguidamente después de la compactación inicial, se adherirá la arena de sello sobre la superficie en una cuantía semejante a una capa de 3mm de espesor y se limpiará repetidamente en distintas direcciones, con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras.

En el momento de su utilización, la arena deberá encontrarse lo suficientemente seca para adentrarse con facilidad por las juntas.

Figura 33

Sellado de juntas



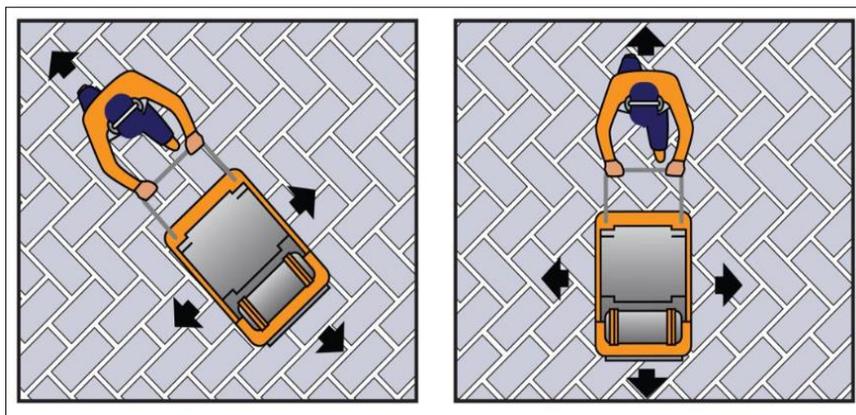
Nota: (ICCG, 2010)

Finalmente se aplicará la compactación, durante la cual cada punto del pavimento tendrá que recibir al menos 4 pasadas del equipo placa vibro compactadora, preferiblemente desde distintas direcciones.

No se autorizará el tráfico de vehículos hasta que la compactación final y el sello de juntas hayan sido realizados y a su vez aprobados por el supervisor.

Figura 34

Compactación final



Nota: (ICCG, 2010)

c) Confinamiento

Los pavimentos de adoquines deberán tener una configuración de confinamiento que imposibilite su desplazamiento lateral por motivo del empuje horizontal del tránsito vehicular.

Las estructuras de confinamiento deberán bordear completamente el área pavimentada y estar diseñadas para mantenerse estáticas, aun cuando estas reciban impactos causados por las llantas, así mismo deberán introducirse por lo menos 15 cm en la capa base que se ubicará bajo la capa de arena y su nivel superior recubrirá como mínimo la mitad del espesor del adoquín.



d) Apertura de tránsito

La circulación de vehículos no está permitida hasta que el pavimento de adoquines haya recibido la compactación final y esté del todo confinado.

e) Limitaciones en la ejecución

Ninguna de las actividades que forman parte de la construcción del pavimento de adoquines cuando haya precipitaciones pluviales. Si la cama de arena que sirve de base a los adoquines ha soportado precipitaciones pluviales o agua de escorrentía, deberá ser retirada y reemplazada por una arena suelta de humedad baja y uniforme.

Si se tenían adoquines emplazados sin compactar ni sellar, se observará si el agua ha producido erosión de la arena por debajo de las juntas y en caso de haya sucedido se deberá de retirar los adoquines, la capa de arena y repetir el trabajo nuevamente.

f) Conservación

Durante un tiempo no inferior a dos semanas, se dejará un sobrante de arena extendida sobre el pavimento terminado, de manera que el tránsito y las posibles lluvias ayuden a acomodar la arena en las juntas.

No se deberá mojar el pavimento con chorro de agua a presión, antes ni después de su construcción.

2.2.4.14. Estado de tensiones en pavimentos de adoquines

En los pavimentos habituales o tradicionales el estado de tensiones se obtiene con el modelo elástico multicapa de Boussinesq, que permite calcular el bulbo de presiones y el estado de deformaciones en cualquier punto que se aplica una carga.

Sin embargo, en pavimentos articulados el modelo no resulta apropiado debido a la variedad de materiales y a la rigidez de las capas que componen este tipo de pavimentos, por lo que se limita esencialmente la aplicabilidad del modelo de Boussinesq.

Apenas hay modelos que describen la forma en que se disipan las tensiones en los pavimentos de adoquines de concreto. Soutsos et al. (2011), especificaron y aplicaron experimentalmente el modelo desarrollado originalmente por Dutruel y Dardare (1984).

Debido a la presencia de la cama de arena, las tensiones en la parte superior de la base disminuyen por la disipación en los bloques y en la cama de arena debido al fenómeno de la trabazón mecánica. Por lo tanto, si σ_1 es la tensión en la superficie del adoquín inducida por una carga de rueda, la tensión en la parte superior de la base σ_0 queda determinada por la ecuación 3.1, en donde K_e es el factor de dispersión de tensiones en la cama de arena, el cual se determina experimentalmente dependiendo de la relación de radios de plato de carga R_0 , del experimento de Dutruel y Dardare (1984) y el radio equivalente de carga de rueda R_e , en la fibra inferior del adoquín.

$$\sigma_0 = \sigma_1 \left(\frac{R_0^2}{R_e^2} \right) = \sigma_1 * K_e \quad (3.1)$$

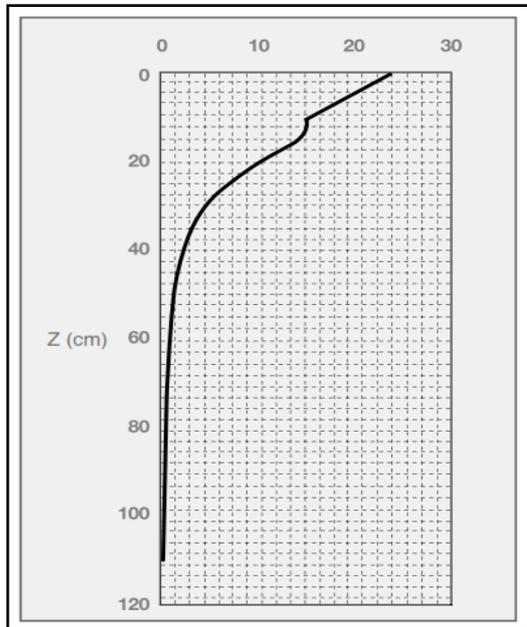
si se aplica la regla de difusión trapezoidal de tensiones hasta la cama de arena, es posible reducir el radio equivalente R_e , obteniéndose la expresión de Eissenman y Leykauf (1988).

$$R_e = R_1 + h_{\text{adoquin}} * h_{\text{cama de arena}} \quad (3.2)$$

Estudios experimentales realizados por (Panda, 2002) y otros investigadores, analizados por (Soutsos, 2011), proponen un factor de disipación de tensiones entre 0.55 y 0.6. Es decir la tensión disipada por adoquín y la cama de arena puede alcanzar hasta un 45% de la carga aplicada. La figura 31 muestra un bulbo de presiones para un pavimento de adoquín típico.

Figura 35

Bulbo de presiones bajo el eje de aplicación de carga para un eje simple de 8.17Tn, un espesor de adoquín de 60mm y cama de arena de 40mm



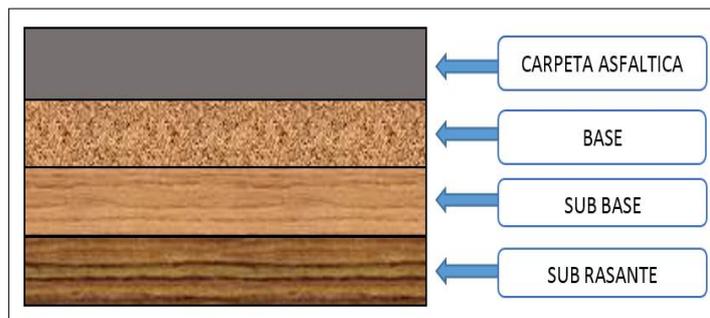
Nota: (ICH., 2013)

2.2.5. Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las solicitaciones particulares de cada obra vial.

Figura 36

Estructura típica de un Pavimento Flexible



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



2.2.5.1. *Funciones de las capas de un pavimento flexible*

a) Carpeta

- Superficie de rodamiento. La carpeta debe dar una superficie estable y uniforme al tránsito vehicular, de textura y color conveniente de manera que pueda resistir los efectos abrasivos del tránsito.

- Impermeabilidad. Hasta donde sea posible debe impedir la infiltración del agua a las capas inferiores de la estructura del pavimento.

- Resistencia. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

b) Base granular

- Resistencia. La función principal de la base granular de un pavimento, es proporcionar un componente resistente que transmita a la sub base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad adecuada.

- Función económica. Respecto a la superficie de rodadura, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la sub base respecto a la base.

c) Sub base granular

- Función económica. Una de las funciones primordiales de esta capa es claramente económica; de hecho, el espesor total que se espera para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales que tengan comportamiento mejor; sin embargo, es necesario colocar los materiales de mejor calidad en la parte superior y distribuir en la parte inferior los de menor calidad que consecuentemente es más económico. Esta disposición puede tener consigo un aumento en el espesor total del pavimento, sin embargo, resulta mucho más económico.



- Capa de transición. La sub base bien constituida impide el ingreso de los materiales que conforman la base, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que materiales finos de la subrasante contaminen disminuyendo su calidad.
- Disminución de las deformaciones. Algunos cambios volumétricos de la subrasante, en su mayor parte relacionados con cambios en su contenido de agua o a cambios de temperatura extremos, pueden absorberse con la capa sub base, impidiendo que tales deformaciones se reflejen en la superficie de rodadura.
- Resistencia. La sub base debe sostener los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la sub rasante.
- Drenaje. La sub base en muchos casos debe drenar el agua que se introduce por medio de la carpeta asfáltica o por las bermas, así como impedir el ingreso del agua por efectos de capilaridad.

2.2.6. Pavimentos Rígidos

Son pavimentos que básicamente están conformados por una losa de concreto, apoyadas sobre un material seleccionado, denominado sub base y posteriormente sobre una sub rasante.

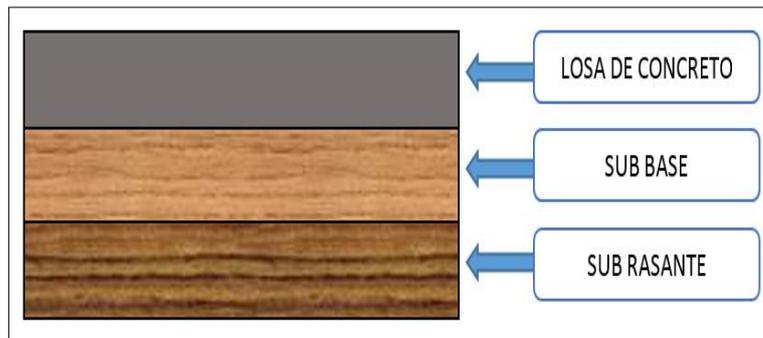
Debido a la alta rigidez del concreto, así como su alto coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en un área muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir en alguna medida, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando hay zonas débiles en las sub rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, los apoyos de las capas inferiores ejercen poco efecto en el diseño de la estructura del pavimento.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Figura 37

Estructura típica de un Pavimento Rígido



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

2.2.6.1. Funciones de las capas de un pavimento rígido.

a) Losa de concreto

En pavimentos rígidos la losa de concreto además de brindar rigidez en la superficie de rodadura tiene la función estructural de transmitir y soportar el nivel adecuado de los esfuerzos que se le apliquen.

b) Sub base

- La función principal es prevenir la acción de bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia del material fino con agua fuera de las estructuras del pavimento, debido a la infiltración del agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la sub rasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

- Ejerce como una capa de transición y facilita un apoyo uniforme, estable y permanente en el pavimento.



- Viabiliza los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir al mínimo el almacenamiento de agua bajo el pavimento.
 - Ayuda a controlar las variaciones volumétricas de la subrasante y simplificar al mínimo la acción superficial de posibles cambios volumétricos sobre el pavimento diseñado.
 - Mejorar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante. }

2.2.7. Factores que considerar en el diseño de pavimentos

2.2.7.1. El tránsito

Es de gran importancia el dimensionamiento de los pavimentos, las cargas más pesadas por eje (simple, tándem o trídem), esperadas en el carril de diseño (el más solicitado, que determinará la estructura del pavimento) durante el lapso de diseño adoptado. La reiteración de las cargas del tránsito y la acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo y diseño. Además, deberán tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales como; (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), orientación del tránsito, etc.

2.2.7.2. Solicitaciones de diseño

Un componente importante en el diseño es la consideración del tráfico al que el pavimento estará sometido durante su vida útil. El cálculo de las cargas de diseño dependerá del uso que se le dará al pavimento.

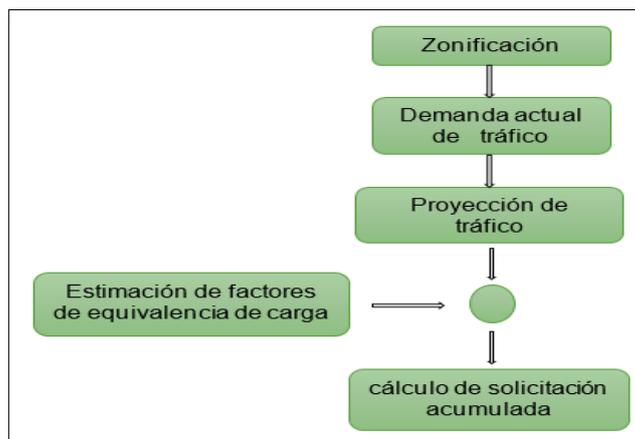
- Para su empleo vehicular
- Para su empleo portuario
- Para su empleo industrial

- Para su empleo aeroportuario

Independientemente de su empleo, es posible diseñar un procedimiento general de cálculo que puede aplicarse a cargas repetitivas. La figura 34, muestra de forma resumida los pasos a seguir.

Figura 38

Esquema general de cálculo de solicitudes



Nota: (ICH., 2013)

2.2.7.3. Solicitaciones de tráfico vehicular

Las tensiones generadas a partir de Las solicitudes de tráfico están netamente relacionadas con la demanda de esta. Sin embargo, en zonas urbanas prevalece el tráfico liviano, por lo general no se considera como un factor que genere daños estructurales.

Por el contrario, en regiones interurbanas hay un mayor grado de tráfico pesado, que se considera como el causante principal del deterioro de los pavimentos. Por otra parte, en zonas urbanas el tráfico es versátil a lo largo del día, predominando al menos en dos momentos del día, en los que el tráfico se concentra. En zonas interurbanas, sin embargo, en ausencia de conglomerados de actividades productivas, el tráfico será en general más homogéneo a lo largo del día.



2.2.7.4. *La sub rasante*

El espesor de un pavimento por lo general está condicionado por la calidad de esta capa. Como parámetro de evaluación de esta capa se utiliza la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las solicitaciones del tráfico. Es importante considerar la capacidad de respuesta del suelo húmedo, tanto en lo que respecta a la resistencia como a las posibles variaciones de volumen.

Las variaciones de volumen de un suelo de sub rasante de tipo expansivo pueden generar daños considerables en las estructuras que se apoyen sobre este, por lo tanto, cuando se construya un pavimento sobre estos tipos de suelos debe tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo por lo que se deberá considerar la impermeabilización de la estructura.

2.2.7.5. *El clima*

Las variables del medio ambiente que más influyen en el comportamiento de la estructura de un pavimento son las precipitaciones pluviales y los cambios sustanciales de temperaturas.

Las precipitaciones pluviales por su acción directa e inmediata en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y cambios volumétricos, específicamente en los suelos de la sub rasante. Este parámetro influye igualmente en algunas actividades de construcción, por ejemplo, el movimiento de tierras, colocación y compactación de toda la estructura del pavimento.

Las variaciones de temperatura en las losas de pavimentos rígidos generan en estos esfuerzos muy elevados, incluso en algunas situaciones pueden ser superiores realizados por las solicitaciones producidos por el tránsito.

En los pavimentos flexibles y teniendo en cuenta que el asfalto tiene una elevada susceptibilidad térmica, el incremento o descenso de temperatura puede provocar un



cambio significativo en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, generando en ellas y bajo circunstancias especiales, agrietamientos o deformaciones que influirían en la calidad de servicio de una vía.

2.2.7.6. *Disponibilidad de materiales*

La disponibilidad de los materiales es un aspecto determinante para seleccionar una estructura de pavimento que sea adecuada, técnica y económicamente. Desde un punto de vista, se consideran los materiales disponibles en canteras y depósitos aluviales del sector. Además del volumen disponible aprovechable se debe atender la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, juntamente con las facilidades de explotación y al precio, condicionado en gran medida por la distancia de transporte.

El desarrollo de los costos de construcción debe contar con una prevención del comportamiento integral del pavimento durante la vida útil proyectado.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Periodo de duración del estudio

El periodo de ejecución está comprendido desde el mes de noviembre del 2020 hasta diciembre del 2021.

3.2. Procedencia del material y datos

3.2.1. Estudio de tráfico

Conteo de vehículos durante siete días consecutivos, en la Plaza Grau de la ciudad de Lampa.

3.2.2. Estudio de suelos

Según el (R.N.E., 2010), capítulo 3 - TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO, ENSAYOS DE LABORATORIO, REQUISITOS DE LOS MATERIALES Y PRUEBAS DE CONTROL, la cantidad de puntos de investigación será de acuerdo al tipo de vía, teniendo en cuenta que se trata de una VÍA LOCAL y un área total de 1921.68 m² para la construcción de la vía, se realizó 02 calicatas, para la evaluación del C.B.R. de la sub rasante en la plaza Grau ciudad de Lampa.

3.2.3. Estudio hidrológico

- Parámetro: Precipitación total diaria, proporcionado por SENAMHI sede Puno.
- Parámetro: Precipitación máxima en 24 horas, proporcionado por SENAMHI sede Puno.

3.2.4. Estudio topográfico

Levantamiento topográfico plaza Grau de la ciudad de Lampa.



3.3. Población y muestra

Población : Ciudad de Lampa.

Muestra : Plaza Grau de la Ciudad de Lampa.

3.4. Condición actual del pavimento existente en la plaza Grau

En la actualidad la plaza Grau de la ciudad de Lampa cuenta con un pavimento rígido, cuyo año de construcción data en 1968 por gestión del reconocido ingeniero y político Enrique Torres Belón.

Debido al servicio que presta ya hace más de 50 años presenta un deterioro ya muy importante, que a simple vista se puede apreciar. Por otra parte, la no concordancia con el entorno turístico que cuenta la plaza Grau que es el templo Santiago Apóstol, monumento histórico declarado ya en 1941. Es por ello que la innovación, el contraste, el embellecimiento a través del pavimento de adoquines de concreto es una alternativa idónea debido a sus cualidades y ventajas, de ese modo aportar al turismo de la ciudad rosada de lampa.

Figura 39

Situación actual del Pavimento Rígido en la Plaza Grau



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



3.5. Ingeniería del proyecto

3.5.1. Estudio topográfico

3.5.1.1. Topografía

Es arte de alinear con detalle la superficie de una terrestre sobre un plano mediante instrumentos que permitan realizar las mismas con mayor grado de precisión.

Tiene por objeto medir extensiones de terreno, tomando los datos obtenidos en campo para poder representar sobre un plano a escala, para observar su forma y extensión del terreno

El método para proceder en un levantamiento topográfico contempla tres etapas:

- Trabajo de campo: Consiste en registrar medidas reales en campo.
- Trabajo de gabinete: Consiste en realizar cálculos precisos para definir áreas, posiciones y volúmenes requeridos.
- Dibujo: Consiste en trazar a escala las medidas su requerimiento.

3.5.1.2. Tipos de levantamientos

Levantamiento topográfico: Es la primera etapa del estudio técnico, descriptivo de un terreno. Se trata de estudiar la superficie minuciosamente teniendo en cuenta las propiedades físicas, geográficas y geológicas del terreno, también las variaciones existentes en el terreno y que se deban a la intervención del hombre, se plasmarán con detalle y exactitud en un plano.

Levantamiento Geodésico: Se considerará la curvatura de la tierra, se aplica en grandes superficies de terreno, como por ejemplo para elaborar la carta de un país, departamento o ciudad.

3.5.1.3. Curvas de nivel

Una curva de nivel es una línea trazada en un mapa o plano que une todos los puntos que tienen la misma altura con relación a un plano de referencia.



El plano de referencia de cota conocida, en muchos mapas es el nivel medio del mar. Se puede observar una curva de nivel como la intersección de un plano de nivel con la superficie de agua y con la superficie ondulante del terreno, también una subida o bajada del agua genera variación en curvas de nivel. (Narvaes D, 1999)

3.5.1.4. Procedimiento en campo

3.5.1.4.1. Planificación

En todo trabajo topográfico se debe tener en cuenta la planificación, la misma que contempla un conjunto de actividades previas al desarrollo propiamente del estudio, con la finalidad de hacer el uso óptimo de cada recurso con que se cuenta (recursos humanos, financieros, equipos y tiempo), de manera que se pueda conseguir un producto de buenas condiciones en precisión y exactitud. Para nuestro levantamiento topográfico del presente proyecto de tesis se contó con los equipos que se detallarán a continuación:

- 01 equipo de Estación Total – marca TOPCON, modelo: ES 105.
- 01 equipo GPS navegador - marca GARMIN, modelo: MAP 76CSx, para conseguir coordenadas geográficas.
- 01 trípode y 02 prismas para la realización de la red planificada.
- La cuadrilla necesaria para realizar el trabajo de campo fue:
 - 01 operador capacitado para el manejo de la estación total
 - 02 personas capacitadas para el manejo de los prismas.

3.5.1.4.2. Captura de datos

Es la acción de registrar los datos requeridos para generar las coordenadas de cada punto visado. La misma que se inicia con la ubicación de los puntos de a controlarse, puntos que definirán la línea base o referencia requerida para tener una orientación de la estación total; para mantenerse con la captura de los puntos requeridos de interés y finalmente con los puntos de relleno o puntos detallados.



Para el desarrollo de la misma se tiene el punto de partida la estación, (E – 1),

cuyas coordenadas son:

Norte: 8301224

Este: 353541

Elevación: 3878

Tabla 8

Puntos topográficos obtenidos

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
1	8301224.000	353541.000	3878.000	58	8301257.647	353552.3690	3877.4330
2	8301229.000	353528.000	3878.000	59	8301259.260	353547.9470	3877.4380
3	8301101.603	353499.229	3876.175	60	8301280.277	353554.0080	3877.5200
4	8301098.621	353494.746	3875.879	61	8301277.851	353560.2450	3877.5820
5	8301093.970	353492.624	3875.762	62	8301276.428	353564.9530	3877.6260
6	8301094.160	353496.170	3876.056	63	8301233.618	353528.9890	3877.5670
7	8301136.706	353513.059	3876.650	64	8301239.073	353531.0190	3877.5130
8	8301117.446	353505.650	3876.389	65	8301229.386	353527.5120	3877.5820
9	8301134.960	353509.271	3876.502	66	8301243.506	353513.9800	3877.5200
10	8301179.479	353529.939	3877.254	67	8301239.341	353512.4880	3877.5570
11	8301161.991	353517.942	3876.978	68	8301235.160	353511.2340	3877.6140
12	8301163.747	353520.794	3876.876	69	8301246.724	353504.4370	3877.5010
13	8301217.453	353545.015	3877.742	70	8301238.502	353501.4830	3877.5980
14	8301167.138	353519.533	3877.303	71	8301242.670	353503.0910	3877.5770
15	8301219.933	353549.147	3877.733	72	8301244.208	353485.3330	3877.6040
16	8301175.593	353525.167	3877.026	73	8301248.153	353486.7080	3877.5730
17	8301225.723	353547.342	3877.823	74	8301252.716	353488.2540	3877.4950
18	8301223.935	353541.634	3877.753	75	8301259.364	353468.7000	3877.5200
19	8301212.146	353579.424	3876.570	76	8301250.950	353465.5590	3877.6220
20	8301209.634	353581.223	3876.387	77	8301255.029	353466.9220	3877.5680
21	8301213.375	353576.612	3876.671	78	8301313.013	353488.6410	3877.1640
22	8301220.729	353559.462	3877.358	79	8301313.013	353488.6410	3877.1640
23	8301223.957	353551.595	3877.472	80	8301224.000	353541.0000	3878.0000
24	8301224.969	353543.713	3877.574	81	8301429.490	353533.4810	3875.9030
25	8301236.851	353505.666	3877.942	82	8301430.743	353537.6600	3875.7360
26	8301239.401	353498.649	3877.948	83	8301415.668	353527.9430	3875.9360
27	8301247.306	353475.505	3877.906	84	8301425.147	353536.3900	3875.9450
28	8301258.482	353483.893	3877.644	85	8301422.257	353533.2770	3875.7880
29	8301251.325	353463.982	3877.882	86	8301394.978	353519.5760	3876.0880
30	8301251.793	353490.172	3877.607	87	8301421.986	353535.0750	3875.7650
31	8301254.840	353466.988	3877.568	88	8301371.202	353515.2760	3876.2360
32	8301247.677	353501.979	3877.594	89	8301399.791	353524.0160	3875.9240



33	8301255.405	353465.677	3877.668	90	8301357.633	353510.0890	3876.3390
34	8301239.771	353525.092	3877.657	91	8301370.813	353512.5550	3876.1530
35	8301251.407	353477.128	3877.559	92	8301351.660	353507.6790	3876.4450
36	8301235.316	353538.238	3877.532	93	8301369.787	353514.6050	3876.1100
37	8301242.444	353503.455	3877.586	94	8301353.144	353502.5500	3876.4450
38	8301230.952	353536.843	3877.582	95	8301342.424	353504.3010	3876.5560
39	8301251.207	353544.460	3877.591	96	8301370.396	353509.8070	3876.1070
40	8301226.759	353535.322	3877.556	97	8301359.317	353505.6890	3876.2280
41	8301233.837	353543.073	3877.562	98	8301343.916	353499.4330	3876.5400
42	8301232.356	353547.749	3877.534	99	8301358.703	353507.8120	3876.2680
43	8301255.846	353557.264	3877.734	100	8301357.842	353509.8200	3876.2070
44	8301255.861	353557.230	3877.734	101	8301355.621	353506.8940	3876.3160
45	8301239.141	353531.048	3877.509	102	8301351.711	353507.5410	3876.3170
46	8301287.640	353569.766	3878.135	103	8301352.065	353505.2830	3876.3670
47	8301247.033	353542.899	3877.452	104	8301352.375	353502.5550	3876.3020
48	8301293.033	353571.053	3877.910	105	8301317.679	353495.3320	3876.9700
49	8301245.620	353547.594	3877.474	106	8301334.892	353496.2440	3876.5370
50	8301295.822	353561.866	3877.836	107	8301334.059	353498.5760	3876.5900
51	8301250.253	353554.492	3877.401	108	8301319.077	353490.6400	3876.9170
52	8301274.059	353553.504	3877.618	109	8301333.259	353500.9290	3876.5460
53	8301252.026	353550.185	3877.468	110	8301318.652	353490.5860	3876.7740
54	8301290.983	353546.075	3877.674	111	8301318.074	353492.9870	3876.8540
55	8301254.020	353545.730	3877.471	112	8301317.637	353495.3160	3876.8260
56	8301259.134	353547.610	3877.575	113	8301315.912	353496.7440	3877.1050
57	8301255.747	353556.920	3877.418	114	8301311.029	353497.2000	3876.9360
115	8301315.178	353498.662	3876.841	172	8301284.015	353455.4050	3877.4540
116	8301299.392	353496.445	3877.087	173	8301287.874	353456.7440	3877.2840
117	8301310.841	353513.090	3877.189	174	8301284.122	353455.5180	3877.3160
118	8301301.988	353510.310	3877.368	175	8301286.351	353456.3150	3877.3140
119	8301310.678	353513.119	3876.988	176	8301299.190	353422.3470	3877.7960
120	8301302.060	353510.371	3877.116	177	8301294.346	353424.9880	3877.6240
121	8301306.468	353511.805	3877.138	178	8301298.257	353425.0600	3877.6060
122	8301298.685	353521.199	3877.391	179	8301298.357	353425.0540	3877.7500
123	8301307.510	353523.743	3877.314	180	8301305.231	353390.6300	3878.1600
124	8301298.758	353521.089	3877.156	181	8301309.222	353391.7870	3878.1560
125	8301307.332	353523.723	3877.111	182	8301305.963	353389.6990	3878.0250
126	8301303.161	353522.467	3877.205	183	8301307.431	353390.8900	3878.0300
127	8301300.198	353547.648	3877.520	184	8301309.228	353391.8530	3878.0050
128	8301291.380	353544.980	3877.507	185	8301309.174	353386.1620	3878.0680
129	8301300.035	353547.645	3877.278	186	8301310.931	353386.6770	3878.0400
130	8301291.477	353544.993	3877.308	187	8301249.909	353556.4650	3877.2810
131	8301295.599	353546.359	3877.328	188	8301254.835	353558.5960	3877.3010
132	8301286.273	353563.664	3877.452	189	8301245.824	353567.7790	3876.9160
133	8301294.451	353566.467	3877.719	190	8301248.565	353568.6780	3876.8490
134	8301289.858	353565.076	3877.464	191	8301249.843	353461.3760	3877.6610
135	8301288.421	353571.377	3877.672	192	8301249.843	353461.3760	3877.6610
136	8301288.565	353571.382	3877.497	193	8301273.218	353491.1790	3877.5110
137	8301291.083	353567.674	3877.477	194	8301195.908	353438.9330	3877.4250



138	8301285.829	353587.239	3877.473	195	8301195.781	353438.8960	3877.4250
139	8301283.511	353586.568	3877.620	196	8301196.998	353436.8900	3877.1140
140	8301280.004	353605.157	3876.946	197	8301196.042	353438.9540	3877.1340
141	8301283.576	353586.496	3877.406	198	8301212.588	353436.4760	3877.3460
142	8301285.607	353587.427	3877.455	199	8301208.931	353444.1360	3877.4370
143	8301279.322	353607.601	3876.854	200	8301215.525	353437.7960	3877.2020
144	8301294.049	353491.987	3877.406	201	8301209.059	353444.1410	3877.1910
145	8301295.618	353487.650	3877.098	202	8301226.951	353442.0770	3877.3600
146	8301293.906	353491.806	3877.079	203	8301220.473	353448.7510	3877.4820
147	8301297.286	353483.323	3877.057	204	8301226.872	353442.1740	3877.2810
148	8301297.342	353483.280	3877.174	205	8301220.507	353448.6600	3877.2720
149	8301284.187	353488.655	3877.406	206	8301243.975	353448.7450	3877.3900
150	8301287.680	353479.538	3877.243	207	8301240.726	353456.9780	3877.4960
151	8301285.454	353488.840	3877.097	208	8301243.817	353448.8920	3877.2550
152	8301287.728	353479.612	3877.138	209	8301240.748	353456.9020	3877.2480
153	8301267.681	353483.034	3877.540	210	8301242.433	353453.0070	3877.2530
154	8301281.672	353477.236	3877.204	211	8301198.845	353434.8750	3877.3460
155	8301268.585	353483.091	3877.264	212	8301226.427	353446.5320	3877.2940
156	8301279.804	353481.761	3877.271	213	8301199.068	353434.8600	3877.1650
157	8301270.181	353478.388	3877.319	214	8301212.452	353441.0790	3877.2370
158	8301277.013	353475.386	3877.241	215	8301250.754	353446.0750	3877.3960
159	8301271.202	353473.132	3877.412	216	8301250.923	353446.0910	3877.2090
160	8301271.114	353473.294	3877.295	217	8301256.557	353428.9560	3877.4500
161	8301264.293	353470.640	3877.469	218	8301254.786	353447.6400	3877.2580
162	8301264.268	353470.713	3877.346	219	8301256.755	353428.9960	3877.2710
163	8301273.218	353491.179	3877.511	220	8301260.727	353430.3830	3877.3360
164	8301273.218	353491.179	3877.511	221	8301261.223	353413.4770	3877.4950
165	8301313.013	353488.641	3877.164	222	8301265.847	353414.8350	3877.3920
166	8301277.850	353474.100	3877.273	223	8301261.437	353413.5240	3877.3460
167	8301281.744	353475.322	3877.234	224	8301263.955	353399.5480	3877.6350
168	8301278.132	353473.899	3877.123	225	8301261.938	353405.7650	3877.3470
169	8301281.705	353475.309	3877.093	226	8301263.831	353399.6720	3877.4240
170	8301279.990	353474.523	3877.128	227	8301261.519	353398.8430	3877.4210
171	8301287.940	353456.744	3877.434	228	8301259.363	353398.3620	3877.4380

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.2. Estudios geotécnicos

3.5.2.1. Introducción

La estructura de un pavimento de una obra vial, requiere una serie de estudios para el desempeño adecuado durante su tiempo de vida, el estudio adecuado de suelos viene a ser un parámetro primordial debido al esfuerzo que generan las cargas y consecuentemente a ellas las deformaciones en cada una de las capas que conformarán la



estructura de la misma, es por ello la importancia fundamental del estudio geotécnico del terreno de fundación y no dejando de lado la presencia del nivel freático en el terreno de apoyo.

El estudio de suelos determinará las particularidades del terreno de fundación, definiendo las unidades estratigráficas de ese modo y la capacidad de soporte básicamente el estudio de suelos tiene por finalidad:

- Reconocimiento e identificación de los materiales que conforman el estrato y más aún su caracterización de la subrasante.
- La determinación y apreciación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales mostrados en la zona de estudio.

El análisis de suelos en nuestro estudio hace referencia básicamente a la determinación del valor relativo de soporte (CBR) del terreno de fundación donde se encuentra proyectado la construcción del pavimento de adoquines de concreto. El mismo que se ha desarrollado a través de ensayos de laboratorio, en ese sentido determinaremos la conformación de cada capa de la estructura del pavimento, cumpliendo con las exigencias técnicas de las normativas vigentes en el área a estudio.

3.5.2.2. Reconocimiento del terreno

Se obtendrá información inicial de las características del suelo a través de una inspección visual del área delimitado, así como también de estudios de las diferentes fuentes que están disponibles.

El área delimitada comprende 4 cuadras (jr. Municipalidad, jr. José Gálvez, jr. Antonio Barrionuevo, jr. More) en sentidos perpendiculares una del otro, con un área neta de pavimentación de 1921.68 m², presenta una topografía llana, y a la vez está ubicada en el centro turístico de la ciudad de Lampa.

3.5.2.3. Muestreo y exploración de suelos

Por lo anterior se llega a la conclusión de tomar muestras por medio de pozos a cielo abierto o calicatas al margen de la vía pavimentada que existe en la actualidad (área verde – plaza Grau) y además la posibilidad de verificar el nivel freático in situ.

3.5.2.4. Número de puntos de investigación

Para la realización del número de puntos de investigación (pozos a cielo abierto) se tomó en consideración la normativa vigente:

- R.N.E. (C.E010) Pavimentos Urbanos, en el capítulo III técnicas de investigación de campo, ensayos de laboratorio, requisitos de los materiales y pruebas de control, donde indica la cantidad de puntos de investigación, será en base al tipo de vía como se indica a continuación.

Tabla 9

Número de puntos de investigación

Tipo de vía	Número de puntos de investigación	Área (m ²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Nota: (R.N.E., 2010)

Teniendo en consideración las siguientes consideraciones:

- Los puntos de investigación serán ubicados preferentemente en los cruces de vías, pudiendo utilizarse puntos intermedios que permitan disponer la estratigrafía a lo largo de la vía.
- La profundidad mínima de investigación será de 1.50m por debajo de la cota de rasante final de la vía.



- Donde exista rellenos no controlados se deberá hacer una investigación en todo su espesor debiendo estudiarse no menos de 0.50m dentro del suelo natural.
- Efectuados el registro de la estratigrafía, el muestreo y evidencias fotográficas se deberá rellenar las excavaciones con los materiales antes extraídos.
- Se extraerá por lo menos una muestra que representará cada tipo de suelo para su posterior ensayo y estudio de laboratorio, según las normas indicadas en el RNE.
- Se hallará un C.B.R. por cada 5 puntos de investigación o menos según lo dispuesto en la tabla anterior y mínimamente un C.B.R. por cada tipo de suelo de subrasante.

3.5.2.5. Sistema de clasificación de suelos AASHTO

El sistema internacional de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en la actualidad es utilizado en estudios de pavimentación de obras viales.

De acuerdo a la clasificación AASHTO, los suelos se clasifican en siete grupos que son designados del A-1 hasta el A-7 que a su vez se subdividen en 12 sub grupos.

Tabla 10

Clasificación de suelos AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0,08mm					
	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				A-7-5	A-7-6	
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de: 2 mm 0,5 mm 0,08 mm	máx. 50	máx. 30	máx. 50	mín. 50	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Límites Atterberg													
Límite de liquidez				máx. 40	mín. 40	máx. 40	mín. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	mín. 40	mín. 40	mín. 40
Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 10	IP < LL - 30	IP < LL - 30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas Y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo						

Nota: (Braja M. Das., 2014)

3.5.2.6. Características de los puntos de investigación

Debido al área de estudio se ha realizado dos puntos de investigación teniendo el detalle a continuación:

- Tipo de exploración: A cielo libre (calicatas).
- Cantidad de calicatas a exploración: 02
- Ubicación: Área verde de la plaza Grau, ciudad de Lampa.
- Profundidades: Calicata (C-1); h = 1.10 m
Calicata (C-2); h = 1.30 m

Tabla 11

Datos de la calicata

Calicata	Este	Norte	Altura	Profundidad	N.F.
C - 1	353512.00	8301262.00	3887	1.10m	Sí se encontró
C - 2	353516.00	8301287.00	3887	1.30m	Sí se encontró

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 40

Ubicación de los puntos de investigación



Nota: Google Earth

3.5.2.7. Ensayos de suelos en laboratorio

Bajo el estudio de suelos se logrará obtener datos importantes, definitivos y reales de las propiedades del suelo para su respectivo estudio y clasificación final de suelos, de modo que nos permite realizar el diseño de pavimentos.

Debido a la pandemia del COVID 19 y la no disponibilidad del laboratorio de suelos de la EP ing. Civil de la UNA PUNO, es que los ensayos obtenidos de las muestras

extraídas en la plaza Grau, tanto en la calicata 1 y calicata 2 se realizaron en el laboratorio “JC laboratorio San Román” de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román en fecha 16-01-2021, teniendo en cuenta que dicho laboratorio cuenta con la calibración de cada equipo utilizado.

Los ensayos realizados en laboratorio se detallan a continuación:

- Contenido de humedad natural.
- Análisis granulométrico.
- Límites de consistencia.
- Proctor estándar.
- Valor relativo de soporte (C.B.R.).

Cada uno de los ensayos citados se ejecutaron de acuerdo con las solicitudes y especificaciones, tratamientos establecidos en el manual de ensayo de materiales (EM 2000) del ministerio de transporte y comunicaciones (M.T.C.)

3.5.2.8. Resumen de los datos obtenidos en laboratorio

En la tabla 11, se aprecia un resumen de los estudios y resultados conseguidos de las muestras del terreno estudiado.

Tabla 12

Datos Obtenidos En Laboratorio De Suelos

Ensayos de laboratorio	Resultados	
	C - 1	C - 2
Humedad natural (%)	22.72	18.88
Clasificación AASHTO	A-6(5)	A-4(2)
Clasificación SUCS	CL	SC
Límite Líquido (%)	37.63	36.55
Límite Plástico (%)	24.04	26.31
Índice de Plasticidad (%)	13.59	10.24
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	1.54	1.76

Optimo contenido de Humedad (%)	26.4	15.8
95% de la máxima densidad seca (g/cm ³)	1.463	1.67
CBR al 100% M.D.S. (%)	7.18	15.31
CBR al 95% M.D.S. (%)	6.1	11.9

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

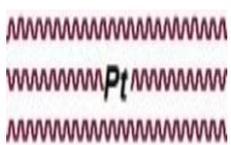
Análisis de resultados y su estratigrafía de las muestras extraídas en las 02 calicatas se detallan de la siguiente manera.

Calicata 01:

- De 0.00m a 0.20m constituidas por estratos de turbas y otros materiales altamente orgánicos con presencia de raíces, en su clasificación SUCS se obtiene como PT.
- De 0.20m a 0.70m constituida por estratos de arcillas inorgánicas y limos inorgánicos arenas muy finas, en su clasificación SUCS se obtiene como CL-ML.
- De 0.70m a 1.10m constituidas por estratos de arcillas inorgánicas de mediana plasticidad y la presencia evidente del nivel freático a una profundidad de 1.10m en su clasificación SUCS se obtiene como CL.

Tabla 13

Perfil estratigráfico de la calicata C-1

Registro de excavaciones C - 1				
Profundidad De	A	Muestra	Símbolo	Clasificación
0.00 m	0.20 m	E - 1		Material conformado por turbas, otros materiales altamente orgánicos con presencia de raíces. Pt
0.20 m	0.70 m	E - 2		Material conformado por arcillas y limos inorgánicos. CL - ML

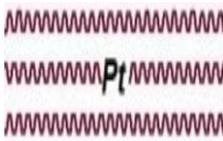
0.70 m	1.10 m	E - 3		Material conformado por arcillas inorgánicas de media a baja plasticidad, presencia del nivel freático a 1.10 m.	CL
Observaciones: El nivel freático se presenta a una profundidad de 1.10m					
<i>Nota:</i> Elaborado por el equipo de trabajo					

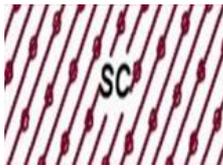
Calicata 02:

- De 0.00m a 0.20m constituida por estratos de turbas y otros materiales altamente orgánicos con presencia de raíces su clasificación SUCS corresponde a PT.
- De 0.20m a 0.70m constituida por estratos de arcillas inorgánicas y limos inorgánicos, arenas muy finas limosas, su clasificación SUCS corresponde a CL-ML.
- De 0.70m a 1.30m constituida por estratos de arena arcillosas de mediana a baja plasticidad, se encontró el nivel freático en la calicata a una profundidad de 1.30m, presenta considerable humedad, según su clasificación SUCS corresponde a SC.

Tabla 14

Perfil estratigráfico de la calicata C-2

Registro de excavaciones C - 2					
Profundidad		Muestra	Símbolo	Descripción	Clasificación
De	A				
0.00 m	0.20 m	E - 1		Material conformado por turbas, otros materiales altamente orgánicos con presencia de raíces.	Pt
0.20 m	0.70 m	E - 2		Material conformado por arcillas inorgánicas y limos inorgánicos.	CL - ML

0.70 m	1.30 m	E - 3		Material conformado por arenas arcillosas de mediana a baja plasticidad, presencia del nivel freático a 1.30 m.	SC
--------	--------	-------	---	---	----

Observaciones: El nivel freático se presenta a una profundidad de 1.30m

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.2.9. Determinación del CBR de diseño

Con los valores de CBR obtenidos en laboratorio de las calicatas ya descritas, podemos determinar el CBR de diseño.

Para la adquisición del valor de CBR de diseño de la subrasante, se tiene que considerar lo siguiente:

- En lugares con más de 6 valores de CBR verificados por tipo de suelo que representa o por sección de características similares de suelos se hallará el valor de CBR de diseño de la subrasante tomando en cuenta la media del total de los datos estudiados por sector de características similares.
- En lugares con menos de 6 valores de CBR verificados por tipo de suelo que representa o por sección de características similares de suelos, se hallará el valor de CBR de diseño de la sub rasante tomando en cuenta los criterios descritos a continuación:
 - o Si los valores verificados son semejantes, tomar la media.
 - o Si los valores no son semejantes, tomar el valor menor más crítico o en tal circunstancia dividir la sección a fin de agrupar sectores con valores de CBR semejantes y definir el valor medio. La distancia entre los lugares de estudio no será menor a 100m.

Al obtener el CBR en laboratorio al 95% de la MDS se tiene (C-1 = 6.1%) y (C-2 = 11.9%)

Por la varianza en los valores del CBR es que se opta por el valor más crítico 6.1% como el valor de CBR de diseño, la misma que será de utilidad en el diseño del pavimento.

- Ya establecido el valor del CBR, se procede a la clasificación por categoría de sub rasante, en el siguiente cuadro podemos observar lo mencionado:

Tabla 15

Categorías de sub rasante

Categorías de la Subrasante	CBR
S ₀ : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S ₂ : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S ₃ : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S ₄ : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S ₅ : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: (M.T.C., 2013)

3.5.3. Estudio de Canteras

3.5.3.1. Generalidades

La importancia de estudio de una cantera o fuente de material para la conformación de la estructura de un pavimento rígido, flexible o articulado (adoquines de concreto) y obras civiles en general, es verificar si los materiales o agregados son aptos para emplearlos como parte de la estructura del pavimento (base, sub base), para lo cual es indispensable someterlos a ensayos de laboratorio y que las mismas cumplan con ciertas condiciones o características establecidos en la normativa vigente.

3.5.3.2. Evaluación de Canteras

Las fuentes de materiales o Canteras deberán ser valoradas y seleccionadas de acuerdo con su calidad y cantidad, teniendo en cuenta la menor distancia posible a las instalaciones de una obra. Por lo tanto, las exploraciones de la cantera se realizan en base



a sondeos, trincheras y/o inspecciones a cielo abierto, por lo tanto, se consiguen las muestras necesarias para su respectivo análisis en laboratorio.

El estudio de una cantera debe incluir además la accesibilidad, usos, propiedad, periodos de explotación, entre otras.

3.5.3.3. Localización y estudios para la explotación de canteras

Las Canteras deberán ser localizadas en función a su distancia a la obra proyectada, y la selección se realizará por la menor distancia cantera-obra, siempre y que cumplan con la calidad y cantidad que se requiere, para tal efecto, se deberá de realizar un reconocimiento del terreno, levantamiento topográfico, precisando los linderos de las canteras. Para el presente proyecto de tesis se tiene la disponibilidad de materiales, cuyas denominaciones son cantera Pichincha y cantera rio Lampa.

Tabla 16

Coordenadas UTM, Ubicación de las canteras

Cantera	Este	Norte	Observaciones
Pichincha	354718.00	8298380.00	Material Ligante
Río Lampa	353086.00	8300257.00	Hormigón

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 41

Ubicación De Las Canteras



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo Google Earth

3.5.3.4. Cantera Pichincha

Ubicado a las faldas de la ladera que pertenece a la comunidad campesina de Pichincha, en el ámbito del distrito de Lampa, a una distancia de 3.2 km aproximadamente.

El relieve topográfico de la zona es relativamente llano que presenta una pendiente máxima de 5% respecto a la localización de la cantera, las explotaciones de estos materiales se realizan en forma mecánica (cargador frontal, volquetes).

3.5.3.5. Cantera rio Lampa.

Se ubica en las llanuras de las inundaciones del rio Lampa en el ámbito del distrito del mismo nombre, a una distancia aproximada de 0.84 km.

El material que se dispone en la misma consta de gravas limosas, arena limosa de formas redondeadas de color pardo gris, que son producto de la erosión y transporte de cantos rodados.

3.5.3.6. Trabajo de campo

El trabajo de campo consiste básicamente en el reconocimiento del terreno, verificación de la disponibilidad de materiales, realizar el muestreo en cada una de las canteras para posteriormente realizar los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y obtener las propiedades física – mecánicas de los agregados. Para tal efecto se tomaron un promedio de 50 kg de muestras alteradas en ambas canteras.

Figura 42

Reconocimiento de la Cantera Pichincha



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 43

Extraccion del material, cantera Pichincha



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 44

Extraccion del material, cantera Rio Lampa



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



3.5.3.7. Ensayos de laboratorio.

Para realizar la mezcla de agregados es indispensable los ensayos en laboratorio de suelos para cada cantera.

- Contenido de humedad
- Análisis granulométrico por tamizado
- Límites de Atterberg o de Consistencia.
 - o Limite liquido
 - o Limite Plástico
 - o Índice de plasticidad

El conocimiento de las características de cada cantera se hace indispensable para la clasificación de los materiales, de ese modo caracterizar la mezcla de suelos en cada componente de la estructura de un pavimento.

3.5.3.7.1. Resultados de estudios geotécnico de las canteras

Se muestra en la tabla 17 un resumen de los resultados, propio de los ensayos de caracterización, para cada cantera: Pichincha y río Lampa.

Tabla 17

Tipo de ensayo	Cantera Pichincha	Cantera río Lampa
Clasificación AASHTO	A-2-4	A-1-a
Clasificación SUCS	GW GC	GW
Límite Líquido (%)	32.23	NP
Límite Plástico (%)	21.81	NP
Índice de Plasticidad (%)	10.42	NP

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.3.8. Mezcla de Suelos para la Base granular

Para satisfacer las gradaciones o requerimientos en la conformación de la base y sub base del pavimento, especificadas en la normativa CE. 010 pavimentos urbanos y la

EG 2013 es que realiza la mezcla de suelos, teniendo en cuenta que debe cumplir lo especificado en la gradación A que corresponde a la altitud del Proyecto.

Tabla 18

Requerimientos Granulométricos Para Base 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")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
425 µm (N° 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (N° 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota: (M.T.C. EG, 2013) ASTM D1241 (1) La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

En la tabla siguiente se aprecia el resumen del porcentaje que pasa los tamices de las canteras Pichincha y río Lampa, contraponiéndose con la especificación de la gradación A.

Tabla 19

Gradación de la mezcla de suelos

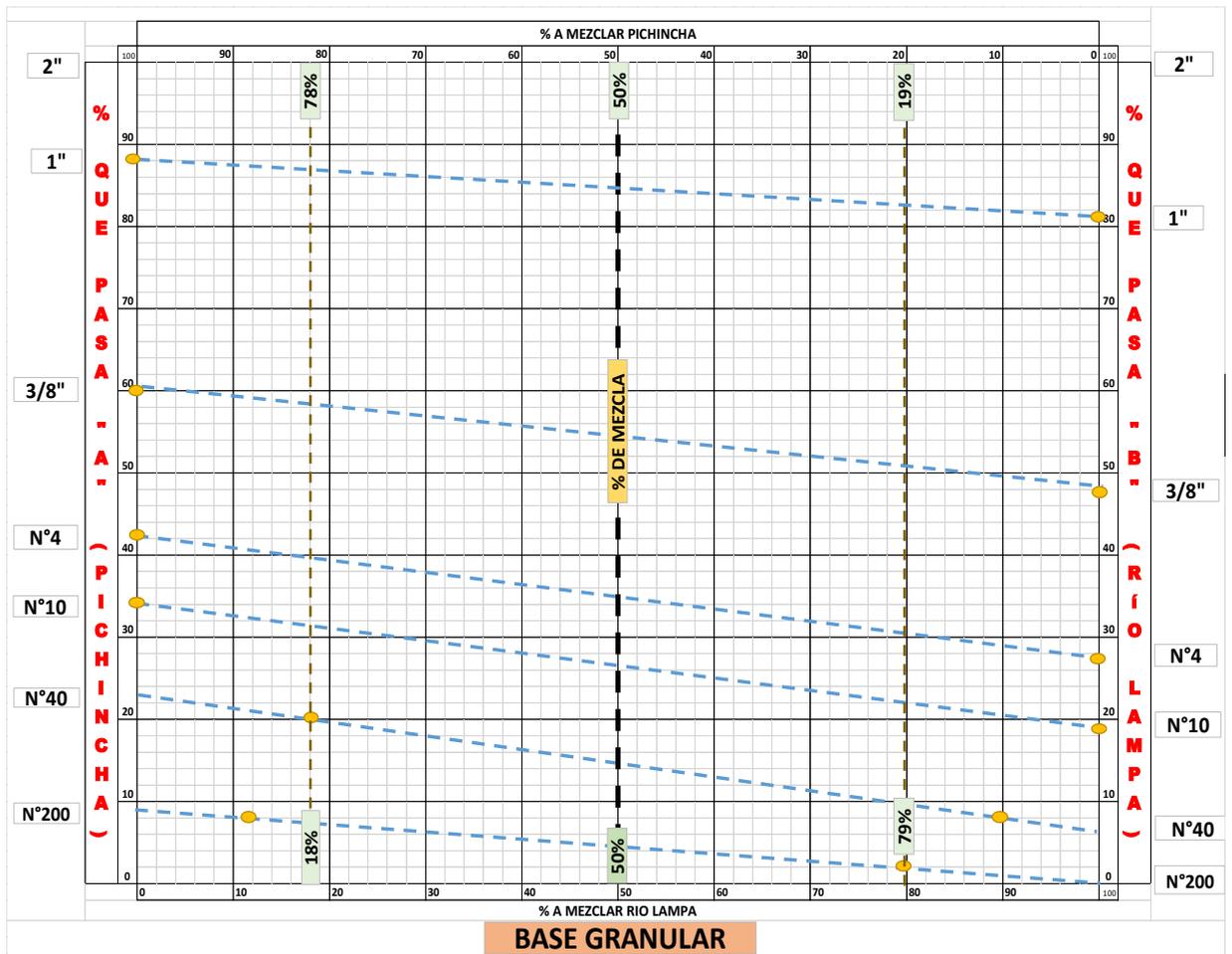
Tamices ASTM	Abertura en mm.	% Que Pasa		Especificaciones
		Suelo "A" (C. Pichincha)	Suelo "B" C. Río Lampa	
2"	50.600	100	100	100 - 100
1"	25.400	88.79	81.67	75 - 95
3/8"	9.525	60.26	48.32	40 - 75
N° 4	4.760	42.26	27.51	30 - 60
N° 10	2.000	34.65	18.87	20 - 45
N° 40	0.420	23.16	5.56	15 - 30
N° 200	0.074	9.84	0.11	5 - 15

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Es así que mediante la tabla 19 se realiza la mezcla de suelos, a través del método gráfico, se detalla a continuación:

Figura 45

Método gráfico de mezcla de suelos



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Del gráfico anterior realizamos un cálculo de resultados, de donde obtenemos: 49.5% de la cantera Pichincha + 48.5% de la cantera río Lampa como se muestra a continuación:

$$\% \text{ mezcla de suelo "A"}: (21 + 78) / 2 = 49.5 \approx 50\%$$

$$\% \text{ mezcla de suelo "B"}: (18 + 79) / 2 = 48.5 \approx 50\%$$

Adicionalmente se tiene el registro de estudio de suelos de OBRAS SIMILARES en la ciudad de Lampa, próximos a la zona en estudio.

Obra: "Mejoramiento de las principales vías urbanas de acceso al puente colonial de la ciudad de Lampa, distrito de Lampa, Provincia de Lampa – Puno"

Tabla 20

Obra: “Mejoramiento de las principales vías urbanas de acceso al puente colonial de la ciudad de Lampa, distrito de Lampa, Provincia de Lampa – Puno”

CALICATA	NRO 4	
Ubicación	Km 0+090 JR JUAN JOSE CALLE	
Estrato N°		1
Profundidad		0.00 - 1.30m
Lado		DERECHO
Humedad Natural		19.25%
Límites DE Consistencia	l. Liquido	33.28%
	i. Plástico	15.42%
Clasificación De Suelos	SUCS	SC
	ASSHTO	A-6(5)
Máxima Densidad Seca		1.90 g/cc
Contenido Optimo DE Humedad		15.00%
Valor Relativo DE Soporte (CBR)	AL 95%	11.20%

Nota: Municipalidad provincial de Lampa

Tabla 21

Obra: “Construcción y Mejoramiento Infraestructura vial de las vías de Lampa”

Calicata	km 0+029 4 de junio	
Estrato N°	Terreno de fundación	
Profundidad		0.00 - 1.00m
Lado		
Humedad Natural		23.94%
Límites de Consistencia	l. líquido	53.99%
	l. Plástico	20.13%
	I. Plástico	33.86%
Clasificación de suelos	SUCS	CH
	ASSHTO	a-7-6(19)
Proctor modificado	Máxima Densidad Seca	1.81g/cc
	C.H.O.	16.60%
Valor relativo de soporte (CBR)	AI 100%	12.40%
	AI 95%	10.20%

Nota: Municipalidad provincial de Lampa

3.5.3.9. Arena para capa de soporte

Se propone la cantera del río Lampa para la capa de arena que conforma la estructura de un pavimento de adoquines de concreto, cabe mencionar que dicho material deberá ser de origen aluvial, libre de finos plásticos, sin trituración, materia orgánica u otras impurezas, para lo cual es recomendable zarandear con la malla de 1/2".

Tabla 22

Cama de arena

Tamiz	Abertura	Peso retenido	%Peso retenido	%Retenido acumulado	%Que pasa	Especif.	
3/8"	9.525	15.0	0.74	0.74	99.26	100	100
N° 4	4.760	95.3	4.73	5.47	94.53	95	100
N° 8	2.360	226.4	11.23	16.70	83.30	85	100
N° 16	1.190	472.6	23.44	40.14	59.86	50	85
N° 30	0.600	423.9	21.02	61.16	38.84	25	60
N° 50	0.300	394.9	19.59	80.75	19.25	10	30
N° 100	0.149	249.8	12.39	93.14	6.86	2	10
N° 200	0.074	123.4	6.12	99.26	0.74	0	1
< N° 200	-	15.0	0.74	100.00	0.00	-	-
Clasificación SUCS				Arena mal graduada con limo SP SM			
Clasificación AASHTO				A-1-b Fragmento de roca, grava y arena			

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 23

Análisis Granulométrico

Descripción	
Características Granulométricas	
D10	0.10
D30	0.29
D60	1.25
Coeficiente de:	
Cu	12.51
Cc	0.68

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.3.10. Arena para sello

La arena propuesta corresponde al río Lampa y que las mismas serán de origen aluvial, libre de finos plásticos, materia orgánica u otro tipo de impurezas, para dicho fin es recomendable zarandear con la malla de 3/8".

Tabla 24

Sello de arena

Tamiz	Abertura mm	Peso Retenido	%Peso Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa	Especif.	
N° 4	4.760	15.3	1.12	1.12	98.88	100	100
N° 8	2.360	87.5	6.41	7.53	92.47	95	100
N° 16	1.190	282.6	20.71	28.24	71.76	70	100
N° 30	0.600	316.8	23.22	51.46	48.54	40	75
N° 50	0.300	294.6	21.59	73.05	26.95	20	40
N° 100	0.149	206.7	15.15	88.2	11.80	10	25
N° 200	0.074	115.4	8.46	96.66	3.34	0	10
<N° 200	-	45.6	3.34	100	0.00	-	-
Clasificación SUCS				Arena mal graduada con limo SP SM			
Clasificación AASHTO				A-1-b Fragmento de roca, grava y arena			

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 25

Análisis Granulométrico

Descripción	
Características Granulométricas	
D10	--
D30	0.19
D60	0.82
Coeficientes de:	
Cu	--
Cc	--

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.4. Estudios hidrológicos e hidráulico

3.5.4.1. Generalidades

Los proyectos relacionados a la hidráulica suelen ser de dos tipos: los relacionados con el uso del agua y los relacionados contra el daño que ocasionan las mismas. Los



proyectos habituales de uso del agua son los de suministro de agua potable, irrigación y sistemas de aprovechamiento hidroeléctrico; además se incorpora, los de navegación, recreación y otros. Los proyectos habituales de defensa son por lo general el drenaje urbano, vial y agrícola, se tienen, además, los de encausamiento de ríos y los de defensa contra las inundaciones.

En nuestro país estamos íntimamente familiarizados con estos dos tipos de situaciones que se presentan con el agua, los de utilización y los de defensa.

La información hidrológica tiene una extrema importancia para el diseño de cualquier obra civil y que la misma dirige la información necesaria, cuya utilización sirven para conducir o alejar de la vía el agua que pueda ocasionar problemas a corto y largo plazo.

3.5.4.2. La cuenca hidrográfica

Se define cuenca al área geográfica delimitada por líneas divisorias el cual permiten el escurrimiento de las precipitaciones pluviales hacia un río o cause principal en donde el análisis y estudio se realiza a través de un punto de interés.

3.5.4.3. La microcuenca

Se define microcuenca a una extensión pequeña de terreno topográficamente caracterizado, de manera que el agua generado por las precipitaciones pluviales fluyen de manera natural por efectos de la gravedad, ocasionando caudales concentrados por medio de un solo curso de agua.

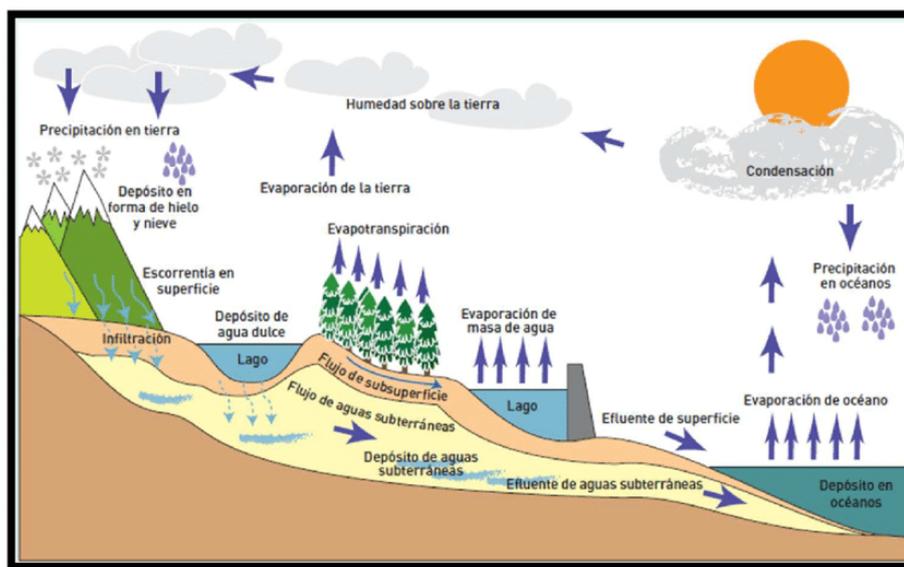
3.5.4.4. El ciclo hidrológico

Se define ciclo hidrológico a la transformación que experimenta el agua en sus tres estados (sólido, líquido y gaseoso) como en su manifestación (agua superficial, agua subterránea).

El ciclo hidrológico es irregular. Una clara muestra de la misma son los periodos de sequías e inundaciones con los que estamos asociados en la realidad. Esencialmente, en todo lugar se presenta este tipo de manifestaciones que conllevan a problemas de sequías e inundaciones y por lo tanto el hombre lucha contra estas irregularidades.

Figura 46

Ciclo hidrológico del Agua



Nota: (Tunza, 2010)

3.5.4.5. Precipitación

La precipitación se caracteriza por ser toda forma de humedad que tiene su origen en las nubes y que posteriormente llega a la superficie terrestre, según esta definición la precipitación es un fenómeno que se presenta en formas distintas tales como las granizadas, las garuas y las nevadas.

La estimación de las precipitaciones se ha realizado predominantemente con aparatos climatológicos conocidos como pluviógrafos y pluviómetros. Ambos se basan en la medición de una lámina de lluvia expresado en milímetros(mm), la cual se interpreta como la altura del nivel del agua que se acumularía sobre una superficie sin infiltrarse o evaporarse sobre un área unitaria. La diferencia entre estos dispositivos de medición



básicamente consiste en que el primero registra en una gráfica (pluviograma) la altura de la lluvia acumulada de acuerdo al tiempo y el segundo mide la precipitación acumulada entre un cierto intervalo de tiempo de lectura (usualmente 24 horas).

La ventaja de usar los registros de los pluviografos con respecto a los pluviómetros radica en que se puede determinar intensidades máximas de lluvia para duraciones predeterminadas, que luego pueden ser convertidos a caudales de diseño para una estructura de drenaje.

3.5.4.6. *Intensidad*

Se define como el volumen de agua precipitada en un tiempo dado. Se expresa como una tasa de precipitación, es decir, el volumen de agua que se mantiene en el área receptora a lo largo del tiempo en que se produce la precipitación.

$$I = \frac{P}{T}$$

Donde:

I: Intensidad en mm/hora

P: Precipitación en altura de agua, en mm.

T: Tiempo en horas

3.5.4.7. *Duración*

Es el lapso durante el cual se produce una precipitación de una determinada intensidad. La intensidad de la lluvia no es obligatoriamente constante a lo largo del tiempo, ya que durante la tormenta se producen continuamente diversas intensidades, cada una de las cuales puede ser constante durante los periodos fraccionados.

3.5.4.8. *Periodo de retorno*

Es el tiempo promedio en años, en que un determinado evento extremo es igualado o superado por lo menos una vez; esta expresado matemáticamente como:



$$T = \frac{N}{m}$$

Donde:

T: Periodo de retorno.

N: Intervalo en años entre la primera y la última excedencia excepcional de precipitaciones.

m: Número de intervalos de ocurrencia.

3.5.4.9. Probabilidad

Definido como el riesgo permisible en que un evento extremo vuelva a ocurrir, en un futuro, no menos de una vez durante un marco temporal y viene dado por:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

P: Probabilidad

T: Periodo de retorno

N: Periodo de tiempo de análisis

3.5.4.10. Análisis de frecuencias

El análisis de frecuencias es una metodología para evaluar la recurrencia de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, que con frecuencia influyen en los marcos hidrológicos, como las tormentas severas, las inundaciones y los periodos de sequía.

La finalidad del análisis de recurrencia o frecuencias de información hidrológica es relacionar la importancia de los eventos extremos con sus frecuencias de ocurrencia a través del uso de cualquier metodología ya conocida de distribuciones de probabilidad y cuyo producto final será de mucha utilidad en cualquier diseño de obras relacionados al drenaje.

3.5.4.11. Cálculo del periodo de retorno

Según la estación meteorológica de Lampa, la precipitación anual promedio es del orden de 756.3 mm.

En el siguiente cuadro se tiene los datos de las precipitaciones extremas en la estación meteorológica de Lampa.

Tabla 26

Años de precipitaciones extremas, estación Lampa

Años	Precipitación Anual (mm)	Intervalos de años	Numero de Intervalos
2001	787.2		
2002	902.2	1	
2005	871.1	3	
2011	1006.1	6	7
2012	860.1	1	
2017	896.6	5	
2018	863.6	1	
2019	791.0	1	
TOTAL		18	

Nota: (SENAMHI, 2020)

De los datos obtenidos se estima el tiempo de retorno.

$N =$ Periodo total entre la primera y última excedencia ($> 756.3\text{mm}$) = 18 años.

$M =$ Número total de intervalos de recurrencia = 7 (Tabla 14)

Por lo tanto, se tiene que:

$$T = \frac{N}{M} = \frac{18}{7} = 2.6 \text{ años}$$

La Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano en el título CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS EN SISTEMAS DE DRENAJE URBANO DE MENOR CAPTACIÓN DE AGUAS PLUVIAL ES EN ZONAS URBANAS. En el ítem 6.1 de la misma, da a conocer algunas consideraciones del caudal de diseño y nos menciona que: El periodo de retorno deberá considerarse entre 2 a 10 años.

Por lo que el dato obtenido de 2.6 años se encuentra dentro del rango que menciona la norma indicada.

3.5.4.12. Probabilidad del periodo de retorno

Para la presente vía se ha considerado una vida útil de 20 años, por lo tanto, se procede al cálculo de la probabilidad del periodo de retorno, teniendo ya la información:

T : Periodo de retorno = 2.6 años.

n : Periodo de vida útil = 20 años.

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{2.6}\right)^{20} = 0.999 = 99\%$$

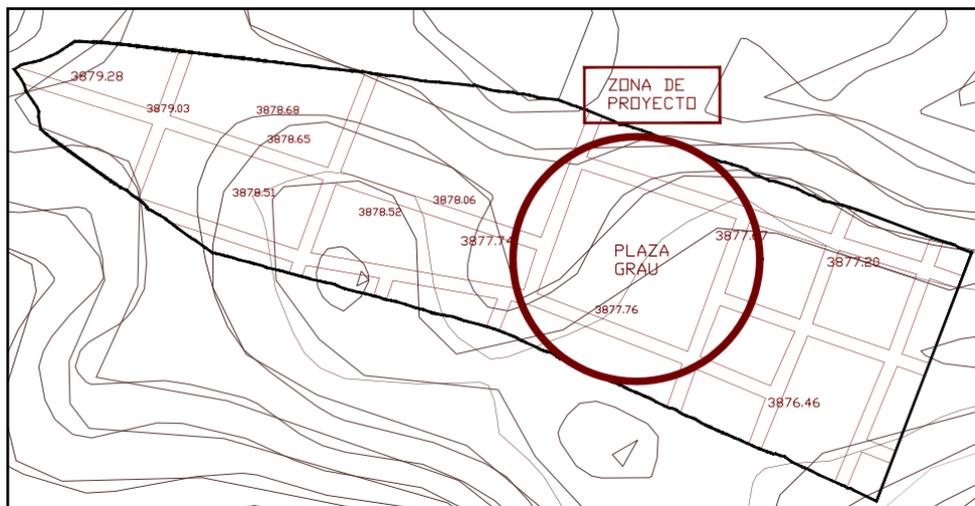
Por lo tanto, se puede referenciar que existe la posibilidad cercana del 99% de que se produzca una precipitación extrema dentro de los 20 años de la vida útil del proyecto.

3.5.4.13. Cálculo de tiempo de concentración T_c

Para el presente trabajo se ha estudiado dos proyectos en la etapa de elaboración, un proyecto vial (estructuras de contención) y uno de edificación (componente estructural).

Figura 47

Ubicación del proyecto para el tiempo de Concentración



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Existen múltiples formas de obtener el tiempo de concentración, ya sea utilizando las características hidráulicas de la cuenca, estimando velocidades, o utilizando fórmulas empíricas propuestas por diversos autores a fin de ahorrar tiempo en su cálculo, de las cuales la ecuación de Kirpich, es una de las más utilizadas.

$$T_c = \left(\frac{0.871 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas

L: Longitud del curso de agua más largo, en Km.

H: Desnivel máximo del curso de agua más largo, en m.

De los datos obtenidos en la microcuenca se tiene:

$$L = 0.215 \text{ Km} \quad H = (3879.3 \text{ m} - 3877.5 \text{ m}) = 1.80 \text{ m.}$$

Reemplazando los datos en la ecuación se tiene:

$$T_c = \left(\frac{0.871 * 0.215^3}{1.80} \right)^{0.385} = 0.13 \text{ h} = 7.8 \text{ min}$$

De acuerdo con el RNE, O.S. 060 – Método Racional: En ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos. De este modo, asumiremos un valor de T_c = 10min.

3.5.4.14. Método para el cálculo de caudales

El Reglamento Nacional de Edificaciones, nos indica que los caudales para un sistema de drenaje urbano menor deberán ser calculados teniendo en consideración las siguientes metodologías:

- El método Racional, aplicable hasta áreas de drenaje no mayores a 13 km².
- Por el método de hidrogramas unitarios, podrán ser empleados para áreas mayores a 13km².



Debido a las características del proyecto de área menor a 13 km² es que se considera el método racional.

3.5.4.15. Método Racional

Para áreas urbanas, donde el área de drenaje está compuesta de subáreas o subcuencas de diferentes características, el caudal pico proporcionado por el método racional viene expresado por la siguiente forma:

$$Q = 0.278 * \sum_{j=1}^m C_j - A_j \text{ o } Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde:

Q: Caudal pico, en m³/s.

A: Área de drenaje “j” de sub cuenca, en km².

C: Coeficiente de escorrentía para la “j” sub cuenca.

I: Intensidad de lluvia de diseño, en mm/hora.

m: Número de subcuencas drenadas.

- Coeficiente de escorrentía

La determinación del valor del coeficiente de escorrentía se sustenta bajo los siguientes factores:

- Características de la superficie
- Tipo de área urbana
- Intensidad de la lluvia (teniendo en cuenta su tiempo de retorno)
- Pendiente del terreno
- Condición futura dentro del horizonte de vida del proyecto.

Tabla 27

Coefficiente de escorrentía

Característica de la superficie	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas Urbanas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/Techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas Verdes (Jardines, parques, etc.) Condición pobre (cubierta pasto <al 50% del Área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior al 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62

Nota: (RNE OS.060, 2006)

De acuerdo con las condiciones de la topografía de la zona en estudio el área urbana tiene una pendiente que oscila entre 0 – 2%, áreas verdes menor al 50% del área, para un periodo de retorno de 5 años, es así que hallamos el coeficiente de escorrentía de acuerdo con la tabla 15 que al multiplicar por el área que incide, obtenemos la tabla adjunta.

Tabla 28

Coefficiente de escorrentía para el proyecto

Característica	Factor t=5 años	Área (%)	Coefficiente parcial
Áreas urbanas			
Concreto/techo	0.8	94%	0.753
Zonas verdes (jardines parques,etc.) condición pobre (cubierta pasto < al 50% del área)			
Promedio, 0 - 2%	0.34	6%	0.0204
Coefficiente de escorrentía (C) Σ		100%	0.773

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

- Intensidad de la lluvia

La intensidad de la lluvia de diseño para un lugar dado del sistema de drenaje es la intensidad promedio de una precipitación pluvial cuya duración es equivalente al

tiempo de concentración del área que se drena hasta ese punto, y cuyo periodo de retorno es igual al del diseño de la obra de drenaje.

El cálculo de las máximas intensidades de precipitación horaria, para el periodo de retorno producido a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas ha sido creado en base a la correlación entre las dos variables cuya ecuación fue dada por Yance Tueros:

$$I_{max} = 0.4602(P_{max})^{0.875}$$

Donde:

$I_{máx}$: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h).

$P_{máx}$: Precipitación máxima en 24 horas.

El dato pluviométrico que ha servido de base para la determinación de la escorrentía superficial es la que corresponde a la precipitación máxima en 24 horas obtenidas de la estación LAMPA las mismas que nos proporciona el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

La ubicación y característica de la estación pluviométrica que se dispone en la ciudad de Lampa se detalla a continuación:

Tabla 29

Ubicación de la estación pluviométrica

Nombre de la estación	Tipo	Ubicación		Altitud msnm	Provincia	Dpto.	Periodo del registro
		Latitud	Longitud				
Lampa	Convencional	15°21'39.90"	70°22'27.00"	3866	Lampa	Puno	1990 - 2019

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Para la presente tesis se considerará a partir de 1990 hasta el 2019 (30 años)

Tabla 30

Precipitación máxima en 24 horas - Estación Lampa

Estación Lampa					
N°	AÑO	Precipitación Max. En 24 hrs	N°	AÑO	Precipitación Max. En 24 hrs
1	1990	30.3	16	2005	49.6
2	1991	28.8	17	2006	27.1
3	1992	39.3	18	2007	35.6
4	1993	29.9	19	2008	34.7
5	1994	35.2	20	2009	54.7
6	1995	24.7	21	2010	25.6
7	1996	42.7	22	2011	33.2
8	1997	31.4	23	2012	27.4
9	1998	32.8	24	2013	35.4
10	1999	32.7	25	2014	28.5
11	2000	33.4	26	2015	34.9
12	2001	38.1	27	2016	31.2
13	2002	36.9	28	2017	35.6
14	2003	36.7	29	2018	29.8
15	2004	43.8	30	2019	20.5

Nota: (SENAMHI, 2020)

Tabla 31

Intensidad máxima horaria

Estación Lampa					
N°	AÑO	Precipitación Max. en 24 hrs	Imax.	Xi PROM	(X-Xi PROM) ²
1	1990	30.3	9.10	10.0511	0.90
2	1991	28.8	8.71	10.0511	1.80
3	1992	39.3	11.43	10.0511	1.90
4	1993	29.9	9.00	10.0511	1.11
5	1994	35.2	10.38	10.0511	0.11
6	1995	24.7	7.61	10.0511	5.94
7	1996	42.7	12.29	10.0511	5.02
8	1997	31.4	9.39	10.0511	0.43
9	1998	32.8	9.76	10.0511	0.09
10	1999	32.7	9.73	10.0511	0.10
11	2000	33.4	9.91	10.0511	0.02
12	2001	38.1	11.12	10.0511	1.15
13	2002	36.9	10.82	10.0511	0.59
14	2003	36.7	10.77	10.0511	0.51
15	2004	43.8	12.57	10.0511	6.33
16	2005	49.6	14.01	10.0511	15.69
17	2006	27.1	8.26	10.0511	3.22
18	2007	35.6	10.48	10.0511	0.19



19	2008	34.7	10.25	10.0511	0.04
20	2009	54.7	15.26	10.0511	27.18
21	2010	25.6	7.86	10.0511	4.82
22	2011	33.2	9.86	10.0511	0.04
23	2012	27.4	8.34	10.0511	2.94
24	2013	35.4	10.43	10.0511	0.14
25	2014	28.5	8.63	10.0511	2.02
26	2015	34.9	10.30	10.0511	0.06
27	2016	31.2	9.34	10.0511	0.51
28	2017	35.6	10.48	10.0511	0.19
29	2018	29.8	8.97	10.0511	1.16
30	2019	20.5	6.47	10.0511	12.84
TOTAL					97.04

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - X_i)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{97.4}{30 - 1}} = 1.83$$

- Ley de Gumbel

Teniendo en cuenta que los valores extremos son cantidades máximas y mínimas elegidas de una base de datos que estructuran un conjunto de valores extremos que pueden estadísticamente analizarse, en el caso de fenómenos hidrológicos la distribución que más se adecua es la del tipo I (Ley de Gumbel).

$$F(x) = E^{-e^{-y}}, -\alpha \leq x \leq \alpha$$

tratando para la variable reducida “y” obtenemos:

$$y = -\ln\left(\ln\left(\frac{1}{F(x)}\right)\right)$$

Sabiendo que:

$$1 / T \quad : P(x > x_T)$$

$$1 / T \quad : 1 - P(x < x_T)$$

$$1 / T \quad : 1 - F(x)$$



Se tiene luego:

$$F(x) = \frac{T - 1}{T}$$

Expresando “y” variable reducida en base al periodo de retorno T, se tiene:

$$y = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$

Adopta la siguiente forma general:

$$X_T = v + \beta Y_T$$

Tabla 32

Aplicación de la ley de Gumbel

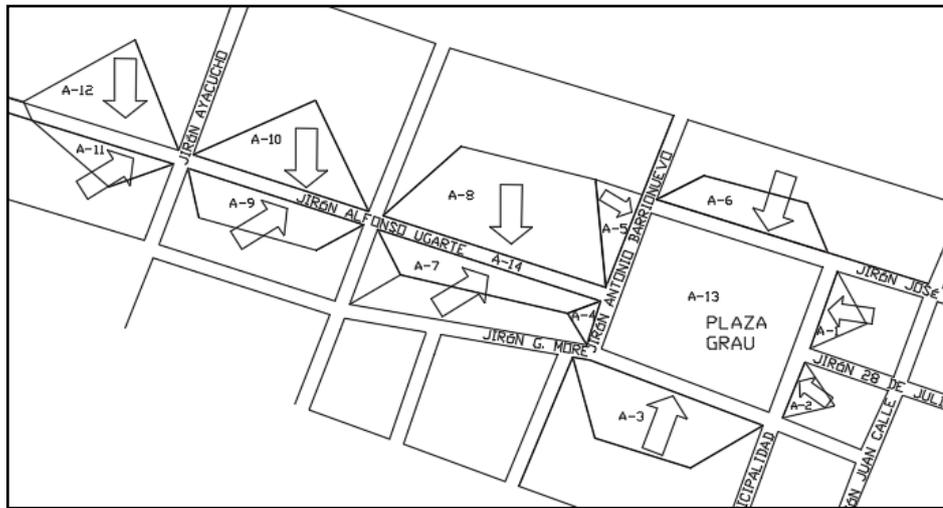
T	β	v	Yt	Xt
Años	$0.78S_x$	$X - 0.5772\beta$	$-\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]$	$v+\beta Yt$
2	1.4274	9.2272	0.3665	9.7504
5	1.4274	9.2272	1.4999	11.3682
10	1.4274	9.2272	2.2504	12.4394
15	1.4274	9.2272	2.6738	13.0437
20	1.4274	9.2272	2.9702	13.4669
50	1.4274	9.2272	3.9019	14.7968

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

- Áreas tributarias para la aplicación del Método Racional.

Figura 48

Áreas tributarias de influencia para el cálculo de caudales



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 33

Áreas tributarias para el cálculo de caudales

Descripción	Área	Área (m ²)	Área (km ²)
Área Tributaria	A - 1	304.64	0.00030
Área Tributaria	A - 2	220.72	0.00022
Área Tributaria	A - 3	1723.51	0.00172
Área Tributaria	A - 4	106.66	0.00011
Área Tributaria	A - 5	406.36	0.00041
Área Tributaria	A - 6	927.75	0.00093
Área Tributaria	A - 7	985.16	0.00099
Área Tributaria	A - 8	2931.31	0.00293
Área Tributaria	A - 9	1049.52	0.00105
Área Tributaria	A - 10	1373.77	0.00137
Área Tributaria	A - 11	503.70	0.00050
Área Tributaria	A - 12	1249.34	0.00125
Área Tributaria	A - 13	5950.20	0.00595
Área Tributaria	A - 14	870.47	0.00087
Total		18603.11	0.01860

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

- Aplicación del Método Racional.

Se dispone de los siguientes datos para la aplicación en el Método Racional:



$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

Donde:

C = 0.77 Coeficiente de escorrentía.

I = 11.37 mm/hr (Intensidad máxima de la precipitación).

A = De acuerdo en la tabla 23

Reemplazando los datos obtenidos se tiene los caudales en base a las áreas tributarias.

Tabla 34

Caudales obtenidos según áreas tributarias

Área	Área (m ²)	Área (km ²)	Coeficiente de escorrentía	I. Máxima (mm/h)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (l/s)
A - 1	304.64	0.00030	0.77	11.37	0.0007	0.7
A - 2	220.72	0.00022	0.77	11.37	0.0019	1.9
A - 3	1723.51	0.00172	0.77	11.37	0.0151	15.1
A - 4	106.66	0.00011	0.77	11.37	0.0009	0.9
A - 5	406.36	0.00041	0.77	11.37	0.0036	3.6
A - 6	927.75	0.00093	0.77	11.37	0.0081	8.1
A - 7	985.16	0.00099	0.77	11.37	0.0086	8.6
A - 8	2931.31	0.00293	0.77	11.37	0.0257	25.7
A - 9	1049.52	0.00105	0.77	11.37	0.0092	9.2
A - 10	1373.77	0.00137	0.77	11.37	0.0120	12
A - 11	503.70	0.00050	0.77	11.37	0.0044	4.4
A - 12	1249.34	0.00125	0.77	11.37	0.0109	10.9
A - 13	5950.20	0.00595	0.77	11.37	0.0521	52.1
A - 14	870.47	0.00087	0.77	11.37	0.0076	7.6
Total	18603.11	0.01860			0.1609	160.8

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5.4.16. Dimensionamiento de la estructura de drenaje

El término de drenaje se entiende como la evacuación de las aguas a través de estructuras que conducen a la circulación del flujo dominadas por la pendiente, de manera que permita evitar daños en las edificaciones adyacentes a las mismas.

CONSIDERACIONES DE LA NORMA TÉCNICA O.S. 060 DRENAJE PLUVIAL URBANO



- Captación en zona vehicular – Pista

Para la evacuación de aguas pluviales en las calzadas, aceras y las procedentes de las viviendas se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

o Orientación del flujo

En el diseño de vías urbanas se deberá disponer de pendientes longitudinales (SL) y transversales (ST) a fin de favorecer la concentración del agua que incide sobre el pavimento hacia las terminaciones o bordes de la calzada.

Las inclinaciones por considerar son:

- Pendiente Longitudinal (SL) > 0.5%
- Pendiente Transversal (ST) De 2.0 a 4.0%

o Captación y transporte de aguas pluviales de calzada y aceras

La adecuada evacuación de las aguas que fluyen sobre las calzadas y aceras se efectuarán a través de las cunetas, las que conducen a zonas bajas donde los sumideros captarán el agua para transportarla en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad.

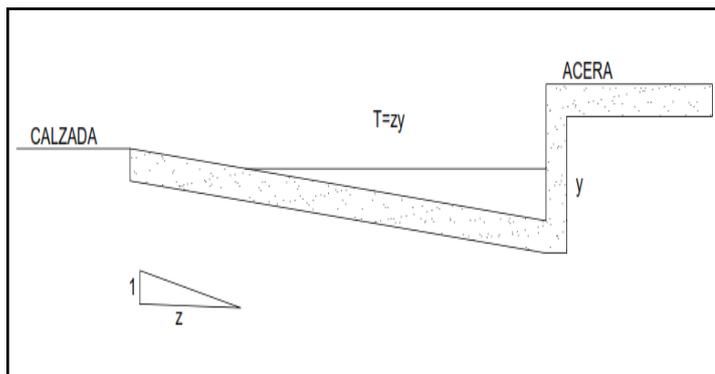
- Las cunetas construidas para este fin podrán tener las siguientes secciones transversales
 - Sección circular
 - Sección triangular
 - Sección Trapezoidal
 - Sección Compuesta
 - Sección en V
- Determinación de la capacidad de la cuneta

La capacidad y eficiencia de una cuneta depende de su sección transversal, pendiente y la rugosidad del material con la que se desarrollan. La capacidad de conducción se resuelve en general con la ecuación de Manning.

La sección transversal de una cuneta generalmente adopta una forma de triángulo rectángulo con el sardinel portando el lado vertical del triángulo. La hipotenusa suele ser parte de la pendiente recta desde la corona del pavimento y puede ser compuesta de dos líneas rectas. (Ver figura).

Figura 49

Cuneta de sección transversal triangular



Nota:(RNE OS.060, 2006).

Donde:

T = Espejo de agua.

Y = Tirante de agua.

Por lo anterior se adopta la sección transversal en forma de triángulo rectángulo básicamente por la facilidad durante el proceso constructivo.

ECUACIÓN DE MANNING PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CUNETAS TRIANGULARES

$$Q = 315 * \frac{Z}{n} * S^{1/2} * Y^{8/3} * \left(\frac{z}{1+\sqrt{1+Z^2}} \right)^{2/3}$$

Donde:

Q = Caudal en litros/seg.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

S = Pendiente Longitudinal del canal.



Z = Valor recíproco de la pendiente transversal (1: Z).

Y = Tirante de agua en metros.

T = Ancho superficial en metros o espejo de agua.

P = Perímetro mojado en metros.

- **Coefficiente de rugosidad de Manning**

En la siguiente tabla se muestra los valores del coeficiente de rugosidad, que corresponden a los diversos acabados de las cunetas, vías y bermas centrales.

Tabla 35

Coefficiente de rugosidad de Manning para cunetas

Cunetas De Las Calles	Coefficiente de Rugosidad "n"
a. Cuneta de concreto con acabado paleteado	0.012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura liso	0.013
2) Textura rugosa	0.016
c. Cuneta de concreto con pavimento Asfáltico	
1) Textura liso	0.013
2) Textura rugosa	0.015
d. Pavimento de Concreto	
1) Acabado con llano de madera	0.014
2) Acabado escobillado	0.016
e. Ladrillo	0.016
f. Para cunetas con pendiente pequeña, donde el sedimento puede acumularse, se incrementarán los valores arriba indicados de n, en:	0.002

Nota: (R.N.E., 2010)

- **Diseño de la cuneta**

Teniendo el coeficiente de Manning (n = 0.012) se adopta valores para "T" y "Y" a fin de obtener valores del caudal que sostiene la cuneta, si T = 0.30m. y Y = 0.10m. entonces evaluamos "Z".

$$T = Z * Y \rightarrow Z = \frac{T}{Y} = \frac{0.30}{0.10} = 3$$

Tabla 36*Evaluación de caudales usando la ecuación de Manning*

Área	Pendiente	Z (m)	Rugosidad de Manning (n)	Tirante de agua planteado (Y)	Caudal soportado por la cuneta Qc (Lts/seg.)	Caudal generado por área tributaria Qa (Lts/seg.)
A - 1	0.01	3	0.012	0.1	13.63	0.7
A - 2	0.01	3	0.012	0.1	13.63	1.9
A - 3	0.01	3	0.012	0.1	13.63	15.1
A - 4	0.01	3	0.012	0.1	13.63	0.9
A - 5	0.01	3	0.012	0.1	13.63	3.6
A - 6	0.01	3	0.012	0.1	13.63	8.1

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.5. Estudio de Tráfico

3.5.5.1. Introducción

Una de las principales variables en el diseño de una vía es el tránsito, si bien el volumen, dimensiones y características de los vehículos intervienen en su diseño geométrico, el número y peso en los ejes son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

El estudio de tráfico tendrá que proporcionar la información analizada que se obtuvo del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo de tránsito vehicular.

El estudio requerido de tráfico en principio y salvo necesidades con objetivos más importantes, se obtendrá mediante muestreos orientados a calcular el IMDA del tramo a estudio, iniciando por el estudio de la demanda volumétrica clasificados por tipo de vehículos en cada dirección de tráfico. La demanda de carga por eje, y la presión de los neumáticos en el caso de vehículos pesados (camiones y ómnibus) es importante tomar en cuenta que los vehículos pesados guardan relación directa con el deterioro del pavimento.

3.5.5.2. Definiciones generales

- Eje sencillo: Eje en cuyo extremo lleva uno o dos neumáticos sencillos.



- Eje tándem: Conformado por dos ejes sencillos con neumáticos dobles en los extremos.
- Eje tridem: Conformado por tres ejes sencillos con neumáticos dobles en los extremos.
- Vehículos livianos: Son vehículos de menos de cinco toneladas de capacidad como automóviles, pick up, camperos, etc.
- Vehículos comerciales: Son vehículos de más de cinco toneladas de capacidad tales como camiones, buses, remolques, etc.
- Volumen de tránsito: Número de vehículos que transitan en ambas direcciones sea el caso o en un sentido de vía durante un periodo específico de tiempo. Este puede ser horario, diario, semanal, etc.
- Tránsito promedio diario: Volumen de tránsito estudiado durante un periodo de tiempo, Fraccionado por el número de días del periodo. Simplificado se denota como TPD. Según el tiempo utilizado para medir el volumen de tránsito vehicular, el TPD puede ser anualmente, mensual, semanal, denominándose TPDA, TPDM, TPDS, respectivamente.
- Eje estándar: Eje simple con Neumáticos duales con una carga de 80 kN equivalentes a (8.2 Tn o 18 Kips).
- ESALs de diseño: Es el número de repeticiones de cargas por eje estándar durante un periodo de diseño. El sistema aplicado para convertir un flujo de tránsito con diferentes cargas por eje en un número de tráfico para el diseño. Se basa en convertir cada carga por eje sobre la vía durante el periodo de diseño, en un número de cargas por eje estándar, sumándolas luego. (fuente: RNE CE – 010).



3.5.5.3. Tránsito (demanda)

Para el manejo estructural de las capas de la estructura del pavimento interviene el tipo de suelo de la sub rasante, el número total de vehículos pesados que transitan por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de inflado de los neumáticos.

El volumen de tráfico (IMDA), requiere ser interpretado en términos de ejes equivalentes sumados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) es igual al efecto de daño causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargadas con 8.2 tn de peso, con neumáticos con presión de inflado 80 lb./pulg².

3.5.5.4. Volumen de tránsito

Se define volumen de tránsito, como la cantidad de vehículos que pasan por una sección transversal de un carril o de una calzada, durante un periodo establecido. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = Vehículos que pasan por un tiempo establecido (vehículos/periodo)

N = Número total de vehículos que pasan por una vía (vehículos)

T = Periodo o tiempo determinado (unidad de tiempo)

Índice medio diario (IMD)

Se define como la cantidad total de vehículos que transitan durante un periodo de tiempo (días completos) semejante o menor a un año y mayor que un día, fraccionado entre el número de días del periodo tiempo.

Concertado al número de días de ese periodo de tiempo, se presenta los volúmenes de tránsito promedios diarios, dados en vehículos por día en las siguientes expresiones:

Tránsito Promedio Diario Anual (IMDA)



$$\text{IMDA} = \frac{\text{TA}}{365}$$

Tránsito Promedio Diario Mensual (IMDM)

$$\text{IMDA} = \frac{\text{TM}}{30}$$

Tránsito Promedio Diario Semanal (IMDS)

$$\text{IMDA} = \frac{\text{TS}}{7}$$

De lo señalado por el volumen de tránsito, el Índice Medio Diario Anual (IMDA) es la premisa más importante que se debe conocer para realizar el proyecto de diseño de pavimentos.

3.5.5.5. *Determinación del IMDA*

Para hallar el IMDA de una vía en operación, es necesario obtener un número total de vehículos que transitan durante todo el año por una sección de referencia establecida, se obtiene mediante un conteo de vehículos en forma directa del tránsito denominada “aforo vehicular”.

El IMDA se podría estimar con aforos vehiculares en temporadas establecidas, ya sea en periodos de hora, diarios, semanales o mensuales y luego visualizarlas a un año mediante técnicas de estadística.

- **Periodo de diseño (n)**

El Pavimento deberá ser diseñado para soportar las solicitaciones de tráfico y el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier temporada. El periodo establecido en años para el cual se diseña el pavimento, se denomina PERIODO DE DISEÑO.

- **Carril de diseño**

Para vías urbanas y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede estudiarse cualquiera de estas, mientras que, para calles y carreteras de carriles múltiples, por lo general es el carril externo a tomarse cuenta.



- Crecimiento del tránsito

El pavimento tendrá que ser diseñado adecuadamente para servir a la demanda del tránsito durante un periodo de años, el aumento del tránsito deberá ser anticipado. El aumento puede ser considerado como el factor de crecimiento, cuya fórmula matemática se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Crecimiento} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r: Taza de crecimiento, en porcentaje

n: Periodo de diseño, en años

El tránsito inicial de vehículos comerciales utilizados para el diseño de un pavimento será la adición de: el existente, el atraído y el generado.

3.5.5.6. Análisis de tráfico.

El estudio del aforo vehicular se determinó mediante el conteo a través de un punto de estación, el ingreso y salida de las mismas.

Para el estudio del tráfico se optó por consideración el Reglamento Nacional de vehículos. D.S. N° 058-2003-MTC.

3.5.5.7. Aforo vehicular.

El conteo vehicular se realizó dentro de las inmediaciones de la Plaza Grau de la ciudad de Lampa, se dio inicio el lunes 16 de agosto hasta el 22 de agosto del 2021 desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm

Tabla 37

Fichas de Aforo vehicular lunes

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6:00 - 7:00	4	2	1	0	3	0	0	0
7:00 - 8:00	12	3	6	0	8	0	1	0
8:00 - 9:00	12	11	9	0	8	0	2	0
9:00 - 10:00	12	6	8	1	2	0	1	0
10:00 - 11:00	24	7	9	0	8	0	0	0
11:00 - 12:00	31	15	16	2	5	0	0	0
12:00 - 13:00	19	11	12	1	11	0	1	0
13:00 - 14:00	15	9	15	2	10	0	1	0
14:00 - 15:00	17	23	15	0	6	0	0	0
15:00 - 16:00	9	12	13	0	5	0	0	0
16:00 - 17:00	11	5	6	1	10	0	0	0
17:00 - 18:00	10	6	4	0	9	0	0	0
TOTAL	176	110	114	7	85	0	6	0

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 38

Fichas de Aforo vehicular martes

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6:00 - 7:00	3	3	2	0	3	0	0	1
7:00 - 8:00	11	2	5	0	7	0	0	0
8:00 - 9:00	10	10	7	1	9	0	0	0
9:00 - 10:00	10	5	7	0	3	0	2	0
10:00 - 11:00	19	6	8	0	9	0	0	0
11:00 - 12:00	22	11	17	1	6	0	0	0
12:00 - 13:00	20	14	10	1	9	0	0	0
13:00 - 14:00	13	8	11	0	11	0	0	0
14:00 - 15:00	18	16	14	0	5	0	0	0
15:00 - 16:00	7	10	10	1	6	0	1	0
16:00 - 17:00	10	4	4	0	9	1	0	0
17:00 - 18:00	9	3	5	0	8	0	0	0
TOTAL	152	92	100	4	85	1	3	1

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 39

Fichas de Aforo vehicular miércoles

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6:00 - 7:00	4	3	3	0	5	0	0	0
7:00 - 8:00	9	3	6	0	6	0	0	0
8:00 - 9:00	11	8	8	0	8	0	1	0
9:00 - 10:00	8	9	6	1	5	0	0	0
10:00 - 11:00	18	8	9	0	7	0	0	0
11:00 - 12:00	19	10	16	0	5	0	0	0
12:00 - 13:00	17	13	11	1	12	0	0	0
13:00 - 14:00	14	9	9	0	9	0	0	0
14:00 - 15:00	16	17	16	0	8	0	0	0
15:00 - 16:00	5	11	9	0	5	0	0	0
16:00 - 17:00	9	5	10	0	11	0	0	0
17:00 - 18:00	7	3	4	0	7	0	1	0
TOTAL	137	99	107	2	88	0	2	0

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 40

Fichas de Aforo vehicular jueves

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6:00 - 7:00	5	2	6	0	4	0	0	0
7:00 - 8:00	8	4	4	0	8	0	1	0
8:00 - 9:00	10	9	7	0	7	0	0	0
9:00 - 10:00	7	8	5	0	8	0	0	0
10:00 - 11:00	17	8	8	0	6	0	0	0
11:00 - 12:00	18	11	17	0	9	0	0	1
12:00 - 13:00	16	10	10	0	11	1	0	0
13:00 - 14:00	15	12	14	1	10	0	1	0
14:00 - 15:00	14	16	15	0	8	0	0	0
15:00 - 16:00	7	10	8	0	7	0	0	0
16:00 - 17:00	8	5	9	1	10	0	0	0
17:00 - 18:00	7	4	5	0	6	0	0	0
TOTAL	132	99	108	2	94	1	2	1

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 41

Fichas de Aforo vehicular viernes

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6.00 - 7:00	4	3	5	0	5	0	1	0
7:00 - 8:00	7	4	7	1	7	0	0	0
8:00 - 9:00	11	8	6	0	9	0	1	0
9:00 - 10:00	9	7	6	0	7	0	0	0
10:00 - 11:00	15	9	7	1	8	0	0	0
11:00 - 12:00	23	12	15	0	11	0	0	0
12:00 - 13:00	17	10	11	0	12	0	0	0
13:00 - 14:00	14	13	13	0	8	0	0	0
14:00 - 15:00	12	15	14	0	9	1	0	0
15:00 - 16:00	8	9	7	0	6	0	0	0
16:00 - 17:00	9	9	11	1	11	0	0	1
17:00 - 18:00	6	5	7	0	7	0	1	0
TOTAL	135	104	109	3	100	1	3	1

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 42

Fichas de Aforo vehicular sábado

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6.00 - 7:00	4	2	1	0	3	0	0	0
7:00 - 8:00	15	2	2	0	7	0	1	0
8:00 - 9:00	7	6	6	1	7	0	0	0
9:00 - 10:00	12	10	8	2	20	0	0	0
10:00 - 11:00	27	7	16	1	12	0	0	0
11:00 - 12:00	19	10	4	2	16	0	0	0
12:00 - 13:00	16	8	10	0	7	0	1	0
13:00 - 14:00	21	10	7	0	10	0	1	0
14:00 - 15:00	15	11	5	0	15	0	0	0
15:00 - 16:00	15	5	7	0	9	0	0	0
16:00 - 17:00	14	6	11	1	12	0	0	0
17:00 - 18:00	13	5	8	0	15	0	0	0
TOTAL	178	82	85	7	133	0	3	0

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 43

Fichas de Aforo vehicular domingo

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión	
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3
DIAGRA. VEH.								
6:00 - 7:00	2	2	1	0	6	0	0	0
7:00 - 8:00	3	4	3	0	13	0	1	1
8:00 - 9:00	8	3	2	0	7	0	0	0
9:00 - 10:00	6	9	3	0	18	0	0	0
10:00 - 11:00	15	7	15	1	9	0	0	0
11:00 - 12:00	24	24	13	0	17	0	1	0
12:00 - 13:00	31	21	4	0	15	0	1	0
13:00 - 14:00	38	12	9	1	11	0	0	0
14:00 - 15:00	22	17	12	3	8	0	0	0
15:00 - 16:00	26	11	4	0	15	0	0	0
16:00 - 17:00	22	9	11	0	10	0	2	0
17:00 - 18:00	16	10	9	0	12	0	0	0
TOTAL	213	129	86	5	141	0	5	1

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 44

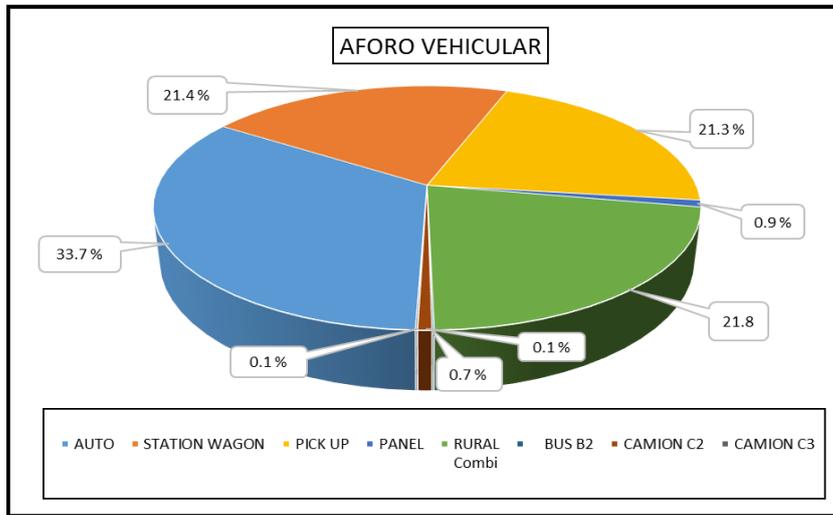
Fichas de Aforo vehicular resumen

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión		Total	%
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3		
Diagra. Veh.										
Lunes	176	110	114	7	85	0	6	0	498	14.9
Martes	152	92	100	4	85	1	3	1	438	13.1
Miércoles	137	99	107	2	88	0	2	0	435	13.0
Jueves	132	99	108	2	94	1	2	1	439	13.2
Viernes	135	104	109	3	100	1	3	1	456	13.7
Sabado	178	82	85	7	133	0	3	0	488	14.6
Domingo	213	129	86	5	141	0	5	1	580	17.4
Total	1123	715	709	30	726	3	24	4	3334	100.0
%	33.7	21.4	21.3	0.9	21.8	0.1	0.7	0.1	100.0	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 50

Aforo Vehicular



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.5.7.1. Determinación del IMDA.

El cálculo del IMDA se genera a partir del IMDS, la misma que se dispone del aforo vehicular realizado en trabajo de campo.

- Cálculo del IMDS

De la Tabla 26 tenemos el tráfico correspondiente a una semana, que es de 3334 vehículos.

$$\text{IMDS} = \frac{\text{TS}}{7}$$

$$\text{IMDS} = \frac{3334}{7} = 476$$

Por lo tanto, obtenemos un IMDS de 476 vehículos mixtos/día

- Cálculo del IMDA

El IMDA (media poblacional), se determina en base al IMDS (media muestral), que está dado por la siguiente expresión:

$$\text{IMDA} = \frac{\text{TS}}{7} \pm A$$



Donde:

IMDA: Índice Medio Diario Anual.

IMDS: Índice Medio Diario Semanal.

A: Máxima diferencia entre el IMDA y el IMDS

La estimación de A, adicionado o sustraído del IMDS (Media Muestral), equivale al intervalo de confianza esta se encuentra en el IMDA (Media Poblacional), Para un adecuado nivel de confianza, el valor de “A” se halla con la siguiente expresión:

$$A = K * E$$

Donde:

K: Número de desviaciones estándar que corresponde al nivel de confiabilidad que se desea.

E: Error estándar de la media.

Se ha indicado que las medias de diferentes datos tomadas de la misma población se dividen normalmente alrededor de la media poblacional, con una desviación estándar semejante al error estándar, por lo que se opta:

$$E = \sigma'$$

Donde:

σ' = Estimación de desviación estándar poblacional (S)

$$\sigma' = \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right)$$

Donde:

S: Desviación estándar de la partición de los volúmenes de transito diario o desviación estándar muestral.

n: Cantidad de la muestra en número de días del aforo.

N: Cantidad de la población en número días del año.

La desviación estándar muestral S , se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

TD_i : Volumen de tráfico del día “ i ”.

S : Desviación estándar muestral.

n : Tamaño de la muestra en cantidad de días del aforo.

Al final obtenemos la correlación entre los volúmenes de tránsito promedio diario anual y semanal.

$$IMDA = IMDS \pm A = IMDS \pm K * E = IMDS \pm K * \sigma'$$

$$IMDA = IMDS \pm K * \sigma'$$

Para hallar el valor de “ K ”, se recurre al uso de la tabla 27 que considera el grado de confiabilidad acorde al tipo de vía. En nuestro caso es una vía local en una zona turística urbana, por lo tanto, se ha estimado un nivel de confiabilidad de un 65%.

Tabla 45

Valores de nivel de confianza R , de acuerdo con el tipo de camino

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias/Carreteras principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras/Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos Vecinales/Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: (ASSTHO, 1993)

En el siguiente cuadro presentaremos los valores de confiabilidad vs desviación estándar normal.

Tabla 46

Factores de desviación normal

Confiabilidad	Zr
50	0
65	-0.389
80	-0.841
95	-1.645

Nota: (Aurelio S., 1997)

Aplicando el uso de las tablas descritas anteriormente se determina que para un camino vecinal local se tienen los siguientes valores:

- K = -0.389
- N = 365 días
- n = 7 días (lunes a domingo)
- IMDS = 476 vehículos/día.

Tabla 47

Cálculo de desviación estándar

Días de aforo	Tránsito diario TDi	IMDS	TDi - IMDS	(TDi - IMDS) ²
Lunes	498	476	22	472
Martes	438	476	-38	1444
Miércoles	435	476	-41	1681
Jueves	439	476	-37	1369
Viernes	456	476	-20	400
Sábado	488	476	12	144
Domingo	580	476	104	10816
TOTAL	3334			16326

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Citando la ecuación de la desviación estándar, obtenemos los valores:

$$S = \sqrt{\frac{16326}{7-1}} = 52.16$$

Por lo tanto, usando los valores de N = 365, n = 7 y S = 52.16 se procede a calcular el valor de σ' .

$$\sigma' = \frac{52.16}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right) = 19.55 \approx 20 \text{ Veh./día}$$

Para la cuantificación del Índice Medio Diario Anual (IMDA), para un 65% de confiabilidad tenemos $K = -0.389$ y el valor de $\sigma' = 20$.

$$\text{IMDA} = 476 \pm (-0.389) * (20)$$

Por lo anterior el IMDA está entre los valores de:

- 468 vehículos por día < IMDA < 484 vehículos por día
- Tomaremos en cuenta el caso más crítico IMDA = 484 vehículos/día.

3.5.5.7.2. Determinación del periodo de diseño.

La AASHTO nos facilita algunos valores del periodo de diseño de acuerdo con la magnitud y envergadura de la vía.

Tabla 48

Periodo de análisis

Tipo de vía	Periodo de análisis
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

Nota: (ASSTHO, 1993)

Por lo tanto, para el actual proyecto se tomará en cuenta un periodo de diseño de 20 años.

3.5.5.7.3. Tasa de crecimiento anual de tráfico.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones por medio de la Oficina General de Planificación y Presupuestos (OGPP) la tasa de crecimiento anual se tiene en la tabla 31.

Tabla 49*Parque Automotor Nacional por departamentos*

Departamento	2017	2018	Tasa promedio anual
Total	2786101	2894327	3.9
Amazonas	2227	2182	-2.0
Ancash	34923	36190	3.6
Apurímac	4177	4120	-1.4
Arequipa	200560	211735	5.6
Ayacucho	6015	5918	-1.6
Cajamarca	26224	27674	5.5
Cuzco	79874	84942	6.3
Huancavelica	1259	1235	-1.9
Huánuco	16915	17367	2.7
Ica	27423	27558	0.5
Junín	69760	72316	3.7
La Libertad	196040	202558	3.3
Lambayeque	71328	74092	3.9
Lima	1837347	1908672	3.9
Loreto	5489	5477	-0.2
Madre de Dios	1308	1383	5.7
Moquegua	14887	14810	-0.5
Pasco	6660	6545	-1.7
Piura	57740	60006	3.9
Puno	49387	51041	3.3
San Martín	12669	13052	3.0
Tacna	50858	52161	2.6
Tumbes	3423	3375	-1.4
Ucayali	9608	9918	3.2

Nota: (M.T.C., 2021)

3.5.5.8. Factor camión

Se comprende por factor camión al número de aplicaciones de ejes sencillos con carga equivalente de 8.2 toneladas con respecto al paso de un vehículo comercial (bus o camión).

3.5.5.8.1. Factores De Equivalencia De Carga (FEC).

Para evaluar el efecto sobre un pavimento, de cargas distintas a las de 8.2 Tn. estándar, semejantes a un tandem de 14.5 Tn, se determinó factores de equivalencia de carga por eje, que se obtuvo a partir de las consideraciones del AASHTO ROAD TEST.



Los resultados adquiridos en la prueba ASSHTO, permiten hallar la equivalencia entre cargas diferentes que transmitirán al pavimento por un sistema de neumáticos y ejes, se expresa con la siguiente expresión:

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^n$$

Donde:

FEC: Factor de Equivalencia De Carga.

P1: Carga de eje a considerar, cuya equivalencia de daño se desea calcular (Tn).

P0: Carga de eje de referencia estándar (Tn).

n: Coeficiente empírico.

Se indicará el coeficiente exponencial experimental para las cargas por eje simple de 80Kn y de 142kN, optando por 80Kn. De acuerdo con la tabla 33, AASHTO determina el valor de $n = 4$, finalmente llegando a la siguiente expresión.

$$\text{Factor de Equivalencia de Carga} = \left(\frac{P_1}{p_0}\right)^4$$



Tabla 50

Factores de Equivalencia de Carga

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de carga		
Kn	Lb	Ejes simples	Ejes tándem	Ejes trídem
4.45	1,000	0.00002		
8.90	2,000	0.00018		
17.80	4,000	0.00209	0.0003	
26.70	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.60	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.50	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.30	14,000	0.360	0.027	0.006
71.20	16,000	0.623	0.047	0.011
80.00	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.90	22,000	2.18	0.180	0.040
106.80	24,000	3.03	0.260	0.057
115.60	26,000	4.09	0.364	0.080
124.50	28,000	5.39	0.495	0.109
133.40	30,000	6.97	0.658	0.145
142.30	32,000	8.88	0.857	0.191
151.20	34,000	11.18	1.095	0.246
160.10	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.50	46,000	37.24	3.55	0.868
213.50	48,000	44.50	4.17	1.033
222.40	50,000	52.88	4.86	1.22
231.30	52,000		5.63	1.43
240.20	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	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
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.0	7.45
364.7	82,000		32.0	8.20
373.6	84,000		35.3	8.90
382.5	86,000		38.8	9.80
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

Nota: (Minaya S., 2006)

3.5.5.8.2. Número de repeticiones de ejes equivalentes

Para la realización del diseño de pavimentos la solicitud que corresponde al del tráfico pesado de camiones es la que sobresalientemente tiene importancia.

El tránsito tiene una medición en la unidad definida, por ASSHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados en el periodo de diseño recopilado en el estudio. ASSHTO definió como un EE, a consecuencias de deterioro que ha sido causado sobre el pavimento por un eje simple de dos neumáticos típicos cargado con 8.2 Tn de peso, también neumáticos con una presión de 80 lb/pulg². Los ejes equivalentes (EE) son agentes con equivalencias que indican un factor destructivo de las diferentes cargas, por eje que están conformados por cada prototipo de vehículos pesados, sobre la conformación del pavimento.

Tabla 51

Configuración de los ejes

Conjunto de ejes (s)	Nomenclatura	N° de neumáticos	Gráfico
Eje simple (con rueda simple)	1rs	2	
Eje simple (con rueda doble)	1rd	4	
Eje tandem (1 eje rueda simple + 1 eje rueda doble)	1rs + 1rd	6	
Eje tandem (2 ejes rueda doble)	2rd	8	
Eje tridem (1 rueda simple + 2 ejes rueda doble)	1rs + 2rd	10	
Eje tridem (3 ejes rueda doble)	3rd	12	

Nota: (M.T.C., 2013)

En el análisis de los EE, se aplicará las siguientes correlaciones simplificadas, que resultaron de relacionar los valores de las tablas del apéndice D de la guía AASHTO 93,

para las diversas solicitaciones de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) y prototipo de pavimento.

Tabla 52

Relación de cargas por eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para pavimentos rígidos, pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [P / 6.6] ^{4.0}
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [P / 8.2] ^{4.0}
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles +1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{TA1} = [P / 14.8] ^{4.0}
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [P / 15.1] ^{4.0}
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{TR1} = [P / 20.7] ^{3.9}
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [P / 21.8] ^{3.9}

P = Peso real por eje en toneladas

Nota: (ASSTHO, 1993)

Tabla 53

Relación de cargas por Eje para determinar equivalencias (EE) para Pavimentos rígidos

Tipo de eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	EE _{S1} = [P / 6.6] ^{4.1}
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	EE _{S2} = [P / 8.2] ^{4.1}
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles +1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	EE _{TA1} = [P / 13.0] ^{4.1}
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	EE _{TA2} = [P / 13.3] ^{4.1}
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	EE _{TR1} = [P / 16.6] ^{4.0}
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	EE _{TR2} = [P / 17.5] ^{4.0}

P = Peso real por eje en toneladas

Nota: (ASSTHO, 1993)

Tabla 54

Peso máximo por eje independiente o grupos

Eje (s)	Neumático	Gráfico			Kilos
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Simple	2				7,000
Simple	4				11,000
Doble	6				16,000
Doble	8				18,000
Triple	10				23,000
Triple	12				25,000

Nota: (M.T.C., 2003a)

Para estructurar un pavimento se adoptará el número proyectado de EE que se transmitirán por el “carril de diseño”, durante el periodo analizado. La vía de diseño tendrá correlación al carril establecido como el más cargado de la carretera y el resultado de este análisis será acogido para todos los carriles de la sección vial de esa carretera, por tramos de demanda uniforme.

3.5.5.8.3. Carril de diseño.

Para vías urbanas y carreteras de dos carriles, el carril de diseño podría ser uno de los dos, también podemos mencionar que, para vías urbanas y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril que se encuentra en el lado externo.

En ciertas circunstancias, posiblemente haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro. En varios sitios los camiones circulan con carga en un sentido y vacíos en otros. Teniendo en cuenta las sugerencias del Instituto del Asfalto y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO):

- **Instituto del Asfalto:**

Tabla 55*Carril de diseño según Instituto del Asfalto*

N° carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35 - 48)
6 o más	40 (25 - 48)

Nota: (Minaya S., 2006)**- AASHTO:**

Para la cuantificación de vehículos en ambas direcciones, el factor de dirección recomendado es de 50%, aunque este valor podría variar entre 30 a 70%. El tráfico vial en una sola dirección se separará para el carril de diseño según lo recomendado:

Tabla 56*Carril de diseño según AASHTO*

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

Nota: (Minaya S., 2006)**3.5.5.8.4. Factor direccional y Factor carril**

El agente que distribuye se expresa como una relación, que tiene una correspondencia al número de vehículos pesados que transitan en un sentido de tráfico vehicular, generalmente tiene una correspondencia a la mitad del tránsito que circula en ambas direcciones, pero en alguna eventualidad puede ser considerado mayor en una dirección que en otra, el que definirá según el conteo de tráfico vehicular.

El agente que distribuye el carril expresado como una relación, que tiene una correspondencia al carril que adopta el mayor número de EE, donde el tránsito vehicular por dirección en la mayoría de los casos se canaliza por ese carril.



El tráfico calculado para el carril de diseño del pavimento justificara el número de direcciones o sentidos y el número de carriles por calzada de la vía, según el porcentaje o factor a considerar aplicado al IMD.

Tabla 57

Factores de Distribución direccional y de Carril para determinar el tránsito en el carril de diseño

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

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo en base a la guía ASSHTO 93

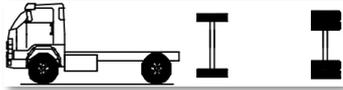
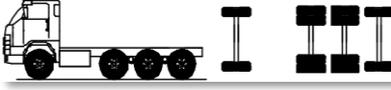
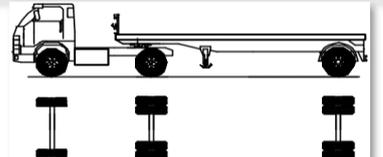
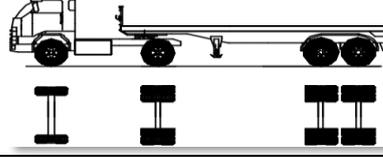
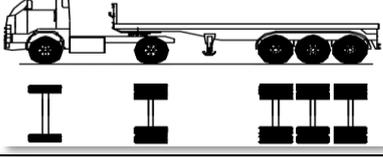
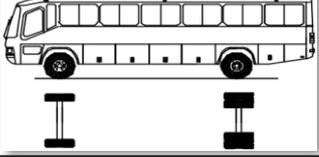
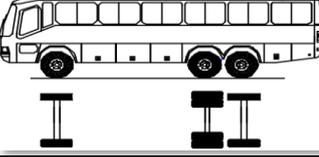
3.5.5.8.5. Estimación del factor camión, FC.

Se comprende por factor camión al número de aplicaciones de eje estándar de 80 kN, respectivo al paso de un vehículo. El factor camión se podrá hallar por pesaje. El pesaje es un método de un alto valor(carro) para proyectos pequeños; por ende, cuando se deba realizar el diseño para un tramo de vía en la cual no exista datos sobre el peso de los vehículos quedan dos elecciones:

- Tener en cuenta el F.C. más conocido de una vía donde las características sean semejantes.
- Considerar el F.C. por algún método empírico.

Figura 51

Dimensiones, pesos y medidas de vehículos Pesados

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso Máximo (tn)					Peso bruto máx. (tn)
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25
C4		13,20	7	23	---	---	---	30
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
B2		13,20	7	11	---	---	---	18
B3 - 1		14,00	7	16	---	---	---	23

Nota: (M.T.C., 2003b)

En el siguiente cuadro observaremos y obtendremos el Factor Camión para cada tipo de vehículo, tomando en cuenta la tabla anterior

Tabla 58

Factor camión para C2 y B2 (Pavimento Flexible)

Factor camión para C2 y B2 pavimento flexible		
Ejes	E1	E2
Ecuación utilizada	$EE_{s1} = [p / 6.6]^{4.0}$	$EE_{s2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Peso (tn)	7	11
Tipo de eje	Eje simple	eje simple
Tipo de rueda	Rueda simple	rueda doble
Factor de E.E.	1.265	3.238
Factor camión	4.504	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 59

Factor camión para C3 (Pavimento Flexible)

Factor camión para C3 pavimento flexible		
Ejes	E1	E2
Ecuación utilizada	$EE_{s1} = [p / 6.6]^{4.0}$	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Peso (tn)	7	16
Tipo de eje	Eje simple	Eje tándem
Tipo de rueda	Rueda simple	1 eje 2R + 1 Eje de RS
Factor de E.E.	1.265	1.366
Factor camión	2.631	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 60

Factor camión para C2 y B2 (Pavimento Rígido)

Factor Camión Para C2 Y B2 Pavimento Rígido		
Ejes	E1	E2
Ecuación Utilizada	$EE_{s1} = [P / 6.6]^{4.1}$	$EE_{s2} = [P / 8.2]^{4.1}$
Peso (Tn)	7	11
Tipo de eje	eje simple	eje simple
Tipo de rueda	rueda simple	rueda doble
Factor de E.E.	1.273	3.335
Factor Camión	4.608	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 61

Factor camión para C3 (Pavimento Rígido)

Factor Camión Para C3 Pavimento Rígido		
Ejes	E1	E2
Ecuación Utilizada	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$	$EE_{TA1} = [P / 13.0]^{4.1}$
Peso (Tn)	7	16
Tipo de eje	eje simple	eje tándem
Tipo de rueda	rueda simple	1 eje 2R + 1 Eje de RS
Factor de E.E.	1.273	2.343
Factor Camión	3.616	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 62

Resultados del Factor Camión para Pavimentos Flexibles

Tipo de vehículo	Eje 1			Eje 2			Factor camión
	Tn	Kn	FEC	Tn	Kn	FEC	
Autos	1.106	10.85	0.0008	1.106	10.85	0.0008	0.0016
station Wagon	1.106	10.85	0.0008	1.106	10.85	0.0008	0.0016
Panel	1.106	10.85	0.0008	1.106	10.85	0.0008	0.0016
Camionetas Pick Up	1.106	10.85	0.0008	1.106	10.85	0.0008	0.0016
Camionetas Rural (Combi)	2	19.62	0.008	2	19.62	0.008	0.017
Bus "B2"	7	68.65	1.265	11	107.87	3.238	4.504
Camión "C2"	7	68.65	1.265	11	107.87	3.238	4.504
Camión "C3"	7	68.65	1.265	16	176.52	1.366	2.631

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 63

Resultados del Factor Camión para Pavimentos Rígidos

Tipo de vehículo	Eje 1			Eje 2			Factor camión
	Tn	Kn	FEC	Tn	Kn	FEC	
Autos	1.106	10.85	0.0007	1.106	10.85	0.0007	0.0013
station Wagon	1.106	10.85	0.0007	1.106	10.85	0.0007	0.0013
Panel	1.106	10.85	0.0007	1.106	10.85	0.0007	0.0013
Camionetas Pick Up	1.106	10.85	0.0007	1.106	10.85	0.0007	0.0013
Camionetas Rural (Combi)	2	19.62	0.0075	2	19.62	0.0075	0.015
Bus "B2"	7	68.65	1.273	11	107.87	3.335	4.608
Camión "C2"	7	68.65	1.273	11	107.87	3.335	4.608
Camión "C3"	7	68.65	1.273	16	176.52	2.343	3.616

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



3.5.5.8.6. ESALs de diseño

El esquema por considerarse sobre el número de ejes equivalentes (ESAL) para el estudio (W₁₈) en el carril de diseño. A partir del conteo vehicular y la transformación a ejes equivalentes se debe cambiar al ESAL en ambas direcciones por circunstancias direccionales de carril, aplicando la siguiente ecuación.

$$W_{18} = D_D * D_L * \bar{w}_{18}$$

Donde:

W₁₈ : Número de ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de exploración en el carril de diseño.

DD: Factor de distribución direccional.

DL: Factor de distribución por carril.

\bar{w}_{18} : Tráfico total en ambas direcciones para el periodo de diseño

De acuerdo con la tabla 38 para nuestro proyecto obtenemos el Factor de Distribución Direccional de 1.0 (100%) y el Factor de Distribución por carril 0.8 (80%).

3.5.5.8.7. Crecimiento del tránsito.

El diseño del pavimento debe servir adecuadamente a la demanda de tránsito vehicular durante un periodo de años; por ende, el crecimiento del tránsito deberá ser anticipado.

El aumento puede ser considerado como el Factor de Crecimiento:

$$Factor\ de\ Crecimiento = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r = 3.3% (Tasa de crecimiento anual)

n = 20 años (Periodo de diseño)

Por consiguiente, el Factor de Crecimiento será: 27.7

Tabla 64

Cálculo de ESAL de diseño (Pavimento Flexible)

Tipo de vehículo	N° veh/día (1 sentido) 1	N° veh/día (1 sentido) 2=80%(1)	N° veh/año 3=2x365	Factor camión 4	ESAL en el carril de diseño 5=3x4	Factor de crecimiento 6	ESAL de diseño 7=5x6
Autos	162	130	47450	0.0016	75.92	27.7	2103.0
Station Wagon	104	83	30295	0.0016	48.472	27.7	1342.7
Panel	103	82	29930	0.0016	47.888	27.7	1326.5
Camionetas Pick Up	4	3	1095	0.0016	1.752	27.7	48.5
Camionetas Rural (Combi)	105	84	30660	0.0169	518.154	27.7	14352.9
Bus "B2"	1	1	365	4.5037	1643.8505	27.7	45534.7
Camión "C2"	3	2	730	4.5037	3287.701	27.7	91069.3
Camión "C3"	1	1	365	2.6313	960.4245	27.7	26603.8
Total	483	386	140890.00		6584.162		182381.3

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 65

Cálculo de ESAL de diseño (Pavimento Rígido)

TIPO DE VEHÍCULO	N° veh/día (1 sentido) 1	N° veh/día (1 sentido) 2=80%(1)	N° veh/año 3=2x365	Factor Camión 4	ESAL en el carril de diseño 5=3x4	Factor de Crecimiento 6	ESAL de diseño 7=5x6
Autos	162	130	47450.00	0.0013	61.685	27.7	1708.7
Station Wagon	104	83	30295.00	0.0013	39.3835	27.7	1090.9
Panel	103	82	29930.00	0.0013	38.909	27.7	1077.8
Camionetas Pick Up	4	3	1095.00	0.0013	1.4235	27.7	39.4
Camionetas Rural (Combi)	105	84	30660.00	0.0150	459.9	27.7	12739.2
Bus "B2"	1	1	365.00	4.6077	1681.8105	27.7	46586.2
Camión "C2"	3	2	730.00	4.6077	3363.621	27.7	93172.3
Camión "C3"	1	1	365.00	3.6156	1319.694	27.7	36555.5
Total	483	386	140890.00		6966.4265		192970.0

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pavimento Flexible

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructural SN para medir la resistencia estructural que requiere el pavimento para una determinada capacidad de soporte de suelo, tráfico previsto y pérdida de serviciabilidad. Con la ecuación de diseño empírica usada en AASHTO 93 se busca el número estructural requerido.

La ecuación básica de diseño propuesta por AASHTO 93, es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W18: Número de ejes equivalente de 80 kN (18,000lb) en el periodo de diseño.

Zr: Desviación Estándar Normal

So: Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico

ΔPSI: Diferencia de Serviabilidad (PO – Pt)

PO: Serviabilidad Inicial

Pt: Serviabilidad Final

Mr: Modulo Resiliente

SN: Número Estructural indicativo del espesor total del pavimento

El número estructural requerido por el proyecto SN se convierte en el espesor de cada uno de los componentes de la estructura del pavimento a través de coeficiente de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño viene dada de la siguiente manera:

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



Donde:

SN: Número estructural requerido por la sección de carretera.

ai: Coeficiente de capa i (1/pulgada).

DI: Espesor de capa i (pulgadas).

mi: Coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional).

Los parámetros de diseño se detallan a continuación:

- **Periodo de diseño**

El periodo de diseño se refiere al tiempo, generalmente expresado en años, transcurrido entre la construcción (denominado año cero) y el momento de la rehabilitación del pavimento.

Tabla 66

Periodo de diseño en función del tipo de carretera

Condiciones de la carretera	Periodo de análisis (años)
Altos volúmenes. Urbano	30 - 50
Altos volúmenes. Rural	20 - 50
Bajos volúmenes. Pavimentado	15 - 25
Altos volúmenes. Afirmado	10 - 20

Nota: (ASSTHO, 1993)

Por lo tanto, se asume un periodo de diseño igual a 20 años.

- **Tránsito (ESALs)**

Del estudio de tráfico se tiene el ESAL de diseño:

$$ESALs = 182381.3 = 0.182381 \times 10^6$$

- **Factor de Confiabilidad (R)**

El factor de confiabilidad es una medida que incorpora cierto nivel de certeza en el proceso de diseño para garantizar que los diferentes parámetros alcancen el periodo de análisis.

A continuación, se muestra los niveles recomendados de confiabilidad para diversas caracterizaciones funcionales:

Tabla 67

Valores del nivel de confianza R, de acuerdo con el tipo de camino

TIPO DE CAMINO	ZONAS URBANAS	ZONAS RURALES
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias/Carreteras principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras/Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos Vecinales/Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: (ASSTHO, 1993)

Como se indica en la Tabla 50 la vía en estudio corresponde al tipo de camino Vecinal/Local se adopta un valor intermedio de 65%.

- **Desviación Estándar Normal (ZR)**

En la Tabla 51, se muestra los valores de la desviación normal estándar para cada valor del coeficiente de confiabilidad, tal y como indica la guía AASHTO 93.

Tabla 68

Valores de Desviación estándar normal

Confiabilidad (R%)	Desviación Estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
65	-0.389
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054



99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Nota: (ASSTHO, 1993)

Así, el valor de la Desviación Estándar que corresponde a una confiabilidad al 65 % es:

$$ZR = -0.389$$

- **Error Estándar Combinado (So)**

La AASHTO propuso los valores adjuntos para elegir la variabilidad o error estándar combinado So, de forma resumida y básica, este elemento representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

El rango típico sugerido por ASSHTO se ubica entre:

Para pavimentos rígidos $0.30 < So < 0.40$

Para Pavimentos Flexibles $0.40 < So < 0.50$

Para tal efecto se considera el valor de $So = 0.45$, basado en el desarrollo de la carretera experimental efectuada por la AASHTO en pavimentos rígidos.

- **Índice de Serviciabilidad (Δ PSI)**

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

Tabla 69

Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Nota: (ASSTHO, 1993)



El diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (PO) y el índice de serviciabilidad final (Pt), para la vida útil y un diseño adecuado de pavimentos.

- **Índice de Serviciabilidad inicial (Po)**

El índice de serviciabilidad inicial (PO) se establece como el primer estado del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación, ASSHTO estableció para pavimentos flexibles y rígidos los siguientes índices de serviciabilidad (PO).

- Pavimentos rígidos PO = 4.5
- **Pavimentos flexibles PO = 4.2**

- **Índice de Serviciabilidad Final (Pt)**

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

- Carreteras principales Pt = 2.5 ó 3.0
- **Carreteras de tránsito menor Pt = 2.0**

La deficiencia o pérdida de serviciabilidad, se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y final.

$$\Delta PSI = PO - Pt$$

En el presente proyecto, se tiene los datos a partir de los parámetros ya anteriormente referenciados y utilizando la ecuación anterior, se tiene:

- Serviciabilidad Inicial PO = 4.2
- Serviciabilidad Final Pt = 2.0
- Pérdida de Serviciabilidad $\Delta PSI = Po - Pt = 2.2$

- **Módulo resiliente efectivo del suelo.**

El módulo Resiliente es una medida de la propiedad elástica del suelo, tomando en consideración ciertas características y es usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles y que sustituye al valor de soporte del suelo.

Para determinar los módulos resilientes se emplean las correlaciones siguientes:

$$MR = 1500 \times CBR \text{ (psi)} \quad \rightarrow \quad CBR < 7.2\%$$

$$MR = 3000 \times CBR^{0.65} \text{ (psi)} \quad \rightarrow \quad 7.2\% < CBR < 20\%$$

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

En el presente proyecto de tesis se tiene un CBR de la sub rasante de 6.1%.

Por lo tanto, se obtiene el valor del Módulo Resiliente.

$$MR = 1500 (6.1) = 9150 \text{ psi}$$

- **Coefficiente de drenaje (mi)**

El método AASHTO asume que la resistencia de la sub rasante y base permanecerá constante durante la vida útil del pavimento. Para que esto sea válido, la estructura de un pavimento debe poseer un adecuado drenaje. La calidad de drenaje se incorpora al diseño, modificando los coeficientes de capas.

El factor que modifica o ajusta el coeficiente de capa se representa en (mi), el posible efecto del drenaje en el concreto asfáltico no se considera. A continuación, se detallan los diferentes niveles de drenaje.

Tabla 70

Calidad de Drenaje

Calidad del drenaje	Agua removida en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drena

Nota: (ASSTHO, 1993)

Así mismo se muestra el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en donde la estructura del pavimento puede estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 71

Valores recomendados calidad de drenaje

Calidad del drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a Niveles de humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Nota: (ASSTHO, 1993)

Por lo tanto, se asume: $m_1 = m_2 = m_3 = 0.9$

- **Determinación del espesor**

o **Cálculo del Número Estructural requerido (SN)**

La estimación del número estructural requerido se puede determinar de las siguientes maneras:

- Utilizando el monograma.
- Utilizando la ecuación general AASHTO 93

Para el presente proyecto se utilizó la ecuación AASHTO 93, teniendo en cuenta los resultados de cada uno de los parámetros.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:



- ESAL de diseño, $W18 = 182,381.3$
- Factor de confiabilidad, $R = 65 \%$
- Desviación estándar Normal (Para $R = 65\%$), $Z_r = - 0.389$
- Error estándar Combinado de la predicción de tráfico, $S_o = 0.45$
- ΔPSI : Diferencia de serviciabilidad ($\Delta PSI = PO - Pt$) = 2.2
- Serviciabilidad Final, $P_t = 2.0$
- Módulo Resiliente de la Subrasante, $M_r = 9150$ psi

Con la ecuación general se obtiene como resultado el Número Estructural requerido:

$$SN_{requerido} = 2.05$$

- **Coefficiente de Capa.**

Es un valor matemático otorgado a cada capa de material que componen la estructura del pavimento, según lo indicado por su módulo de elasticidad o CBR correspondiente, con el objeto de cambiar el espesor de cada capa, en el número estructural (SN) conseguido. Este coeficiente de capa expresa la relación experimental entre “SN” y el espesor total del pavimento.

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

a_1 : Coeficiente de capa 1

a_2 : Coeficiente de capa 2

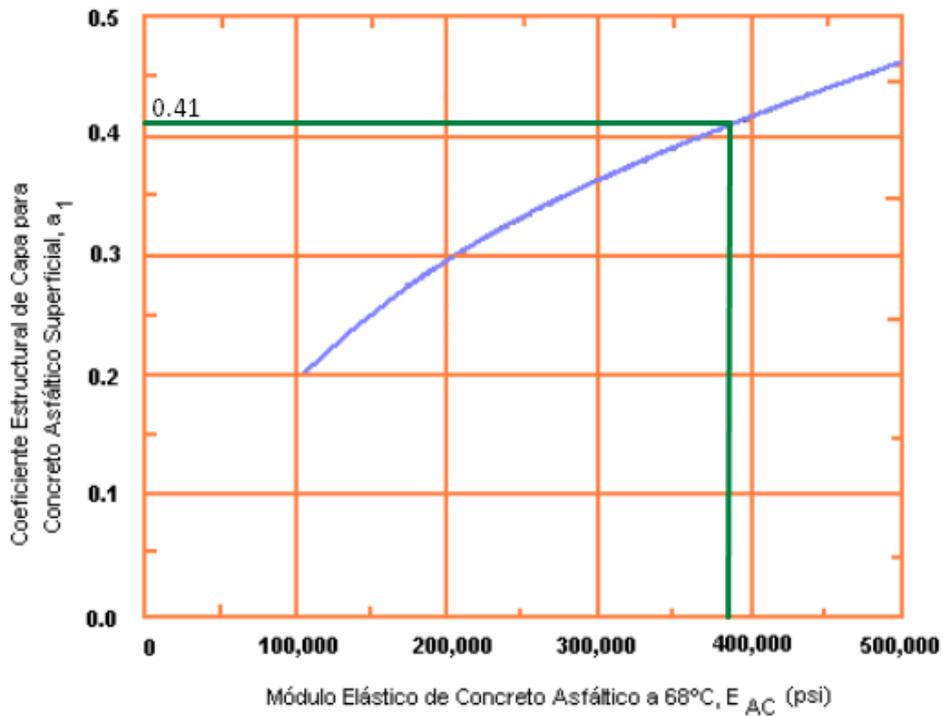
a_3 : Coeficiente de capa 3

- **Coefficiente de Capa a_1 (Carpeta asfáltica)**, se resuelve utilizando figura 43.

Para módulo resiliente del concreto asfáltico = 380,000 psi.

Figura 52

Determinación de α_1



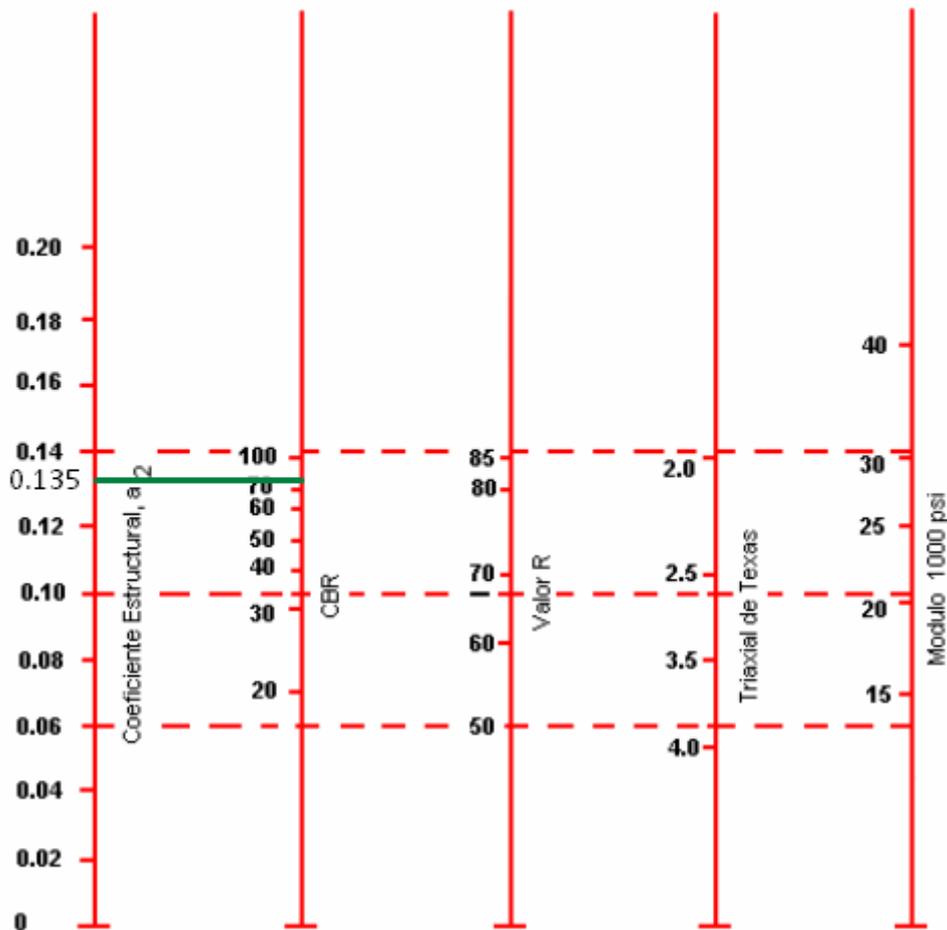
Nota: (Minaya S., 2006)

A partir de la cual se obtiene el valor de: $\alpha_1 = 0.41$

- **Coeficiente de Capa α_2 (Base)**, Se determina mediante la figura 44, para un CBR Base = 80%

Figura 53

Determinación de a_2



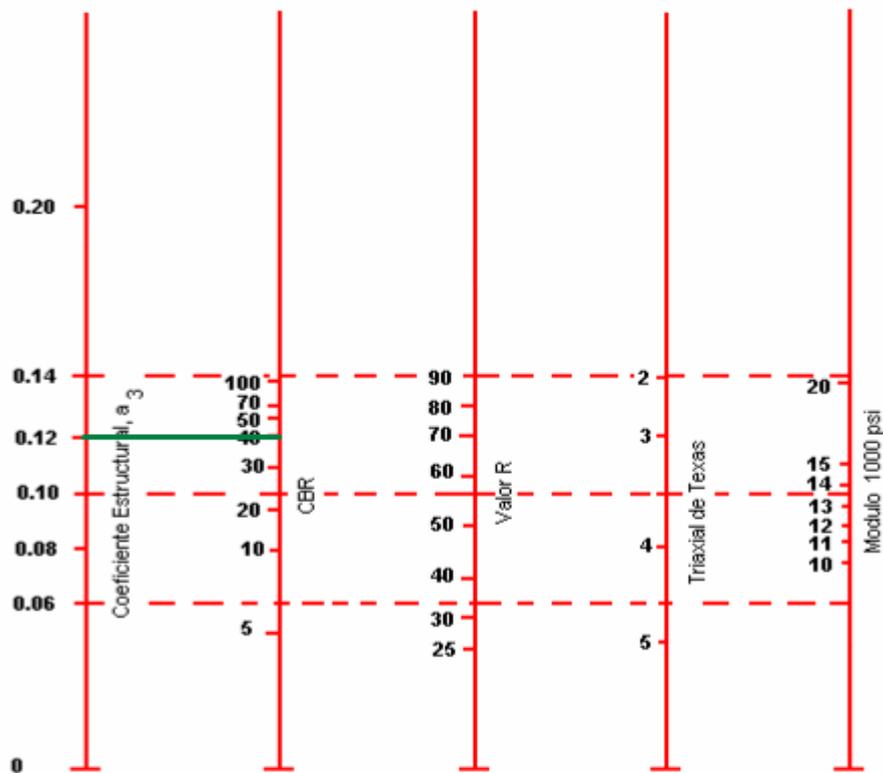
Nota: (Minaya S., 2006)

De donde se obtiene el valor de: $a_2 = 0.135$

- **Coeficiente de Capa a_3 , (Sub base).** Se resuelve a través de la figura 45, para un CBR Sub base = 40%

Figura 54

Determinación de a_3



Nota: (Minaya S., 2006)

De donde se obtiene el valor de: $a_3 = 0.12$

- **Espesores mínimos.**

Tabla 72

Espesores mínimos en pulgadas, en función de los Ejes Equivalentes

Tráfico ESALs	Espesores Mínimos (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50.000	1.00 (Tratamiento Superficial)	4
50 001 - 150 000	2	4
150 001 - 500 000	2.5	4
500 001 - 2 000 000	3	6
2 000 001 - 7 000 000	3.5	6
Mayor a 7 000 000	4	6

Nota: (Minaya S., 2006)



El espesor del pavimento flexible se resuelve en función al número estructural (SN) determinado en la ecuación de diseño, posteriormente se relaciona con dicho valor por tanteos, los coeficientes de capa con espesores mínimos recomendados por AASHTO o realizando un análisis de diseño de capas.

Espesor mínimo Carpeta Asfáltica = 2.5", Espesor mínimo Base Granular = 4.0", espesores que asumimos al principio.

De acuerdo a la mención anterior se tiene la ecuación de diseño:

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

Tenemos los valores recientemente obtenidos y los espesores mínimos:

SN requerido = 2.05

$$a_1 = 0.41/\text{pulg} \quad D_1 = 2.5 \quad m_2 = 0.9$$

$$a_2 = 0.135/\text{pulg} \quad D_2 = 4.0 \quad m_3 = 0.9$$

$$a_3 = 0.12/\text{pulg} \quad D_3 = \text{¿?}$$

Reemplazamos los valores y obtenemos: $D_3 = 5.03$ pulg.

Reemplazamos cada valor y se obtiene: $D_3 = 5.03$ pulg.

Sin embargo, en nuestro país se recomienda un espesor de 2 pulgadas para la carpeta asfáltica y teniendo la tabla 55 recomendado por la AASHTO de espesores mínimos, se asume una carpeta asfáltica de 2.5 pulgadas, consecuentemente al recalcular espesores tenemos:

SN calculado = 2.159

$$a_1 = 0.41/\text{pulg} \quad D_1 = 2.5 \text{ pulg.} \quad m_2 = 0.9$$

$$a_2 = 0.135/\text{pulg.} \quad D_2 = 4.0 \text{ pulg.} \quad m_3 = 0.9$$

$$a_3 = 0.12/\text{pulg.} \quad D_3 = 5.03 \text{ pulg.}$$

Como SN requerido (2.05) < SN calculado (2.159), por lo tanto, la disposición final de la estructura del pavimento se detalla a continuación:

Figura 55

Disposición final de espesores del pavimento flexible



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.2. Pavimento Rígido

4.2.1. Método AASHTO 93, para pavimentos rígidos

El procedimiento de diseño AASHTO tiene varias versiones, pero en este trabajo de investigación se dará uso a la Guía AASHTO edición de 1993. Podemos resaltar que la edición estudiada es la que se recomienda en los reglamentos de diseño de vías urbanas con pavimento rígido aun en la actualidad.

Las constantes que se involucran para el diseño de pavimentos rígidos son estimadas en base a un entendimiento empírico, es importante conocer y entender la importancia que tienen cada una de ellas. Las pautas que propone la guía AASHTO 93 para el diseño del espesor de la losa de pavimento rígido se mostrará en la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{S'c * C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right)$$

Dónde:

- W18 : Tráfico (Número de ESAL 's)
- ZR: Desviación Estándar Normal



- SO: Error Estándar Combinado de la predicción del tráfico
- D: Espesor de la losa del pavimento (en pulg)
- Δ PSI: Diferencia de Serviciabilidad (Δ PSI = $P_o - P_t$)
- P_t : Serviciabilidad Final
- S'_c : Módulo de Rotura del Concreto (psi)
- Cd: Coeficiente de Drenaje
- J: Coeficiente de Transferencia de Carga
- E_c : Módulo de Elasticidad de Concreto (en psi)
- k: Módulo de Reacción de la Sub rasante en pci (psi/pulg).

En la norma AASHTO 93 plantea la solución de la ecuación antes mencionados por medio de un nomograma, se obtiene de forma directa el espesor de la capa de rodadura de la conformación estructural de pavimento rígido.

- a) **Periodo de diseño:** $n = 20$ años
- b) **Tránsito en ejes equivalentes:** $ESAL = 192970 = 0.192970 \times 10^6$

Los datos presentados darán inicio para hallar los demás factores de diseño:

- c) **Factor de confiabilidad (R) y desviación estándar:**

La fiabilidad de que el pavimento se comporte de forma satisfactoria durante su vida útil o período de diseño, tolerando las condiciones de tráfico y medio ambiente de dicho período. resaltaremos, cuando abordamos el proceder del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y adecuado de éste, tiene la facultad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y además ofrecer seguridad y confort al público beneficiado durante el período para el cual fue diseñado. Entonces la fiabilidad está relacionada a la presencia de fallas en el pavimento.

Un grado de fiabilidad alto implicará un pavimento de mayor precio y por lo tanto mayores precios iniciales, el pavimento construido con mejor calidad tendrá un tiempo

más largo sin recibir reparación y por ende los precios de mantenimiento serán inferiores. De un modo opuesto, a un nivel de fiabilidad bajo da un pavimento relativamente económico, pero de un mayor precio de mantenimiento.

La guía AASHTO recomienda los siguientes valores del coeficiente de confiabilidad con respecto a la clasificación funcional de la vía.

Tabla 73

Valores del nivel de confianza R, de acuerdo con el tipo de camino

Tipo de camino	Zonas Urbanas	Zonas rurales
Rutas Interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias/Carreteras principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras/Carretera Secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos Vecinales/Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: (ASSTHO, 1993)

Conforme a lo visto en la tabla anterior, la vía urbana a estudiarse pertenece a un Camino Vecinal/Local adoptando un valor promedio de 65%, para no repercutir en mayores precios de construcción, ni menores costos iniciales, en donde el pavimento luego requiera mayores costos en mantenimiento.

Tabla 74

Valores del nivel de con fianza R, de acuerdo l tipo de camino

Tipos de Caminos	Nivel de Confiabilidad (R)	Desviación Estándar
	65%	-0.385
Caminos de bajo Volumen de transito	70%	-0.524
	75%	-0.674
	80%	-0.842
	80%	-0.842
	85%	-1.036
Resto de Caminos	85%	-1.036
	85%	-1.036
	90%	-1.282
	90%	-1.282
	90%	-1.282
	90%	-1.282
	90%	-1.282

90%	-1.282
95%	-1.645

Nota: (ASSTHO, 1993)

Adoptamos entonces para un valor de confiabilidad de $R = 65\%$ se tiene $Z_r = -0.385$

d) D. Error estándar combinado (S_o):

La AASHTO a propuesto los valores presentados a continuación para seleccionar el Error Estándar Combinado S_o , de una manera simplificada, estas circunstancias representan el número de datos dispersos que pasará la curva real del comportamiento de la configuración estructural.

Los rangos que la AASHTO sugiere se encuentra entre:

- **Para pavimentos rígidos** $0.30 < S_o < 0.40$
- Para pavimentos flexibles $0.40 < S_o < 0.50$

En la presente investigación presentada se considera el valor de $S_o = 0.35$, teniendo como el desarrollo de la pavimentación experimental realizado por la AASHTO para pavimentos rígidos.

e) Serviciabilidad

La serviciabilidad esta escalada en medida al comportamiento del pavimento y se relacionará con la comodidad y seguridad que brindará al público beneficiado, también esta correlacionada con las singularidades físicas que muestra el pavimento como fallas, peladuras, grietas, etc. Que usualmente afectarían la capacidad de soporte del pavimento.

La definición de Serviciabilidad está resumido en cinco aspectos resumidos mostrados a continuación:

- Las vías de transito están dirigidas para un mejor confort y conveniencia del público beneficiado.
- La buena y confortante transitabilidad, el público beneficiado tendrá una opinión subjetiva.

- La Serviciabilidad se expresará por medio de evaluaciones hechas por usuarios que hacen uso del tránsito vehicular en la carretera y se denomina la calificación de la Serviciabilidad.
- La existencia de singularidades en un pavimento que pueden ser medidas de manera objetiva y que pueden tener relación con las evaluaciones subjetivas. Este tratamiento produce un índice de Serviciabilidad objetivo.
- La actuación de la misma puede ser representada por la historia de la Serviciabilidad del pavimento.

Al circular el conductor por primera vez o en reiteradas ocasiones sobre una vialidad, percibe una sensación de seguridad o inseguridad esto tomado en cuenta de lo que se muestra y también la dificultad para controlar el vehículo. El factor principal asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de manejabilidad que depende de la regularidad o rugosidad superficial del pavimento. La importancia de este parámetro se definirá como Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en ingles).

El PSI tendrá una escala calificadora de la superficie del pavimento de acuerdo con un escalafón de valores que viene a ser 0 a 5 (ver tabla 57). Claramente observaremos que, si el conductor observa agrietamientos, deterioros sobre el pavimento aún sin apreciar deformaciones, la clasificación disminuye considerablemente.

Tabla 75

Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Nota: (ASSTHO, 1993)

El diseño que se ha realizado está basado en la serviciabilidad, será importante determinar el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_t), para la duración de vida utilizable de un diseño de pavimento.

- **Índice de Serviciabilidad Inicial (P_o):**

El índice de serviciabilidad inicial (P_o) será establecido como una condición original del pavimento seguidamente después de su construcción. AASHTO ha establecido para pavimentos rígidos y flexibles los siguientes índices de serviciabilidad (P_o).

- **Pavimentos rígidos** **$P_o = 4.5$**
- Pavimentos flexibles $P_o = 4.2$

- **Índice de serviciabilidad final (P_t):**

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigida por el usuario. Los valores de serviciabilidad final (P_t) sugeridos por la AASHTO son:

- Carreteras principales $P_t = 2.5$ ó 3.0
- **Carreteras de tránsito menor** **$P_t = 2.0$**

La baja serviciabilidad, se define como la disparidad entre el índice de servicio inicial y final.

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.5 - 2.0 = 2.5$$

f) Módulo de reacción de la sub rasante (k)

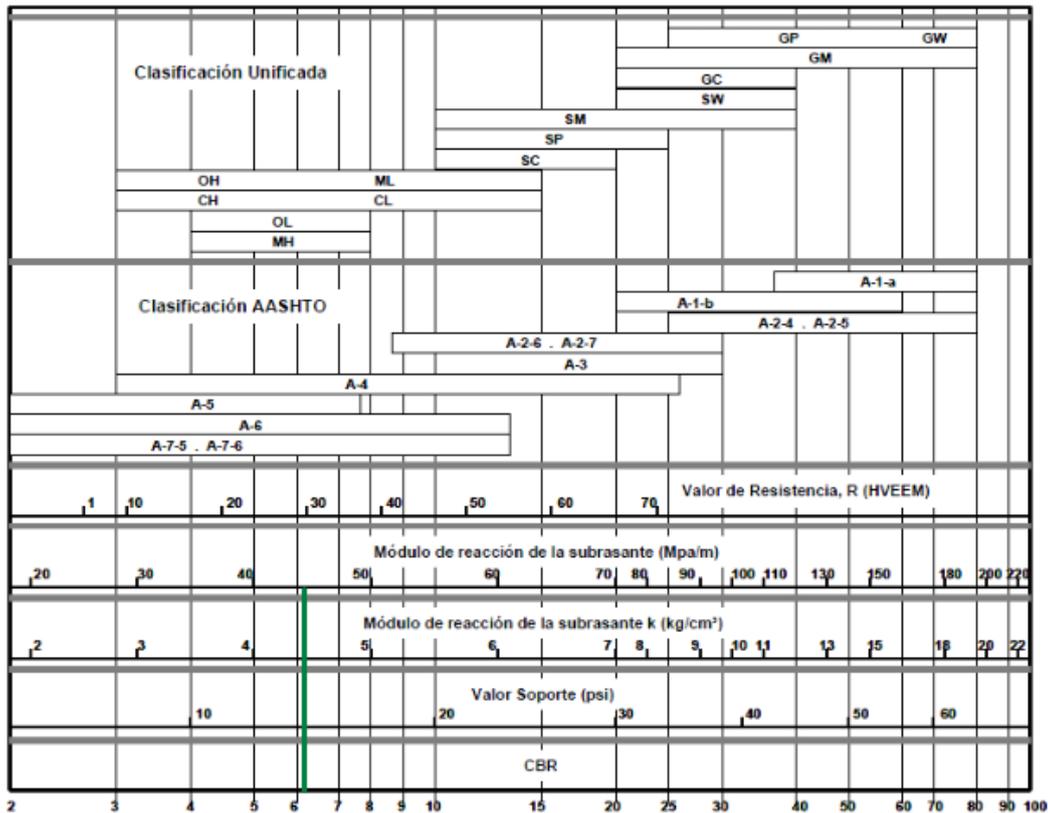
El módulo de reacción “ k ” manifiesta que la resistencia del suelo de la sub rasante al ser introducido por efecto de la flexión de losas que será medido entre la presión unitaria y el hundimiento que han de experimentar.

Este coeficiente nos dará a entender de cuánto se asienta la sub rasante, cuando se le aplica un esfuerzo de compresión.

La NTP CE. 010 pavimentos Urbanos recomiendan el uso del siguiente ábaco, en función al valor de CBR de la sub rasante:

Figura 56

Relación aproximada entre los valores de resistencia y clasificación del suelo



Nota: (R.N.E., 2010)

Según la Figura, para un valor de CBR = 6.1 %, el valor del módulo de reacción de la sub rasante, será $K = 44 \text{ MPa/m}$. Convirtiendo a unidades inglesas en pci, se tiene:

$$K = 44 \frac{\text{MPa}}{\text{m}} \times \frac{145.0377}{1\text{MPa}} \times \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} \times \frac{2.45\text{cm}}{1\text{plg}}$$

$$K = 162.09 \cong 162 \text{ pci}$$

g) Módulo de rotura del concreto (S'c).

Es un factor imprescindible como variable de acceso para el diseño de pavimentos rígidos, ya que controlará el agrietamiento por fatiga del pavimento, producida por las cargas repetitivas de vehículos pesados.

Las alteraciones que sufre un pavimento de concreto de baja resistencia, las cargas del tránsito podrían producir esfuerzos de compresión como de tensión. Por lo tanto, la correlación entre los primeros y la resistencia a la compresión del concreto es baja, como para alterar el diseño del espesor de la losa de concreto. relacionando los segundos y la resistencia a flexión se observará que es mucho mayor, obteniendo a menudo valores mayores de 0.5. Resultado de del estudio, los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los factores que toma por consideración el diseño del pavimento

El método tiende a utilizar la resistencia a la flexión, cuantificada por ensayos de módulo de rotura sobre vigas de 15 x 15 x 75cm, retirándolas en los tercios de la luz, para un periodo de curado de 28 días.

El módulo de rotura se puede determinar la siguiente expresión mostrada a continuación

$$S'_c = k\sqrt{f'_c} \quad 7 < k < 12$$

Dónde:

f'_c : Resistencia a compresión del concreto en psi.

Para la investigación utilizaremos y adoptaremos un valor relativamente bajo (de $k = 8$), asumiendo que se tendrá deficiencias en la elaboración del concreto en el proceso constructivo, entonces el valor del Módulo de Rotura S'_c será:

$$S'_c = k\sqrt{f'_c} = 8 \times \sqrt{210 \times \frac{kg}{cm^2} \times \frac{1lb}{0.4536kg} \times \frac{2.54^2 cm^2}{1plg^2}}$$

$$S'_c = 437.22psi$$

h) Módulo de Elasticidad del concreto E_c .

Coefficiente que indica la rigidez y la capacidad de repartir cargas que tiene una losa de pavimentos. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones tienen una relación directa con el módulo de elasticidad del

concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad que junto con el coeficiente de expansión térmica y a su vez contracción del concreto, son los que dirigen el estado de tensiones en la armadura. Para un concreto de peso normal por lo tanto la AASHTO sugiere:

$$E_c = 57000 \times (f'_c)^{0.5} \quad (\text{en psi})$$

Donde:

f'_c : Resistencia del concreto en (psi)

Por lo tanto, tenemos:

$$E_c = 57000 \times \sqrt{210 \times \frac{kg}{cm^2} \times \frac{1lb}{0.4536kg} \times \frac{2.54^2 cm^2}{1plg^2}} = 3115169.6 \text{ psi}$$

$$E_c = 3.1 \times 10^6$$

i) Coeficiente de Drenaje (Cd).

Fue añadido en la guía AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos por motivo de los efectos del drenaje en el desempeño estructural del pavimento, tales como las consecuencias de la humedad en la resistencia de la sub rasante y en la erosionabilidad de la sub base.

El coeficiente de drenaje tendrá un valor que está dado por dos variables que son:

- La calidad del drenaje, que se determinará por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento. (Tabla 58)
- Exposición a la saturación, porcentaje de tiempo durante todo el año en que un pavimento está siendo expuesto a niveles de humedad y filtración bastante altos. Depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, se define sus calidades (Tabla 59).

En el siguiente cuadro se mostrará la humedad removida del drenaje, según lo establecido por la guía AASHTO:

Tabla 76*Calidad del drenaje*

Calidad del drenaje	Agua removida en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drena

Nota: (ASSTHO, 1993)

También podemos observar el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, donde la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 77*Calidad del drenaje*

Calidad del drenaje	Porcentaje de Tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a Niveles de humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Nota: (ASSTHO, 1993)

Para la zona de estudio se tiene temporadas de precipitación que duran hasta más de 4 meses y sumado a esto la topografía llana que presenta el presente proyecto. Además, la estructura del pavimento por lo tanto estará sujeta a niveles de humedad próximos a la saturación mayor del 25% Por lo tanto se asume el valor de:

$$Cd = 0.9$$

j) Coeficiente de transferencia de Carga (J)

Se comprende como la facultad que tiene una losa de pavimento de transferir fuerzas cortantes con las losas adyacentes, con el único objeto de aminorar las

deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras se tenga una mejor transferencia de cargas tendrá un mejor comportamiento de las losas del pavimento.

Esta mitología ASSHTO tiene por consideración la transmisión de cargas mediante el factor de transferencia de carga J.

La validez para la transferencia de carga entre losas adyacentes dependerá de los siguientes factores:

- Cantidad de tráfico
- Uso de Pasa juntas
- Soporte de forma lateral de las losas

Un modo de transmitir la carga de una losa a otras es mediante la trabazón de los agregados que se forma en las grietas que se encuentran por debajo del corte de la junta, en cambio, esta forma de transferencia de cargas solamente se recomienda para vías de tráfico ligero.

El empleo de pasa juntas será una manera adecuada de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, investigaciones recomiendan examinar su utilización en vías de mayor tráfico vehicular.

Tabla 78

Coefficientes de transferencia de carga

Arcén o Banquina	asfalto		concreto	
	Si	No	Si	No
Elementos (barras) de transferencia de cargas				
Tipo de Pavimento				
Concreto Simple o Armado c/juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Concreto Armado Continuo	2.9 - 3.2	-	2.3 - 2.9	-

Nota: (ASSTHO, 1993)

En esta investigación se toma en cuenta el coeficiente de transferencia: $J = 3.8$, teniendo en cuenta que el pavimento en proyección soportaría una mayor circulación de

vehículos ligeros y opcionalmente vehículos pesados, por ende, se considera un valor de intermedio a bajo.

k) Espesor de la losa

Esta variable que se determinará al llevar a cabo el diseño propiamente dicho del pavimento rígido, por lo tanto el espesor está referido únicamente a la capa de concreto hidráulico ubicado por encima de la sub base y/o sub rasante.

Para hallar el espesor de la losa de concreto se utiliza las formas presentadas a continuación:

- Por medio de la ecuación general del guía AASHTO 93.
- Por medio de un software u hoja de cálculo.
- Por medio del uso de monogramas.

Para la presente investigación se dará el uso de la ecuación general de la guía ASSHTO 93 para pavimentos rígidos.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \log_{10}\left(\frac{S'c * C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right)$$

Donde:

- W18: Tráfico (Número de ESAL's) = 192,970.0
- ZR: Desviación Estándar Normal, Zr = -0.385 para R = 65%
- SO: Error Estándar Combinado de la predicción del tráfico = 0.35
- D: ¿Espesor de la losa del pavimento (en pulg) =?
- ΔPSI: Diferencia de Serviciabilidad (ΔPSI = Po - Pt) = 2.5
- Pt: Serviciabilidad Final = 2.0
- S'c: Módulo de Rotura del Concreto (psi) = 437.22
- Cd: Coeficiente de Drenaje = 0.9



- J: Coeficiente de Transferencia de Carga = 3.8
- E_c : Módulo de Elasticidad de Concreto (en psi) = 3.1×10^6
- K: Módulo de Reacción de la Sub rasante en pci (psi/pulg). = 162pci

Reemplazando los datos obtenemos $D = 6.47$ pulg = 16.43 cm

Se asume un espesor $D = 20$ cm.

Para obtener el resultado del espesor de la Sub Base se realizará con un monograma del método empírico del CBR, en el cual se considera al vehículo más pesado que circula por la vía, del estudio de tráfico en la presente investigación se tomará como dato el vehículo “C3”.

Tabla 79

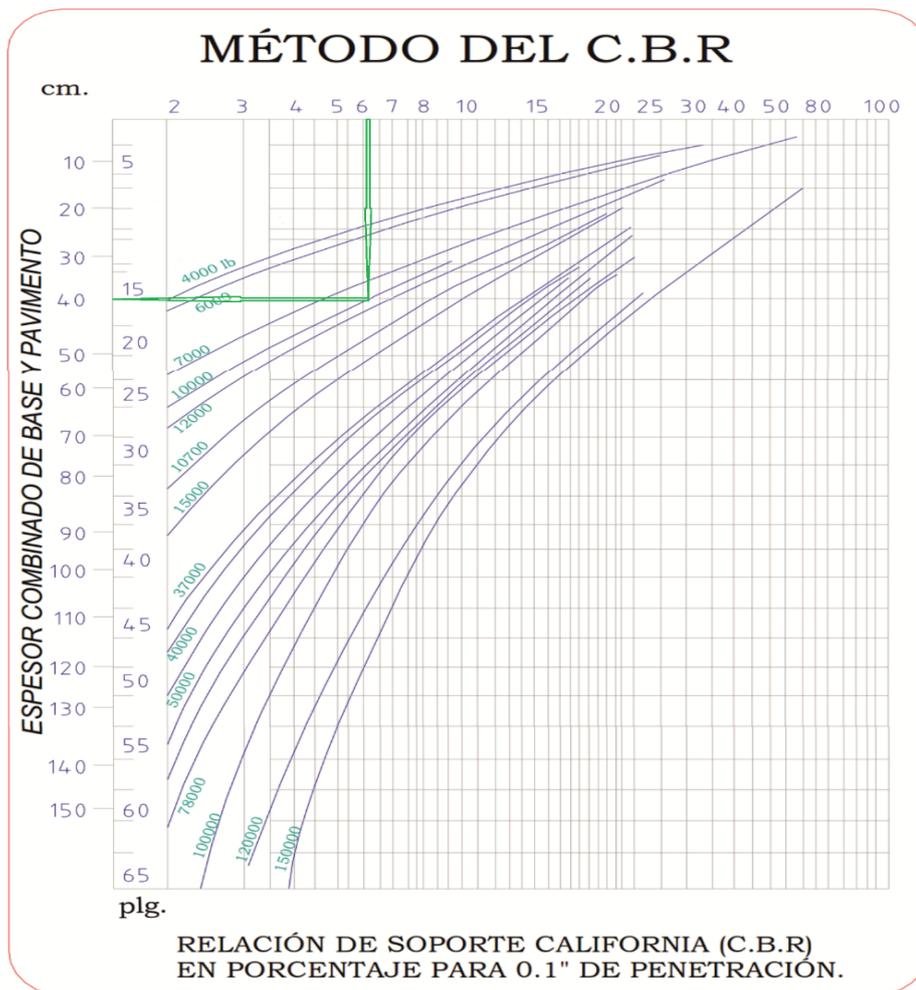
Determinación de la mayor carga por llanta

Tipo	Eje	Carga por eje (Lb)	Carga por llanta (Lb)
C3	1	15432.4	7716.18
	2	39638.2	9909.55

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo en base al reglamento nacional de vehículo

Figura 57

Cálculo del espesor total del pavimento – Método CBR

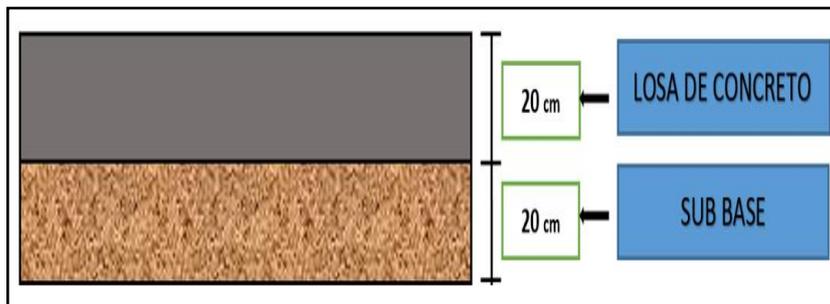


Nota: (ASSTHO, 1993)

Con la información obtenida y utilizando la figura adjunta, obtenemos que el espesor global del pavimento es de 40 cm, por ende, si la losa de concreto es de 20 cm, la sub base tendrá un valor de 20 cm:

Figura 58

Disposición final de espesores del Pavimento Rígido



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.3. Pavimento de adoquines de concreto

4.3.1. Cálculo de espesores del pavimento de adoquines de concreto

Para la determinación de los espesores de la estructura de un pavimento de adoquines de concreto se consideran dos parámetros de diseño, la demanda de tráfico expresado en ESALs y CBR de la subrasante; las mismas ya fueron obtenidos en capítulos anteriores.

- a) **Demanda de tráfico:** Es uno de los factores más importantes, puesto que es la estimación de un tráfico al que el pavimento estará sujeto durante su vida útil o de diseño, por lo tanto, se tiene el valor de:

$$\text{ESALs} = 182,381.3 = 1.8 \times 10^5$$

- b) **CBR de la sub rasante:** factor determinante para el diseño de capas en un adoquinado de concreto, de los datos obtenidos en laboratorio se tiene.

$$\text{CBR Sub rasante} = 6.1\%$$

- c) **Disposiciones de los espesores:**

En el “Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimento” de la MTC, proporciona el catálogo de estructuras de pavimento de

adoquín con base granular cuyo periodo de diseño es de 20 años, nos indica que para un CBR de 6.1% y EE de $182,381.3 = 1.8 \times 10^5$ tenemos:

Figura 59

Catálogo de estructuras de pavimento de adoquines con base granular y periodo de diseño 20 años

EE	TP0	TP1	TP2
	75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000
CBR < 6%			
> 6% CBR < 10%			
> 10% CBR < 20%			
> 20% CBR < 30%			
CBR > 30%			

Nota: (M.T.C., 2013)

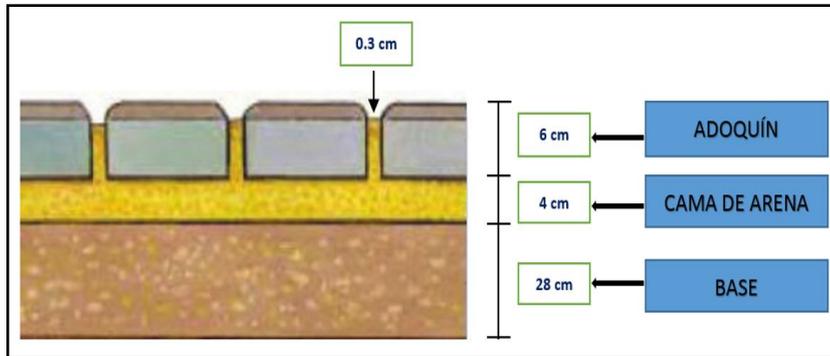
Por lo tanto, tenemos las disposiciones finales de espesores de la estructura del pavimento de adoquines de concreto.

- Adoquín de concreto: $h = 6.00$ cm
- Cama de arena: $h = 4.00$ cm

- Base granular: $h = 28.00$ cm

Figura 60

Disposición final de espesores del pavimento de adoquines de concreto



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

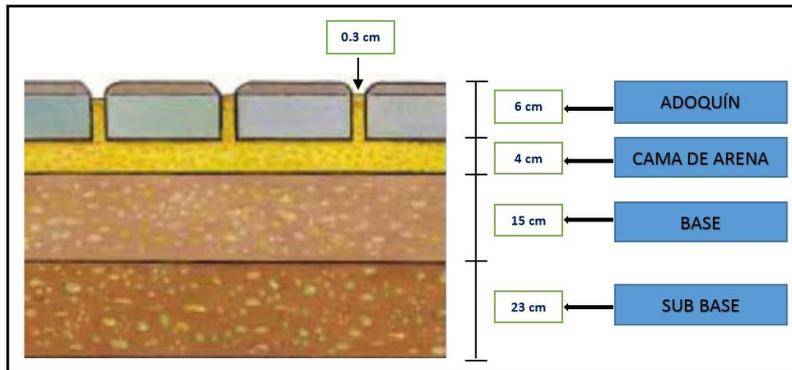
La norma correspondiente a CE. 010 pavimentos Urbanos indica que:

Una porción de todo el espesor estimado de la base que exceda el espesor mínimo puede sustituirse por un material de calidad inferior, como una sub base granular. Esto se logra por medio del uso de los valores equivalentes de capa siguientes: 1.75 para bases granulares, 3.40 para bases tratadas con asfalto y 2.50 para bases tratadas con cemento. Por lo tanto, podemos obtener otra alternativa en el espesor de la estructura del pavimento de adoquines de concreto.

- Adoquines de concreto: $h = 6.00$ cm
- Cama de arena: $h = 4.00$ cm
- Base granular: $h = 15$ cm
- Sub base granular: $h = 23$ cm.

Figura 61

Disposición final de espesores del pavimento de adoquines de concreto



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.2. Caracterización de los métodos de diseño de pavimento de adoquines

Tabla 80

Caracterización de los métodos de diseño

Método	Estructuración		Tránsito (EEA)x10 ⁶	Criterio de diseño	
	Espesor del adoquín (mm)	Base			Subbase
Australia	60, 75, 80 y 100	Granular	Sin subbase	<4,5	sin Información
Japón	60,80,100	Granular Tratada con cemento Tratada con asfalto	Granular Tratada con cemento	sin Información	Ahuellamiento <3,5 cm
Estados Unidos	80 y 100	Granular Tratada con cemento Tratada con asfalto	Granular Tratada con cemento Tratada con asfalto	Máxima solicitud según AASHTO 1986	Serviciabilidad final de 2,5
Reino Unido	50, 60, 65 y 80	Granular Tratada con cemento Tratada con asfalto	Granular Tratada con cemento	0,5 – 12	Deformación de la subrasante
India	80	Granular	Granular	2,0	Deformación admisible de la sub-rasante

Nota: (Tomas E., 2013)

4.4. Determinación de la resistencia, Absorción y durabilidad del adoquín de concreto.

Los ensayos de resistencia, absorción, se realizaron en cumplimiento de la NTP 399.611

Tabla 81

Características de Resistencia y absorción según NTP

Características	Unidad	Requisitos NTP 399.611	
Aspectos Geométricos			
Espesor (e)	mm	60	
Largo (L)	mm	200	
Ancho (A)	mm	100	
Peso	kg	N/ A	
Variación Dimensional			
Espesor (e)	mm	60	
Largo (L)	mm	200	
Ancho (A)	mm	100	
Ensayos Físicos		Promedio de 3 unidades	Unidad individual
Absorción	%	< 6%	< 7%
Resistencia a la compresión	Mpa kg/cm ²	> 41 > 420	> 37 > 380

Nota: NTP 399.611

4.4.1. Resistencia a la compresión

4.4.1.1. Ensayo de rotura de adoquines

El método se realiza mediante la aplicación de una fuerza de compresión con una máquina con dos soportes de acero indeformables, debiendo ser de mayor longitud de la sección a probar y con una superficie de contacto de aproximadamente 75 mm.

- **Muestra**

Deberán probarse tres adoquines enteros, sin ninguna incrustación o reborde. Si la cara vista no es plana o lisa (es rugosa, tiene textura o está curvada) habrá que prepararla mediante rectificado mecánico, intentando eliminar la menor cantidad de material posible.

- **Procedimiento:**

Se aplicará la carga del ensayo con dos piezas a compresión (de neopreno o de aglomerado de madera) cuya anchura será de 15 mm, su espesor 4mm y su longitud deberá superar a la del plano de rotura que se haya previsto en 10 mm. La carga de rotura será la media entre la obtenida en la cara vista y en el dorso.(N., 2022)

Para lo cual en el presente proyecto se sometieron 8 muestras para determinar de la resistencia a la compresión, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 62

Ensayo de resistencia a la compresión



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 82

Resultados de ensayo de resistencia a la compresión

N°	Descripción de la muestra	Área bruta cm ²	Carga kN/cm ²	Carga kg	Esf. De Rotura kg/cm ²
1	Adoquín rectangular M-1 Adoquín 10x20x5.8	200.00	843.20	85981.10	429.91
2	Adoquín rectangular M-2 Adoquín 10.11x19.95x5.8	201.29	844.40	86103.47	427.76
3	Adoquín rectangular M-3 Adoquín 10.1x19.91x5.7	201.09	845.60	86225.83	428.79
4	Adoquín rectangular M-4 Adoquín 10x19.93x5.8	199.30	840.40	85695.59	429.98
5	Adoquín rectangular M-5 Adoquín 9.95x20x5.7	199.00	849.70	86643.91	435.40

6	Adoquín rectangular M-6 Adoquín 10.01x19.94x5.7	200.30	841.50	85807.76	428.40
7	Adoquín rectangular M-7 Adoquín 10.1x20.01x5.7	202.10	849.20	86592.92	428.47
8	Adoquín rectangular M-8 Adoquín 10x19.94x5.6	199.42	850.10	86684.70	434.68

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.1.2. Ensayo de absorción

Este ensayo se basa en medir la absorción de agua comparando la diferencia de masa en seco y mojado.

Para el método se requieren como mínimo 3 piezas enteras, sin polvo ni resaltes,

- **Procedimiento:**

Se colocan los adoquines en un recipiente donde quedan totalmente sumergidos, separados y en posición vertical. A continuación, se pesan dos veces, al principio y después de 24 horas, no debiendo haber una diferencia mayor al 0,1% en sus masas (diferencia de masa mojada). Se tendrán sumergidos durante 3 días como mínimo. Para su secado, se meterán en una estufa, también en posición vertical, que estará a 105 °C. La masa seca se obtendrá después de enfriarse. Tras ello, se compararán las masas en seco y mojado.

Figura 63

Ensayo de absorción



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 83*Resultado de ensayo de absorción M1-M2*

Nro.	Peso de Adoquín Seco	Peso de Adoquín Saturado	
Adoquín 1	2507.9	2602.2	
adoquín 2	2523.9	2618.85	
	Descripción de la Muestra	Volumen Neto cm ³	% absorción
Adoquín 1	Adoquín 10x20x5.8	1160.00	3.760
adoquín 2	Adoquín 10.11x19.95x5.8	1169.83	3.762

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo**Tabla 84***Resultado de ensayo de absorción M3-M4*

	Peso de Adoquín Seco	Peso de Adoquín Saturado	
Adoquín 3	2541.8	2631.1	
adoquín 4	2532	2643.8	
	Descripción de la Muestra	Volumen Neto cm ³	% absorción
Adoquín 3	Adoquín 10.1x19.91x5.7	1146.22	3.513
adoquín 4	Adoquín 10.00x19.9x5.8	1155.94	4.415

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo**Tabla 85***Resultado de ensayo de absorción M5-M6*

	Peso de Adoquín Seco	Peso de Adoquín Saturado	
Adoquín 5	2440.1	2550	
Adoquín 6	2443.7	2547.1	
	Descripción de la Muestra	Volumen Neto cm ³	% absorción
Adoquín 5	Adoquín 9.95x20x5.7	1134.30	4.504
adoquín 6	Adoquín 10.01x19.94x5.7	1137.72	4.231

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo**Tabla 86***Resultado de ensayo de absorción M7-M8*

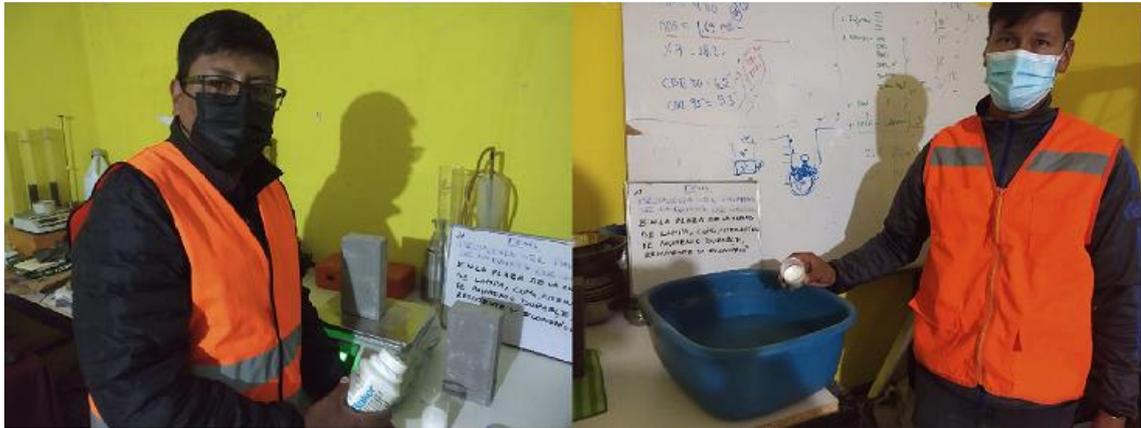
	Peso de Adoquín Seco	Peso de Adoquín Saturado	
Adoquín 7	2500.05	2602.9	
adoquín 8	2519.26	2617.56	
	Descripción de la Muestra	Volumen Neto cm ³	% absorción
Adoquín 7	Adoquín 10.1x20.01x5.7	1151.98	4.114
adoquín 8	Adoquín 10.00x19.94x5.6	1116.64	3.902

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.1.3. Prueba a compresión con porcentajes de sulfato de sodio

Figura 64

Ensayo a la compresión con % sulfato de sodio



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 87

Resultados de ensayo a la compresión con % de sulfato de sodio

Esfuerzo de compresión con 0% de sulfato			
Días	14	28	56
Resistencia promedio (kg/cm ²)	427.11	429.10	422.40
Resistencia Característica (kg/cm ²)	426.48	430.14	421.10
Esfuerzo de compresión con 4% de sulfato			
Días	14	28	56
Resistencia promedio (kg/cm ²)	428.56	424.40	420.65
Resistencia Característica (kg/cm ²)	423.97	418.12	412.40
Esfuerzo de compresión con 6% de sulfato			
Días	14	28	56
Resistencia promedio (kg/cm ²)	429	432.40	419.58
Resistencia Característica (kg/cm ²)	419.7	419.62	403.93
Esfuerzo de compresión con 8% de sulfato			
Días	14	28	56
Resistencia promedio (kg/cm ²)	425.8	427.09	428.50
Resistencia Característica (kg/cm ²)	412.22	409.88	407.36

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.4.1.4. Ensayo de durabilidad.

De acuerdo con las practicas sobre los adoquines sometidos a ciclos de hielo y deshielo se debe tener en cuenta el gradiente térmico de la zona, para lo cual se realizó 4 pruebas a ciclos de hielo y 4 pruebas a ciclos de deshielo.

Figura 65

Ensayo de durabilidad



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 88

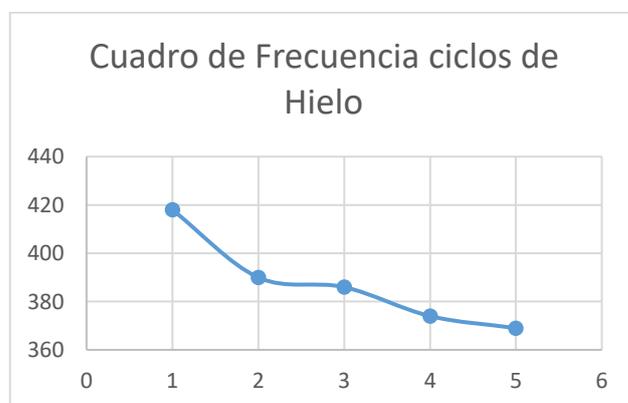
Resultados durabilidad a ciclo de hielo

$F'c=420 \text{ kg/cm}^2$	
Ciclos de hielo	Re
0°C	418
de 0°C a -5°C	390
de -10°C a -14°C	386
de -15°C a -19°C	374
de -20°C a -25°C	369

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 66

durabilidad a ciclo de hielo



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 89

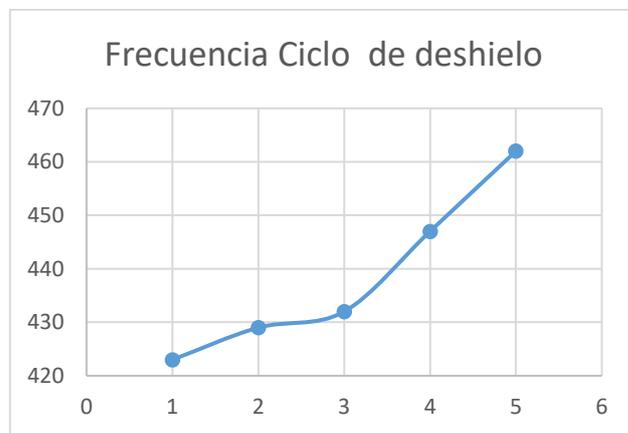
Resultados durabilidad a ciclo de deshielo

F'c=420 kg/cm ²	
Ciclos de hielo	Re
0°C	423
de 0°C a -5°C	429
de -10°C a -14°C	432
de -15°C a -19°C	447
de -20°C a -25°C	462

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 67

durabilidad a ciclo de deshielo



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5. Comparación Económica.

4.5.1. Descripción.

El objetivo de realizar una comparación económica de los pavimentos es por la importancia de los costos para seleccionar el tipo de pavimento y que genere una mejor rentabilidad.

Considerando un enfoque integral, el análisis económico debe incluir cada uno de los costos de inversión durante todo el ciclo de vida del pavimento, realizando el análisis de precios unitarios y de esa manera comparar los costos del pavimento de adoquines de concreto, pavimento flexible y pavimento rígido.

El presente proyecto comprende las vías de la Plaza Grau de la ciudad de Lampa (jr. Municipalidad, jr. Moore, jr. José Gálvez, jr. Antonio Barrionuevo) con las siguientes características:

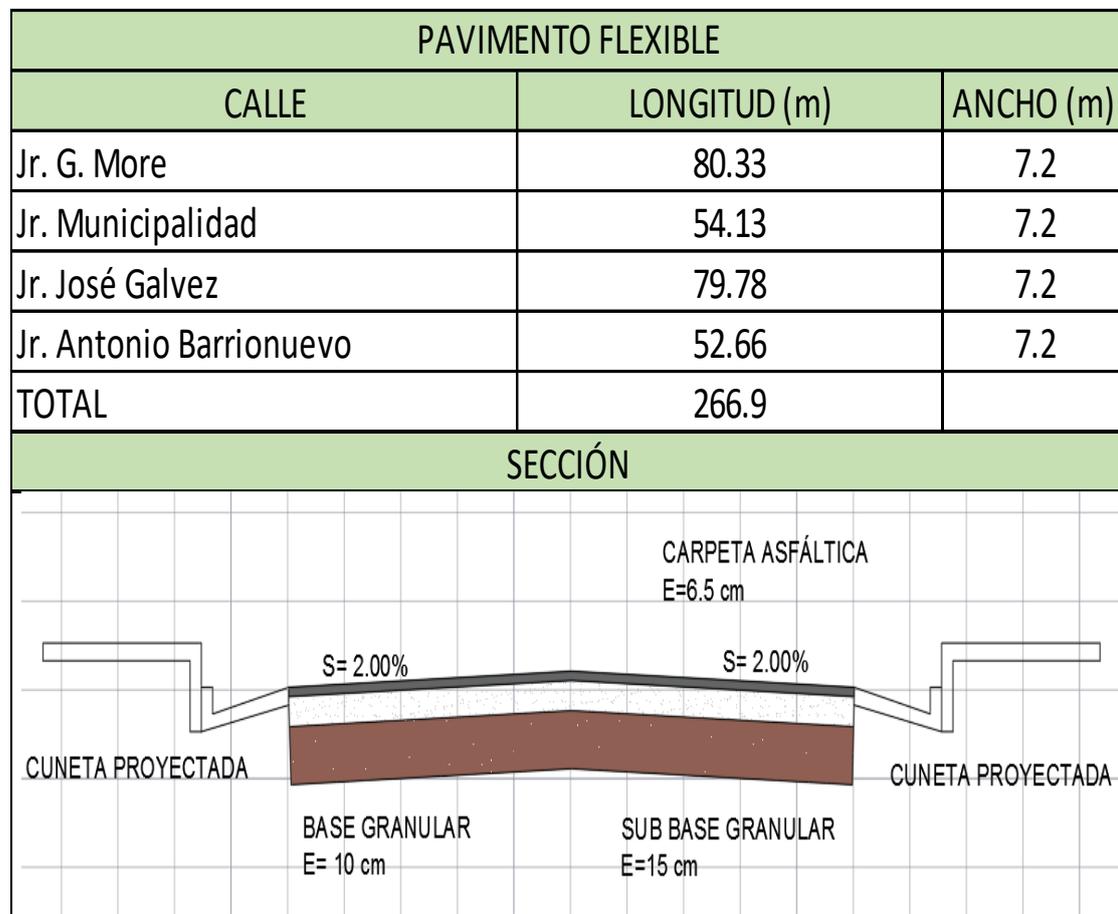
- Área total de las vías = 1921.68 m²
- Vía de dos carriles, en un sentido.

4.5.2. Presupuesto.

4.5.2.1. Presupuesto pavimento Flexible.

Figura 68

Características de la vía con Pavimento Flexible



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla 90

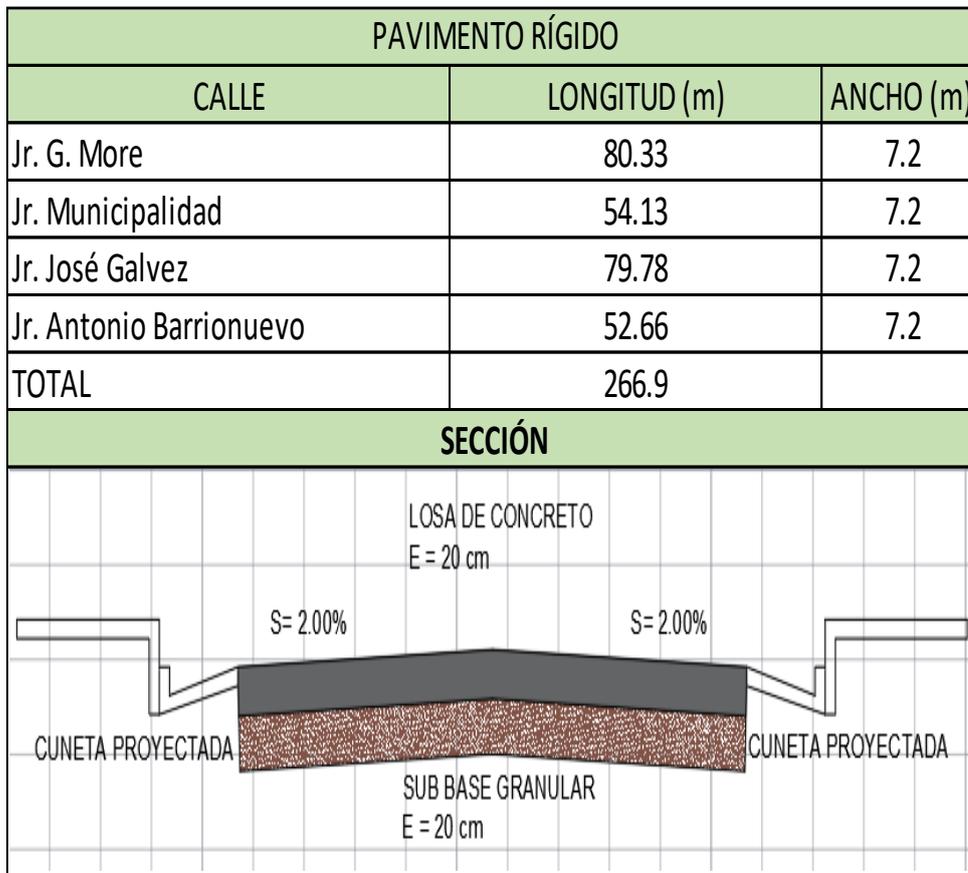
Presupuesto Pavimento Flexible

Item	Descripcion	Unid	Metrado	Precio Unitario	Parcial	Subtotal	Total
GENERAL							
01	PAVIMENTADO DE VIAS - PAVIMENTO FLEXIBLE						346,802.06
01.01	OBRAS PROVISIONALES					12,012.31	
01.01.01	ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	glb	1.00	5,850.00	5,850.00		
01.01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	glb	1.00	3,000.00	3,000.00		
01.01.03	CARTEL DE OBRA 3.00X5.00M UNA CARA	u	1.00	1,562.31	1,562.31		
01.01.04	ENERGIA ELECTRICA PARA LA CONSTRUCCION	mes	4.00	400.00	1,600.00		
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					31,929.26	
01.02.01	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD Y/O DESVIO DE TRAFICO	u	22.00	962.95	21,184.90		
01.02.02	GUARDIANA	DIA	120.00	57.60	6,912.00		
01.02.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR INICIAL	m	515.00	1.21	623.15		
01.02.04	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA CONSTRUCCION	m2	1,921.68	1.67	3,209.21		
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS					25,420.94	
01.03.01	DEMOLICION DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE 8"	m2	1,921.68	11.39	21,887.94		
01.03.02	CARGUIO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.78	513.09		
01.03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.41	406.44		
01.03.04	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE DEMOLICION	m2	1,921.68	1.36	2,613.48		
01.04	SUB BASE GRANULAR					76,136.96	
01.04.01	MEZCLA DE MATERIAL LIGANTE Y HORMIGON SUB BASE	m3	384.34	7.09	2,724.94		
01.04.02	ZARANDEO DE MATERIAL GRANULAR	m3	384.34	8.26	3,174.62		
01.04.03	CARGUIO DE MATERIAL SELECCIONADO BASE	m3	384.34	1.78	684.12		
01.04.04	TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	384.34	3.46	1,329.80		
01.04.05	TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO	m3	384.34	2.01	772.52		
01.04.06	CONFORMACION DE LA SUB BASE C/EQUIPO PESADO E=15cm	m2	1,921.68	35.10	67,450.97		
01.05	BASE GRANULAR					57,881.00	
01.05.01	MEZCLA DE MATERIAL LIGANTE Y HORMIGON BASE	m3	384.34	7.09	2,724.94		
01.05.02	ZARANDEO DE MATERIAL GRANULAR	m3	384.34	8.26	3,174.62		
01.05.03	CARGUIO DE MATERIAL SELECCIONADO BASE	m3	384.34	1.78	684.12		
01.05.04	TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	384.34	3.46	1,329.80		
01.05.05	TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO	m3	384.34	2.01	772.52		
01.05.06	CONFORMACION DE LA BASE C/EQUIPO PESADO E=10cm	m2	1,921.68	25.60	49,195.01		
01.06	PISOS Y PAVIMENTOS						
01.06.01	CARPETA ASFALTICA					111,214.85	
01.06.01.01	IMPRIMACION	M2	1,921.68	5.24	10,069.60		
01.06.01.02	PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA 2.5"	M2	1,921.68	45.37	87,186.62		
01.06.01.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA	M3	124.91	25.75	3,216.43		
01.06.01.04	ESPARCIDO Y COMPACTADO	M2	1,921.68	5.59	10,742.19		
01.06.02	VARIOS Y LIMPIEZA					32,206.74	
01.06.02.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	1,921.68	0.68	1,306.74		
01.06.02.02	RIESGO Y MONITOREO DEL PLAN ARQUEOLOGICO	mes	4.00	7,725.00	30,900.00		
02	OBRAS DE CONCRETO					3,184.41	
02.03.09	RAMPAS, ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	7.51	25.16	188.95		
02.03.10	RAMPAS, CONCRETO F'C=175 KG/CM2 E=0.10M, FROTACHADO	m2	57.12	51.83	2,960.53		
02.03.11	RAMPAS, BRUÑA DE 1.0 CM	m	8.20	4.26	34.93		
02	SISTEMA DE DRENAJE					9,754.33	9,754.33
02.01	CUNETAS: F' C=175KG/CM2	M3	14.34	477.27	6,844.05		
02.02	CUNETAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	106.76	27.26	2,910.28		
03	SEÑALIZACION						12,066.63
03.01	SEÑAL PREVENTIVA					1,848.48	
03.01.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	6.00	308.08	1,848.48		
03.02	SEÑAL REGLAMENTARIA					1,434.84	
03.02.01	SEÑAL REGLAMENTARIA	u	4.00	358.71	1,434.84		
03.03	DEMARCAACION DE PAVIMENTO, VEREDAS Y SARDINEL					8,783.31	
03.03.01	PINTURA EN PAVIMENTO LINEA CONTINUA	m	89.00	1.64	145.96		
03.03.02	DEMARCAACION DE PAVIMENTO ARTICULADO PASE PEATONAL	m2	247.41	16.40	4,057.52		
03.03.03	PINTURA EN VEREDAS Y SARDINELES	m	660.87	6.93	4,579.83		
04	SEGURIDAD Y SALUD					23,110.87	23,110.87
04.01	ELABORACION DE PLAN DE SEGURIDAD	glb	1.00	3,890.00	3,890.00		
04.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	glb	1.00	5,094.70	5,094.70		
04.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	glb	1.00	1,376.27	1,376.27		
04.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	glb	1.00	1,331.40	1,331.40		
04.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	glb	1.00	3,250.00	3,250.00		
04.06	RECURSOS PARA EMERGENCIAS	glb	1.00	168.50	168.50		
04.07	FORMULACION DEL PLAN DE GESTION DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCION	glb	1.00	8,000.00	8,000.00		
	COSTO DIRECTO						S/ 391,733.90
	COSTO DIRECTO					391,733.90	
	GASTOS GENERALES		6.67 %			26,128.65	
	UTILIDADES		7 %			27,421.37	
	SUBTOTAL					445,283.92	
	IGV(18%)		18 %			80,151.11	
	PRESUPUESTO TOTAL					525,435.03	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 69

Características de la vía con Pavimento Rígido



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 91

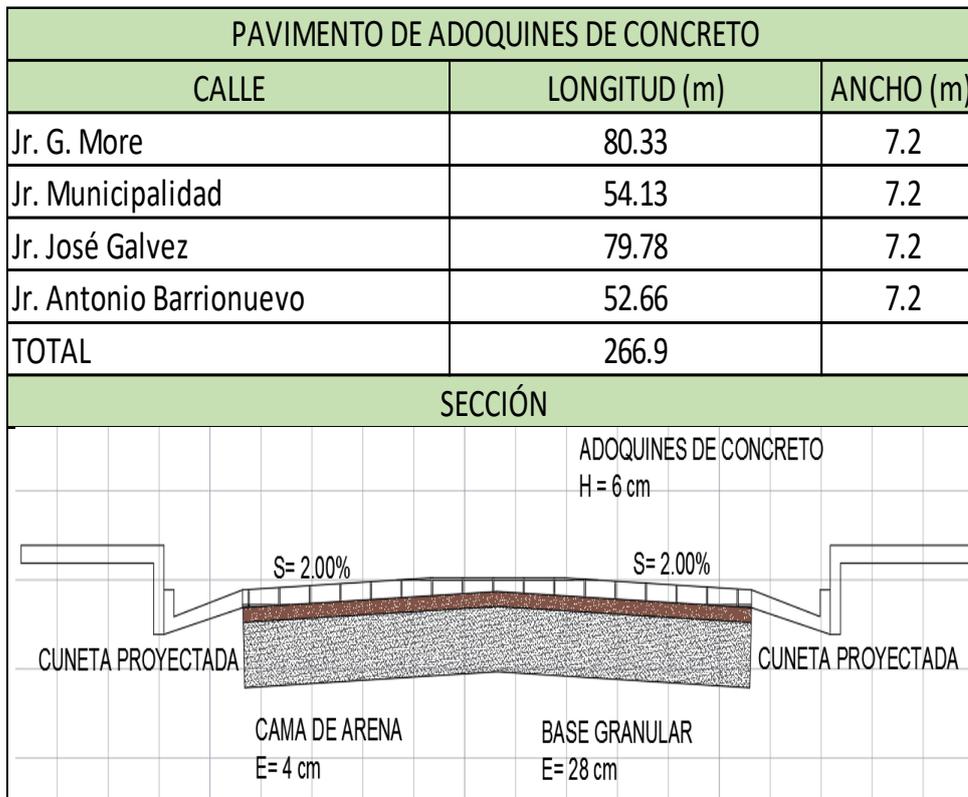
Presupuesto Pavimento Rígido

Item	Descripcion	Unid	Metrado	Precio Unitario	Parcial	Subtotal	Total
01	PAVIMENTADO DE VIAS - PAVIMENTO RIGIDO						435,251.91
01.01	OBRAS PROVISIONALES					12,012.31	
01.01.01	ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA	glb	1.00	5,850.00	5,850.00		
01.01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	glb	1.00	3,000.00	3,000.00		
01.01.03	CARTEL DE OBRA 3.00X5.00M UNA CARA	u	1.00	1,562.31	1,562.31		
01.01.04	ENERGIA ELECTRICA PARA LA CONSTRUCCION	mes	4.00	400.00	1,600.00		
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					-	31,929.26
01.02.01	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD Y/O DESVIO DE TRAFICO	u	22.00	962.95	21,184.90		
01.02.02	GUARDIANIA	DIA	120.00	57.60	6,912.00		
01.02.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR INICIAL	m	515.00	1.21	623.15		
01.02.04	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA CONSTRUCCION	m2	1,921.68	1.67	3,209.21		
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS					-	25,420.94
01.03.01	DEMOLICION DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE 8"	m2	1,921.68	11.39	21,887.94		
01.03.02	CARGUIJO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.78	513.09		
01.03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.41	406.44		
01.03.04	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE DEMOLICIÓN	m2	1,921.68	1.36	2,613.48		
01.04	SUB BASE GRANULAR					-	103,232.65
01.04.01	MEZCLA DE MATERIAL LIGANTE Y HORMIGON	m3	384.34	7.09	2,724.94		
01.04.02	ZARANDEO DE MATERIAL GRANULAR	m3	384.34	8.26	3,174.62		
01.04.03	CARGUIJO DE MATERIAL SELECCIONADO SUB BASE	m3	384.34	1.78	684.12		
01.04.04	TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	384.34	3.46	1,329.80		
01.04.05	TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO	m3	384.34	2.01	772.52		
01.04.06	CONFORMACION DE LA SUB BASE C/EQUIPO PESADO E=20cm	m2	1,921.68	49.20	94,546.66		
01.05	PISOS Y PAVIMENTOS					-	227,265.59
01.05.01	LOSAS DE CONCRETO					-	
01.05.01.01	COLOCACION DE CONCRETO f _c =210kg/cm ² E=20cm	M2	1,921.68	80.00	153,734.40		
01.05.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	1,921.68	36.84	70,794.69		
01.05.01.03	JUNTAS ASFALTICAS	M3	384.34	7.12	2,736.50		
01.05.02	VARIOS Y LIMPIEZA					-	32,206.74
01.05.02.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	1,921.68	0.68	1,306.74		
01.05.02.02	RIESGO Y MONITOREO DEL PLAN ARQUEOLOGICO	mes	4.00	7,725.00	30,900.00		
02	OBRAS DE CONCRETO					-	3,184.41
02.03.09	RAMPAS, ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	7.51	25.16	188.95		
02.03.10	RAMPAS, CONCRETO F _c =175 KG/CM ² E=0.10M, FROTACHADO	m2	57.12	51.83	2,960.53		
02.03.11	RAMPAS, BRUÑA DE 1.0 CM	m	8.20	4.26	34.93		
02	SISTEMA DE DRENAJE					-	9,754.33
02.01	CUNETAS: F _c =175KG/CM ²	M3	14.34	477.27	6,844.05		
02.02	CUNETAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M3	106.76	27.26	2,910.28		
03	SEÑALIZACION					-	12,066.63
03.01	SEÑAL PREVENTIVA					-	1,848.48
03.01.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	6.00	308.08	1,848.48		
03.02	SEÑAL REGLAMENTARIA					-	1,434.84
03.02.01	SEÑAL REGLAMENTARIA	u	4.00	358.71	1,434.84		
03.03	DEMARCACION DE PAVIMENTO, VEREDAS Y SARDINEL					-	8,783.31
03.03.01	PINTURA EN PAVIMENTO LINEA CONTINUA	m	89.00	1.64	145.96		
03.03.02	DEMARCACION DE PAVIMENTO ARTICULADO PASE PEATONAL	m2	247.41	16.40	4,057.52		
03.03.03	PINTURA EN VEREDAS Y SARDINELES	m	660.87	6.93	4,579.83		
04	SEGURIDAD Y SALUD					-	23,110.87
04.01	ELABORACION DE PLAN DE SEGURIDAD	glb	1.00	3,890.00	3,890.00		
04.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	glb	1.00	5,094.70	5,094.70		
04.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	glb	1.00	1,376.27	1,376.27		
04.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	glb	1.00	1,331.40	1,331.40		
04.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	glb	1.00	3,250.00	3,250.00		
04.06	RECURSOS PARA EMERGENCIAS	glb	1.00	168.50	168.50		
04.07	FORMULACION DEL PLAN DE GESTION DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCION	glb	1.00	8,000.00	8,000.00		
	COSTO DIRECTO						S/ 480,183.74
	COSTO DIRECTO					480,183.74	
	GASTOS GENERALES		6.67 %			32,028.26	
	UTILIDADES		7 %			33,612.86	
	SUBTOTAL					545,824.86	
	IGV(18%)		18 %			98,248.47	
	PRESUPUESTO TOTAL					644,073.33	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Figura 70

Características de la vía con Pavimento de adoquines de concreto



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 92

Presupuesto Pavimento de Adoquines de Concreto

Item	Descripcion	Unid	Metrado	Precio Unitario	Parcial	Subtotal	Total
01	PAVIMENTADO DE VIAS - PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO						414,221.01
01.01	OBRAS PROVISIONALES					12,012.31	
01.01.01	ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA	glb	1.00	5,850.00	5,850.00		
01.01.02	MÓVILIZACIÓN Y DESMÓVILIZACIÓN DE EQUIPO	glb	1.00	3,000.00	3,000.00		
01.01.03	CARTEL DE OBRA 3.00X5.00M UNA CARA	u	1.00	1,562.31	1,562.31		
01.01.04	ENERGIA ELECTRICA PARA LA CONSTRUCCION	mes	4.00	400.00	1,600.00		
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES					31,929.26	
01.02.01	SEÑALIZACION DE SEGURIDAD Y/O DESVIO DE TRAFICO	u	22.00	962.95	21,184.90		
01.02.02	GUARDIANIA	DIA	120.00	57.60	6,912.00		
01.02.03	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR INICIAL	m	515.00	1.21	623.15		
01.02.04	TRAZO Y REPLANTEO DURANTE LA CONSTRUCCION	m2	1,921.68	1.67	3,209.21		
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS					25,420.94	
01.03.01	DEMOLICION DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE 8"	m2	1,921.68	11.39	21,887.94		
01.03.02	CARGUIO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.78	513.09		
01.03.03	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	288.25	1.41	406.44		
01.03.04	PERFILADO Y COMPACTADO EN ZONA DE DEMOLICIÓN	m2	1,921.68	1.36	2,613.48		
01.04	BASE GRANULAR					121,872.95	
01.04.01	MEZCLA DE MATERIAL LIGANTE Y HORMIGON	m3	384.34	7.09	2,724.94		
01.04.02	ZARANDEO DE MATERIAL GRANULAR	m3	384.34	8.26	3,174.62		
01.04.03	CARGUIO DE MATERIAL SELECCIONADO BASE	m3	384.34	1.78	684.12		
01.04.04	TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	384.34	3.46	1,329.80		
01.04.05	TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO	m3	384.34	2.01	772.52		
01.04.06	CONFORMACION DE LA BASE C/EQUIPO PESADO E=28cm	m2	1,921.68	58.90	113,186.95		
01.05	PISOS Y PAVIMENTOS						
01.05.01	PISOS CON ADOQUINES DE COLOR NATURAL					187,594.40	
01.05.01.01	SUMINISTRO Y ESPARCIDO DE LA CAPA DE ARENA e=0.40	M2	1,921.68	4.26	8,186.36		
01.05.01.02	COLOCACION DE ADOQUINES NATURALES 0.10x0.20x0.06	m2	1,921.68	88.80	170,645.18		
01.05.01.03	SELLADO CON ARENA FINA	m2	1,921.68	4.56	8,762.86		
01.05.02	VIARIOS Y LIMPIEZA					32,206.74	
01.05.02.01	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	m2	1,921.68	0.68	1,306.74		
01.05.02.02	RIESGO Y MONITOREO DEL PLAN ARQUEOLOGICO	mes	4.00	7,725.00	30,900.00		
02	OBRAS DE CONCRETO					3,184.41	
02.03.09	RAMPAS, ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	7.51	25.16	188.95		
02.03.10	RAMPAS, CONCRETO F'C=175 KG/CM2 E=0.10M, FROTACHADO	m2	57.12	51.83	2,960.53		
02.03.11	RAMPAS, BRUÑA DE 1.0 CM	m	8.20	4.26	34.93		
03	SISTEMA DE DRENAJE					16,837.99	16,837.99
03.01	REJILLA DE INSPECCION DE 0.20 x 0.35 m	u	4.00	240.08	960.32		
03.02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE REJILLA	M	57.90	65.85	3,812.72		
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	143.25	16.13	2,310.62		
03.04	CUNETAS: F' C=175KG/CM2	M3	14.34	477.27	6,844.05		
03.05	CUNETAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M3	106.76	27.26	2,910.28		
04	SEÑALIZACION						9,032.28
04.01	SEÑAL PREVENTIVA					1,848.48	
04.01.01	SEÑALES PREVENTIVAS	u	6.00	308.08	1,848.48		
04.02	SEÑAL REGLAMENTARIA					1,434.84	
04.02.01	SEÑAL REGLAMENTARIA	u	4.00	358.71	1,434.84		
04.03	DEMARCACION DE PAVIMENTO, VEREDAS Y SARDINEL					5,748.96	
04.03.01	PINTURA EN PAVIMENTO LINEA CONTINUA	m	89.00	1.64	145.96		
04.03.02	DEMARCACION DE PAVIMENTO ARTICULADO PASE PEATONAL	m2	247.41	16.40	4,057.52		
04.03.03	PINTURA EN VEREDAS Y SARDINELES	m	660.87	6.93	4,579.83		
05	SEGURIDAD Y SALUD					23,110.87	23,110.87
05.01	ELABORACION DE PLAN DE SEGURIDAD	glb	1.00	3,890.00	3,890.00		
05.02	EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	glb	1.00	5,094.70	5,094.70		
05.03	EQUIPOS DE PROTECCION COLECTIVA	glb	1.00	1,376.27	1,376.27		
05.04	SEÑALIZACION TEMPORAL DE SEGURIDAD	glb	1.00	1,331.40	1,331.40		
05.05	CAPACITACION EN SEGURIDAD Y SALUD	glb	1.00	3,250.00	3,250.00		
05.06	RECURSOS PARA EMERGENCIAS	glb	1.00	168.50	168.50		
05.07	FORMULACION DEL PLAN DE GESTION DE RIESGOS EN LA CONSTRUCCION	glb	1.00	8,000.00	8,000.00		
	COSTO DIRECTO						S/ 463,202.15
	COSTO DIRECTO					463,202.15	
	GASTOS GENERALES		6.67 %			30,895.58	
	UTILIDADES		7 %			32,424.15	
	SUBTOTAL					526,521.89	
	IGV(18%)		18 %			94,773.94	
	PRESUPUESTO TOTAL					621,295.83	

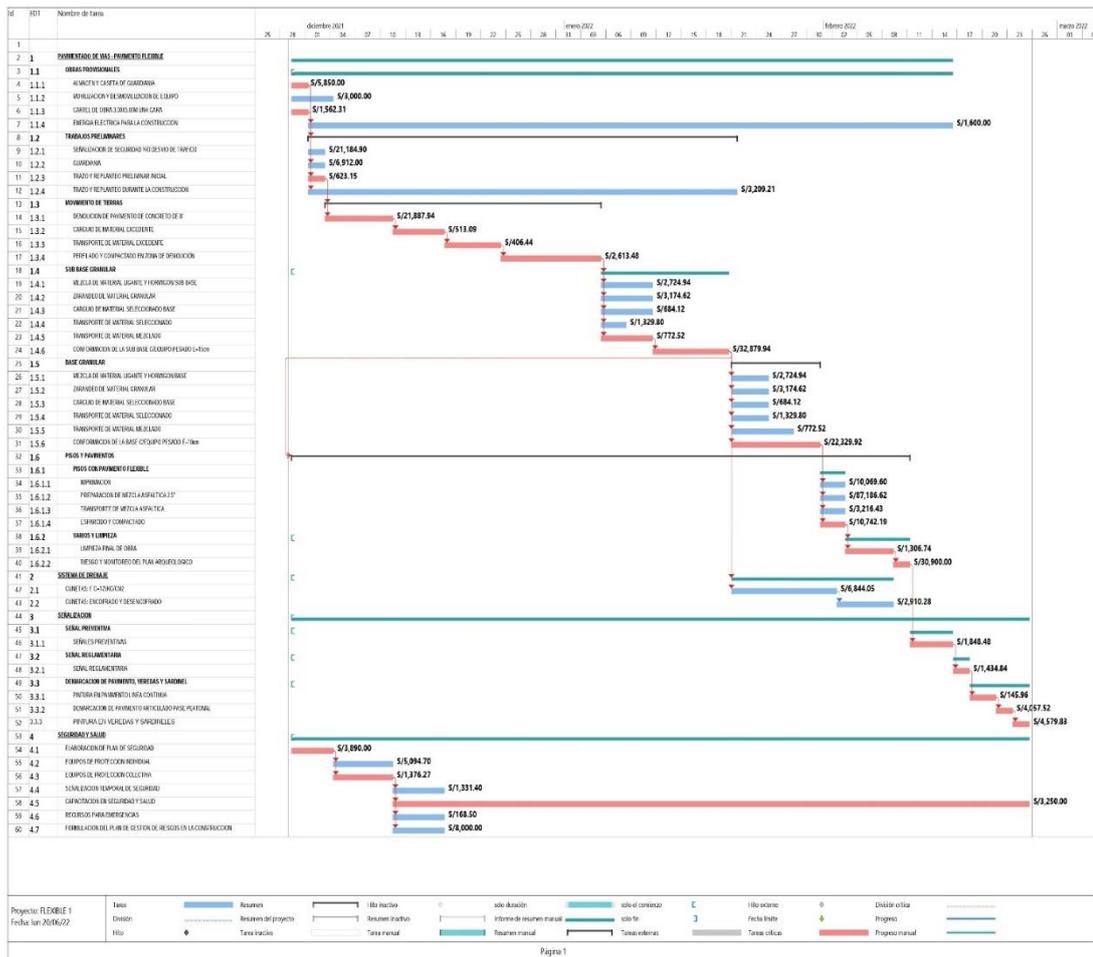
Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.3. Tiempo de ejecución

4.5.3.1. Tiempo de ejecución Pavimento Flexible.

Figura 71

Programación de Obra Pavimento Flexible

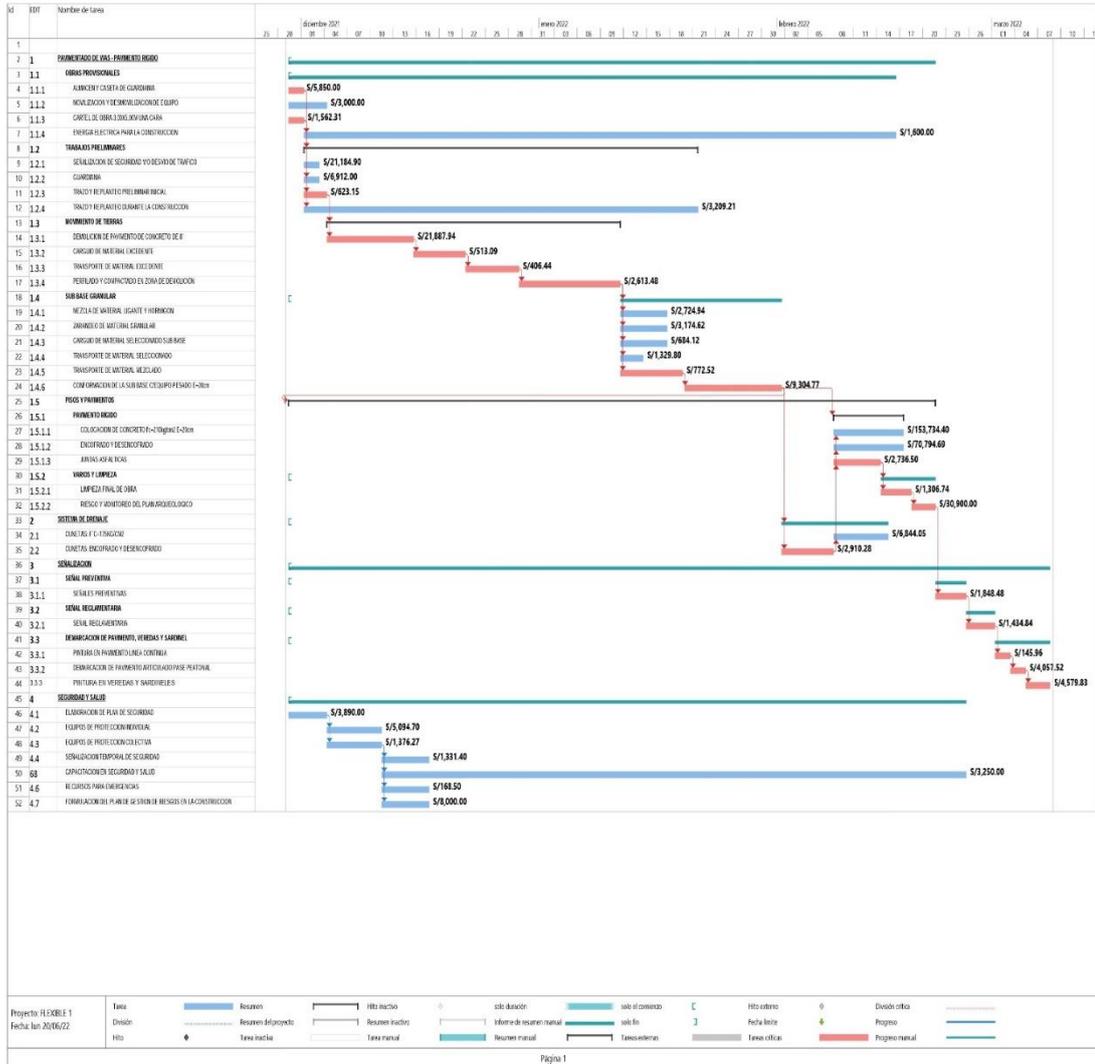


Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.3.2. Tiempo de ejecución Pavimento Rígido.

Figura 72

Programación de Obra Pavimento Rígido

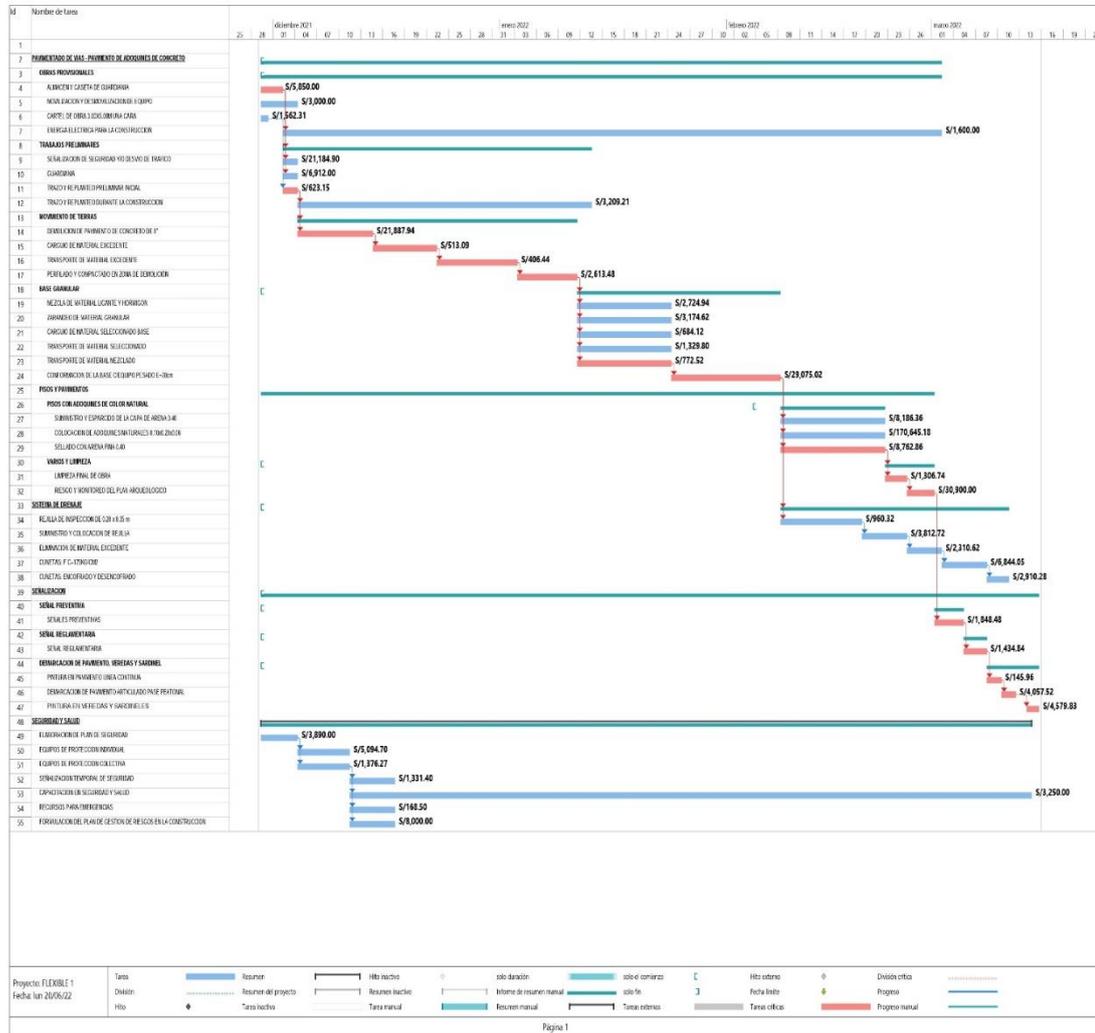


Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.3.3. Tiempo de ejecución Pavimento de Adoquines de Concreto

Figura 73

Programación de Obra Pavimento de Adoquines de Concreto



Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6. Análisis de Rentabilidad

El presente proyecto generara beneficios, las mismas que pueden describirse de manera cualitativa y que contribuyen al desarrollo de la poblacion beneficiaria.

Por lo tanto, se adopta la metodología COSTO/EFFECTIVIDAD

4.6.1. Relación costo – efectividad.



Hay muchos proyectos en que los beneficios son trabajosos de estimar (cuando no se genera ingresos) o no son notables para el análisis (cuando debe obligatoriamente solucionarse un problema). En estos casos, es útil contrastar los costos con la efectividad, es decir, con el cambio que se espera conseguir con el proyecto. Para decidir cuál es la mejor de las posibles opciones, la relación costo-efectividad calcula:

$$CE = \frac{VAC}{IE}$$

Donde CE es el coeficiente costo-efectividad; VAC, el valor actual de los costos del proyecto, e IE, el indicador de efectividad.

4.6.2. Horizonte de evaluación de proyecto.

El horizonte de evaluación de proyecto consta de dos etapas:

- Fase de Inversión, en donde se efectúa la elaboración del expediente técnico y la construcción del pavimento u obra vial propiamente.
- Post-Inversión, que comprende las actividades propias en operación, mantenimiento y evaluación del proyecto para la que se propone un horizonte de 10 años.

Tabla 93

Tráfico generado por tipo de proyecto

Tipo de Intervención	% de Tráfico Normal
Mejoramiento	15

Nota: (M.T.C., 2003a)

4.6.3. Análisis de la demanda.

Para el aseguramiento del interés vehicular, se piensa en la cantidad de vehículos que se desplazan, lo cual es un factor que contribuye al tema.

Para el Índice Medio Diario IMD, se considera el aforo vehicular del conteo durante los 7 días, (datos obtenidos en la Plaza Grau - Lampa)

Tabla 94

Determinación del tránsito actual

Hora	Auto	Station wagon	Camionetas			bus	Camión		Total	%
			Pick up	Panel	Rural combi	B2	C2	C3		
Diagra. Veh.										
Lunes	176	110	114	7	85	0	6	0	498	14.9
Martes	152	92	100	4	85	1	3	1	438	13.1
Miércoles	137	99	107	2	88	0	2	0	435	13.0
Jueves	132	99	108	2	94	1	2	1	439	13.2
Viernes	135	104	109	3	100	1	3	1	456	13.7
Sabado	178	82	85	7	133	0	3	0	488	14.6
Domingo	213	129	86	5	141	0	5	1	580	17.4
Total	1123	715	709	30	726	3	24	4	3334	100.0
%	33.7	21.4	21.3	0.9	21.8	0.1	0.7	0.1	100.0	

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA) tenemos 484 vehículos por día

4.6.4. Análisis de la oferta.

4.6.4.1. Oferta sin proyecto.

La oferta actual para el tránsito vehicular y peatonal está dada por un pavimento rígido deteriorado, la misma que no brinda una adecuada transitabilidad y no tiene una capacidad paisajística de acuerdo con el entorno cultural e histórico de la ciudad de Lampa:

Tabla 95*Caracterización De La Vía En Estudio Sin Proyecto*

Carretera	Plaza Grau
1. Características de la vía y Pavimento	
Longitud (m)	266.9
Tipo de material de la superficie	Pavimento rígido
Ancho de la calzada (m)	8.8
Estado de conservación	Malo
Pendiente	0.82%
Bombeo	1.11%
2. Señalización	
Estado de conservación	malo
3. Impacto ambiental	
Zona de botaderos	si tiene

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.4.2. Oferta con proyecto.

La oferta en la situación con el proyecto contiene a una necesidad de mejoramiento de la infraestructura vial y las obras que complementan la misma. Una vez puesta en servicio la infraestructura vial y peatonal en condiciones óptimas y adecuadas tanto estructural como para una mejora paisajística colonial, por lo que se incrementara la satisfacción a cada uno de los usuarios.

Tabla 96*Caracterización de la vía en estudio con proyecto*

CARRETERA	PLAZA GRAU
1. Características de la vía y Pavimento	
Longitud (m)	266.9
Tipo de material de la superficie	Pavimento - adoquines de concreto
Ancho de la calzada(m)	7.2
Estado de conservación	Bueno
Pendiente	0.80%
Bombeo	2.00%
2. Señalización	
Estado de conservación	Bueno
3. Impacto ambiental	
Zona de botaderos	Si tiene

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



4.6.4.3. *Balance oferta – demanda*

Esta comparación de oferta - demanda que se proyecta nos indica que la vía en estudio existe un déficit en la funcionalidad ornamental y estructural del pavimento esto debido al tipo y el contraste con centro cultural y turístico. Por tanto, se considera un déficit para el ámbito del proyecto.

4.6.4.4. *Costo a precio de mercado.*

Se definirá para todos los componentes y actividades descritas para el progreso de cada uno de las mismas es que se ha estimado los costos de cada uno de los componentes de las opciones que se proponen. Se estima los costos de aquellos insumos, bienes u otros recursos necesarios para la realización del proyecto.

4.6.4.5. *Costo de inversión*

Se trabaja con presupuestos que intervienen directamente en la vía en estudio, las mismas que se reflejan en las tablas siguientes (costo de inversión).

4.6.4.6. *Costo De Operación Y Mantenimiento.*

- **Mantenimiento Rutinario o Anual.**

Agrupación de actividades que se realizarán para que la infraestructura vial pueda tener una conveniente transitabilidad y así evitar el daño prematuro de las vías de tránsito.

- **Mantenimiento Periódico**

Agrupación de actividades que se realizarán en periodos de más de un año, por lo general 3 años en la infraestructura vial, las mismas que comprenden la sustitución o reposición, de ese modo restaurar las singularidades de la superficie de rodadura.

Tabla 97

Costo de mantenimiento con proyecto y sin proyecto

Descripción	Precios de mercado
	Sin Proyecto
Mant. Rutinario	1,144.06
Mant. Periódico	1,724.98
	Con Proyecto
Mant. Rutinario	2,288.12
Mant. Periódico	3,449.96

Nota: (M.E.F., 2011)

4.6.4.7. Flujo de costos incrementales

Está definida como tal a la disparidad entre los costos en con proyecto y los costos sin proyecto, está considerado para todo el panorama de evaluación del proyecto que se opta 10 años según los sugerido en el Reglamento.

4.6.4.8. Identificación de beneficios.

- Beneficios Sin Proyecto.

De no llegar a intervenir en la mejora del estado actual del pavimento en la Plaza Grau de la ciudad de Lampa, tanto para el tránsito vehicular y peatonal no habrá un sustancial cambio en la ornamentación, por tanto, no habrá una mayor afluencia en lo que se refiere al turismo.

- Beneficios Con Proyecto.

Con la realización del proyecto se mejora el atractivo turístico dentro de la ciudad de lampa por el embellecimiento y mejora del entorno de la Plaza Grau de la ciudad de lampa y teniendo en su entorno el templo Santiago apóstol, se obtendrán beneficios económicos a través del turismo.

4.6.4.9. Costos sociales.

Para la adquisición de costos de inversión a precios sociales, se deberá realizar el manejo de los factores de corrección.

Tabla 98*Factores de corrección*

Obras	Factor
Inversión	0.79
Mantenimiento y Operación	0.75

Nota: (M.E.F., 2011)

4.6.4.10. Costos de operación y mantenimiento a precios sociales.

Acorde a los costos de operación y mantenimiento que se planteará al proponer y haciendo empleo de los factores de corrección debemos calcular los costos a precios sociales.

*4.6.5. Costos por alternativa.**4.6.5.1. Pavimento flexible.*

Inversión:

Tabla 99*Costo pavimento flexible*

Concepto	Alternativa
Total de Inversión	391,733.90
Costo US\$	105,304.81
Costo US\$/Km	1,053,048.11

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tipo de cambio junio 3.72

Tabla 100*Factores para costo de mantenimiento*

Descripción	Precios de mercado
Sin Proyecto	
Mant. Rutinario	1,144.06
Mant. Periódico	1,724.98
Con Proyecto	
Mant. Rutinario	2,288.12

Nota: (M.E.F., 2011)

A Precios Sociales.



Factores Sociales:

Tabla 101

Factores Sociales

Obras	Factor
Inversión	0.79
Mantenimiento y Operación	0.75

Nota: (M.E.F., 2011)

4.6.5.1.1. *Costos de Inversión y Mantenimiento.*

Tabla 102

Tabla de costo de inversión y mantenimiento pavimento flexible

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		391,733.90	
1	2304.02		3055.52
2	1527.76		3055.52
3	1527.76		4465.77
4	2304.02		3055.52
5	1527.76		3055.52
6	1527.76		4465.77
7	2304.02		3055.52
8	1527.76		3055.52
9	1527.76		4465.77
10	2304.02		3055.52

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.5.1.2. *Costos de Inversión y Mantenimiento a Precios Sociales:*

Tabla 103*Tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento flexible*

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		309469.78	
1	1728.02		2291.64
2	1145.82		2291.64
3	1145.82		3349.32
4	1728.02		2291.64
5	1145.82		2291.64
6	1145.82		3349.32
7	1728.02		2291.64
8	1145.82		2291.64
9	1145.82		3349.32
10	1728.02		2291.64

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.5.1.3. Costos Incrementales:

Tabla 104*Costos Incrementales*

Año	Inversión	Mantenimiento
0	309469.78	
1		564
2		1146
3		2204
4		564
5		1146
6		2204
7		564
8		1146
9		2204
10	-30946.98	564

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.5.1.4. Evaluación Económica:

El procedimiento de valoración o evaluación de la vía es COSTO/EFFECTIVIDAD

Tabla evaluación económica pavimento flexible.

Tabla 105

Tabla evaluación económica pavimento flexible

Año	inversión	costo de operación y mantenimiento	flujo de caja
0	309469.78		309469.78
1		475	475
2		966	966
3		1858	1858
4		475	475
5		966	966
6		1858	1858
7		475	475
8		966	966
9		1858	1858
10	-30946.98	475	-31422

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\frac{C}{E} = \frac{301564.75}{BENEFICIARIOS} = \frac{301564.75}{43207} = 6.98 \text{ SOLES/HABITANTE}$$

4.6.6. Pavimento rígido.

Inversión:

Tabla 106

Costo pavimento rígido

Concepto	Alternativa
Total de Inversión	480,183.74
Costo US\$	129,081.65
Costo US\$/Km	1,290,816.50

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tipo de cambio junio 3.72

Tabla 107

Factores para costo de mantenimiento

DESCRIPCIÓN	PRECIOS DE MERCADO
	Sin Proyecto
Mant. Rutinario	1,144.06
Mant. Periódico	1,724.98
	Con Proyecto
Mant. Rutinario	2,288.12

Nota: (M.E.F., 2011)



A Precios Sociales.

Factores Sociales:

Tabla 108

Factores sociales

Obras	Factor
Inversión	0.79
Mantenimiento y Operación	0.75

Nota: (M.E.F., 2011)

4.6.6.1. *Costos de Inversión y Mantenimiento:*

Tabla 109

Tabla de costo de inversión y mantenimiento pavimento rígido

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		480,183.74	
1	2824.25		3745.43
2	1872.72		3745.43
3	1872.72		5474.09
4	2824.25		3745.43
5	1872.72		3745.43
6	1872.72		5474.09
7	2824.25		3745.43
8	1872.72		3745.43
9	1872.72		5474.09
10	2824.25		3745.43

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.6.2. *Costos de Inversión y Mantenimiento a Precios Sociales:*

Tabla 110

tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento rígido

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		379345.154	
1	2118.19		2809.07
2	1404.54		2809.07
3	1404.54		4105.57
4	2118.19		2809.07
5	1404.54		2809.07
6	1404.54		4105.57
7	2118.19		2809.07
8	1404.54		2809.07
9	1404.54		4105.57
10	2118.19		2809.07

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.6.3. Costos Incrementales:

Tabla 111

Costos Incrementales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	379345.154	
1		691
2		1405
3		2701
4		691
5		1405
6		2701
7		691
8		1405
9		2701
10	-37934.5154	691

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.6.4. Evaluación Económica:

El procedimiento de valoración o evaluación de la vía es COSTO/EFFECTIVIDAD

Tabla 112*Tabla evaluación económica pavimento Rígido*

Año	Inversión	Costo de operación y mantenimiento	Flujo de caja
0	379345.154		379345.154
1		564	564
2		1146	1146
3		2204	2204
4		564	564
5		1146	1146
6		2204	2204
7		564	564
8		1146	1146
9		2204	2204
10	-37934.52	564	-37371

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\frac{C}{E} = \frac{369922.05}{BENEFICIARIOS} = \frac{369922.05}{43207} = 8.56 \text{ SOLES/HABITANTE}$$

4.6.6.5. Pavimento con adoquines de concreto.

Inversión:

Tabla 113*costo pavimento de adoquines de concreto*

Concepto	Alternativa
Total de Inversión	463,202.15
Costo US\$	124,516.71
Costo US\$/Km	1,245,167.08

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

Tipo de cambio junio 3.72

4.6.6.6. *Costo Mantenimiento en US\$ - Km:***Tabla 114***Factores para costo de mantenimiento*

Descripción	Precios de mercado
Sin Proyecto	
Mant. Rutinario	1,144.06
Mant. Periódico	1,724.98
Con Proyecto	
Mant. Rutinario	2,288.12
Mant. Periódico	3,449.96

Nota: (M.E.F., 2011)4.6.6.7. *A Precios Sociales:***Tabla 115***Factores sociales*

Obras	Factor
Inversión	0.79
Mantenimiento y Operación	0.75

Nota: (M.E.F., 2011)4.6.6.8. *Costos de Inversión y Mantenimiento:***Tabla 116***Costo de inversión y mantenimiento pavimento adoquines de concreto*

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		463,202.15	
1	2724.37		3612.98
2	1806.49		3612.98
3	1806.49		5280.50
4	2724.37		3612.98
5	1806.49		3612.98
6	1806.49		5280.50
7	2724.37		3612.98
8	1806.49		3612.98
9	1806.49		5280.50
10	2724.37		3612.98

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.6.9. Costos de inversión y mantenimiento a precios sociales:

Tabla 117

Tabla de costo de inversión y mantenimiento a precios sociales pavimento de adoquines de concreto

Año	Sin proyecto costos de mantenimiento	Con proyecto	
		Inversión	Mantenimiento*
0		365929.701	
1	2043.28		2709.73
2	1354.87		2709.73
3	1354.87		3960.38
4	2043.28		2709.73
5	1354.87		2709.73
6	1354.87		3960.38
7	2043.28		2709.73
8	1354.87		2709.73
9	1354.87		3960.38
10	2043.28		2709.73

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

* Incluiremos los precios de operación, considerando el 10% del costo de mantenimiento rutinariamente.

4.6.6.10. Costos Incrementales:

Tabla 118

Costos incrementales

Año	Inversión	Mantenimiento
0	365929.70	
1		666
2		1355
3		2606
4		666
5		1355
6		2606
7		666
8		1355
9		2606
10	-36592.97	666

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo



4.6.6.11. Evaluación Económica:

El procedimiento de valoración o evaluación de la vía COSTO/EFFECTIVIDAD

Tabla 119

Tabla evaluación económica pavimento adoquines de concreto

Año	Inversión	Costo de operación y mantenimiento	Flujo de caja
0	365929.70		365929.70
1		540	540
2		773	773
3		1800	1800
4		540	540
5		773	773
6		1800	1800
7		540	540
8		773	773
9		1800	1800
10	-29696.56	540	-30237

Nota: Elaborado por el equipo de trabajo

$$\frac{C}{E} = \frac{358205.38}{BENEFICIARIOS} = \frac{358205.38}{43207} = 8.29 \text{ SOLES/HABITANTE}$$



V. CONCLUSIONES

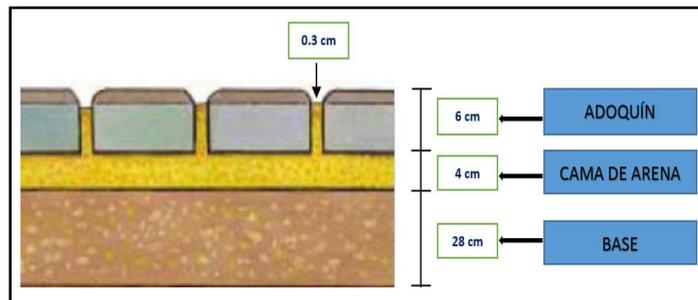
- La estructura de pavimentos de adoquines de concreto con $h = 6.0\text{cm}$ con una resistencia de 420kg/cm^2 , son adecuadas para absorber las tensiones originadas por las solicitaciones de tránsito en la plaza Grau de la ciudad de lampa.
- La resistencia del adoquín a ciclos de hielo con diferentes temperaturas presenta una variación sustancial, puesto que a menor temperatura la resistencia del adoquín disminuye, de manera distinta es el comportamiento a ciclos de deshielo, puesto que a mayor temperatura presenta una mayor resistencia.
- La rentabilidad de cada tipo de pavimento se detalla a continuación:

Metodología	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Pavimento con adoquines de concreto
C/E	6.98 soles/hab.	8.56 soles/hab.	8.29 soles/hab.

- Se adopta como rentable el pavimento de adoquines de concreto puesto que su mantenimiento a mediano y largo plazo no requiere de equipos sofisticados ni mano de obra calificada.
- Determinar el porcentaje de absorción de las unidades de los adoquines de concreto que se propone utilizar en la plaza Grau de la ciudad de lampa
- El porcentaje de absorción de las unidades de los adoquines de concreto que se propone utilizar en la plaza Grau de la ciudad de lampa cumple con las exigencias establecidas en la NTP 399.611

Nro.	Descripción de la Muestra	Absorción (%)
1	Adoquín 10x20x5.8	3.760
2	Adoquín 10.11x19.95x5.8	3.762
3	Adoquín 10.1x19.91x5.7	3.513
4	Adoquín 10.00x19.9x5.8	4.415
5	Adoquín 9.95x20x5.7	4.504
6	Adoquín 10.01x19.94x5.7	4.231
7	Adoquín 10.1x20.01x5.7	4.114
8	Adoquín 10.00x19.94x5.6	3.902

- En el diseño de la estructura de pavimento de adoquines de concreto se obtuvo la siguiente disposición final:





VI. RECOMENDACIONES

- Hablar de que tan económico sea un tipo de pavimento con respecto al otro es muy relativo puesto que depende en gran parte la necesidad de cada entorno, además de la disponibilidad de material para la conformación del pavimento. Por lo tanto, se sugiere un análisis adecuado para la determinación del tipo de pavimento a construir.
- Es indispensable el manejo sostenible de todo recurso evitando la contaminación y sobreexplotación de todas las fuentes, siempre proyectarnos a un futuro dramático.
- Un aspecto importante en nuestra región es la duración de cada una de las alternativas de pavimento, si realizamos una evaluación del tiempo de duración podemos resumir que el pavimento rígido tiene una mayor duración, sin embargo, el pavimento de adoquines de concreto presenta una gran facilidad en su mantenimiento, es preciso asumir dichas ventajas para proyectos ornamentales.
- Debido a la gran variedad en su presentación el aprovechamiento de los pavimentos de adoquines de concreto se debe implantar en todo proyecto, principalmente en centros históricos y afines, que generen una importante afluencia turística.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSTHO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.*
- Aurelio S. (1997). *Guía para el diseño y construcción de pavimento Rígido.*
- Beaty. (1996). *Colocación de materiales del curso: Especificaciones y rendimiento. Actas de la 5ta Conferencia internacional sobre CBP, PAVE ISRAEL.* 129–139.
- Braja M. Das. (2014). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.*
- Bullen. (1994). *Restricciones de borde para segmentarios Pavimentos de bloques de hormigón. Actas de la 2do Taller Internacional de Bloques de Hormigón Pavimentos. Oslo.* 280–287.
- Burak. (2009). *Desarrollo del norte Pautas americanas para la precalificación de la ropa de cama arena para uso en pavimentos de hormigón segmentados en aplicaciones vehiculares. Actas del 9 Conferencia Internacional sobre PBC.*
- Dawson, L. (1988). *Curso de colocación Arena para Pavimentación de Bloques de Hormigón. Actas de la 3er Congreso Internacional sobre PBC.* 457–462.
- Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.*
- Ghosh A.K. (2002). *Estructural Comportamiento de Pavimentos de Bloques de Concreto. II: Concreto Bloques. Revista de ingeniería de transporte.* 130–135.
- Ghosh, P. (2001). *Fuente de Arena de unión para pavimento de bloques de hormigón. diario de Materiales en Ingeniería.* 235–237.
- Ghosh, P. (2002). *Estructural Comportamiento del Pavimento de Bloques de Hormigón. II: Hormigón Bloques.* 130–135.
- ICCG. (2010). *Guía de instalación de Adoquines de Concreto.*
- ICH. (2013). *Manuel de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón. Grafica LOM.*



- ICPI. (2004). Resistencia al deslizamiento y deslizamiento de Pavimentos de hormigón entrelazados. Número de especificaciones técnicas 13. *Instituto de Pavimentos de Concreto Entrelazados*.
- IECA. (2014). *Pavimentos con adoquines de hormigón, España*.
- Knapton. (1980). *Investigación del Reino Unido sobre diseño de pavimento de bloques de hormigón. Actas del 1er. Conferencia internacional sobre CBP*.
- Lim, S. (2003). *Mecanismos de Enclavamiento de pavimentadora. Actas de la VII Internacional conferencia sobre PBC, PAVE AFRICA 2003*. 51–60.
- Livneh. (1988). Desarrollo de una metodología de diseño de pavimentos para Pavimentos de bloques de hormigón en Israel. *Procedimiento de La 3ª Conferencia Internacional Sobre PBC.*, 94–101.
- M.E.F. (2011). *Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Rehabilitación y Mejoramiento de Caminos Vecinales, a Nivel de Perfil*.
- Minaya S., O. A. I. C. G. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*.
- Miura. (1984). Estructural diseño de pavimentos de bloques de hormigón por método CBR y su evaluación. *Actas de La 2a Internacional Conferencia Sobre PBC. PAVE HOLANDA*, 152–156.
- M.T.C. (2003a). *Reglamento Nacional de Vehículos*.
- M.T.C. (2003b). Reglamento Nacional de Vehículos. *Decreto Supremo Nro. 058*.
- M.T.C. (2013). *Manual de Carretas Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*.
- M.T.C. (2021). *Parque Automotor Nacional por departamentos*.
- M.T.C. EG. (2013). MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*.
- N. (2022, March 29). *Adoquines decorativos Prefabricados La Jara | Albacete, Cuenca, Madrid. Prefabricados La Jara | Adoquines decorativos*. Adoquines Decorativos.
- Narvaes D, L. B. (1999). *Manual de topografía general I y II*.



- Nor. (2006). Los efectos del espesor y patrón de colocación de la pavimentadora sobre Pavimento de bloques de hormigón. *Proyecto de Investigación 75067. Universiti Teknologi Malaysia*.
- NTP 399.611. (2017). *Unidades de albañilería Adoquines de concreto para pavimentos*.
- Panda, B. Ch. y G. A. K. (2002). *Estructural Comportamiento de Pavimentos de Bloques de Concreto. I: arena en la cama y Articulaciones. Revista de ingeniería de transporte*. 123–129.
- Rivas. (2011). *Diseño de pavimentos portuarios de adoquines y su aplicación al puerto San Vicente*.
- R.N.E. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones CE. 010*.
- RNE OS.060. (2006). *Drenaje Pluvial Urbano*.
- SENAMHI. (2020). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI*.
- Shakel. (1980). El rendimiento de Pavimentos de bloques entrelazados bajo acelerado Trata. Actas de la 1ra Internacional Conferencia sobre CBP. *Actas de La 1ra Internacional Conferencia Sobre CBP, PAVE UK*.
- Shakel. (2003). Los desafíos del hormigón Bloques de pavimentación como tecnología madura. *Actas de La 7ma Conferencia Internacional Sobre PBC África. Universidad de Nueva Gales Del Sur*, 1–11.
- Soutsos, M. T. K. y M. S. (2011). *Uso de agregado de demolición reciclado en productos prefabricados, fase II: Adoquines de hormigón. Construcción y Materiales de construcción*. 3131–3143.
- Suárez, M. B. (2012). *Metodología de investigación para ingeniero Civil*.
- Sun. (1996). Teoría del diseño y método de Pavimento de bloques de hormigón entrelazados para zonas portuarias. *Actas de La Quinta Conferencia Internacional Sobre CBP, PAVE ISRAEL. CBP*, 463–472.
- Tomas E. (2013). *Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de hormigón*.
- Tunza. (2010). *Ciclo Hidrológico del Agua*.



van der Heijden, J. H. A. y H. L. J. M. (1985). *Concrete Block Paving in the Netherland Design and Construction. Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Pavements Design & Rehabilitation.*