

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO Y DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO EN LA AV.PERU
DE LA CIUDAD DE JULIACA, TRAMO I JR.MANTARO –

JR.FRANCISCO PIZARRO

TESIS

TOMO I

PRESENTADA POR:

HENRY HANCCO LARICO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERU

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENEIRIA CIVIL

ESTUDIO Y DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO EN LA AV. PERU DE LA CIUDAD DE JULIACA, TRAMO I JR. MANTARO - JR. FRANCISCO PIZARRO

TESIS PRESENTADO POR:

HENRY HANCCO LARICO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL



FECHA DE SUSTENTACION: 31 DE AGOSTO 2016

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

: _____
ING. WALTER HUGO LIPA CONDORI

PRIMER MIEMBRO

: _____
ING. FELIX ROJAS CHAHUARES

SEGUNDO MIEMBRO

: _____
ING. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

DIRECTOR DE TESIS

: _____
ING. JOSÉ LUIS CUTIPA ARAPA

ASESOR DE TESIS

: _____
ING. CESAR EDWIN GUERRA RAMOS

Tema : Diseño de pavimentos
Área : Transportes
Línea de investigación : Transportes y Gestión Vial

DEDICATORIA

A mi padre Juan Hanco Ceallohuanca (+), por su infinito amor, esfuerzo y comprensión en los años que me acompañó siempre quiso lo mejor para mí y hoy sé que desde lo más lejos a lado del señor me sigue acompañando en cada lucha mía

A mi madre, Rosa Larico Trelles, por mostrarme el camino en todo momento de lucha, esfuerzo, problemática y hacerme entender lo bello que es la vida.

A mis hermanos Benny, Odila y Pavel que siempre están apoyándome en cada paso que doy.

A mi hijo Becker quien es motivo de lucha y superación del día a día, que nació fruto del amor con la mujer que día a día me acompaña gracias por todo Gaby.

HENRY HANCCO

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, por comprenderme, apoyarme y motivarme en cada instante de mi vida.

A mi director, asesor de la tesis y miembros del jurado por guiarme y apoyarme a lo largo de mi vida profesional y de mi tesis.

A los docentes de la facultad, que siempre estuvieron para poder absolver mis dudas e inquietudes.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

RESUMEN.....16

ABSTRACT.....17

INTRODUCCIÓN.....18

CAPÍTULO I

1 ASPECTOS GENERALES..... 20

1.1 GENERALIDADES 20

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO..... 20

1.2.1 Región de Puno 20

1.2.2 Provincia de San Román..... 21

1.3 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO..... 23

1.3.1 Ubicación del proyecto 23

1.3.2 Coordenadas de la zona del proyecto 24

1.3.3 Ámbito de influencia del proyecto..... 24

1.3.4 Accesibilidad 25

1.3.5 Pluviografía..... 25

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 26

1.4.1 Identificación del problema 26

1.4.2 Formulación del problema 28

1.5 JUSTIFICACIÓN 29

1.6 OBJETIVOS 29

1.6.1 Objetivo General..... 29

1.6.2	Objetivos Específicos	30
2	MARCO TEÓRICO	31
2.1	ANTECEDENTES TEORICOS	31
2.2	BASES TEORICAS	33
2.2.1	Pavimento rígido.....	33
2.2.2	Tipos de pavimento rígido	36
2.2.2.1	Pavimento rígido de concreto simple.....	36
2.2.2.2	Pavimentos rígido reforzado.....	36
2.2.2.3	Los Pavimento rígido con refuerzo continuo.....	37
2.3	TOPOGRAFÍA	37
2.3.1	Aspectos generales.....	37
2.4	GEOTÉCNIA.....	38
2.4.1	Aspectos generales.....	38
2.4.2	Terreno de fundación	39
2.4.2.1	Muestreo y exploración de suelos en el terreno de fundación	39
2.4.2.2	Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)	40
2.4.2.3	Contenido de humedad	40
2.4.2.4	Análisis granulométrico por tamizado	41
2.4.2.5	Límites de Atterberg	42
2.4.2.6	Límite líquido (L.L.).....	42
2.4.2.7	Límite plástico (L.P.)	43
2.4.2.8	Índice de plasticidad (I.P.)	43
2.4.2.9	Clasificación de suelos.....	44
2.4.2.10	Valor Relativo de soporte (CBR).....	48
2.4.3	Estudios y evaluación de canteras	49
2.4.3.1	Generalidades.....	49
2.4.3.2	Evaluación de canteras.....	50
2.5	INGENIERIA DE TRANSITO	50
2.5.1	Volumen de transito.....	51
2.5.2	Tipos de ejes	51
2.5.3	Volúmenes de tránsito promedio diario.....	52
2.5.4	Periodo de diseño.....	52

2.5.5	Carril de diseño	53
2.5.6	Clasificación de las calles urbanas.....	53
2.5.7	Metodo Portland Cement Association (PCA).....	55
2.5.7.1	Factores de diseño estructural de pavimento rígido por el método de la PCA	56
2.5.7.2	Estudio de transito, tráfico diario promedio y distribuciones de cargas	58
2.5.7.3	Periodo de diseño.....	59
2.5.7.4	Factor de seguridad para las cargas	59
2.5.7.5	Esfuerzo equivalente (carga equivalente) y factor de erosión	59
2.5.7.6	Análisis de erosión.....	63
2.5.7.7	Análisis por fatiga.....	66
2.5.8	Metodo AASHTO 93.....	69
2.5.8.1	Tipos de pavimento rígido	69
2.5.8.2	Factores de diseño de la estructura del pavimento rígido por el método AASHTO 93	71
2.5.8.3	Parámetros de diseño	72
2.5.8.4	Criterios de comportamiento.	74
2.5.8.5	Propiedades de los materiales.	76
2.5.8.6	Características estructurales.....	77
2.5.8.7	Refuerzo del pavimento rígido.	79
2.5.8.8	Juntas en pavimento rígido.	80
2.5.8.9	Variable para el cálculo de armaduras de acero.	81
2.6	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	84
2.6.1	Introducción	84
2.6.2	Información meteorológica.....	85
2.6.3	Estudio Hidráulico	87
2.6.3.1	Método para el cálculo de caudales	87
2.6.3.2	Coefficiente de escorrentía.....	89
2.6.3.3	Intensidad de precipitación	90
2.6.3.4	Periodo de retorno.....	94
2.6.3.5	Duración de la lluvia.....	95
2.6.4	Estudio del sistema de drenaje urbano.....	97

2.7	ESTUDIO DE TRÁFICO.....	102
2.7.1	Aspectos generales.....	102
2.7.2	Volúmenes de tránsito promedio diarios	102
2.7.3	Clasificación por tipo de vehículo	103
2.7.4	Tipos de ejes de vehículos	103
2.7.5	Aforo vehicular	105
2.7.6	TPDA O IMDA	105
2.7.7	Factor de crecimiento.....	107
2.7.8	Factor equivalente de carga	108
2.7.9	Factor camión	108
2.7.10	Número de ejes equivalentes (ESAL).....	109
2.8	DISEÑO GEOMÉTRICO.....	110
2.8.1	Aspectos generales.....	110
2.8.2	Fundamentos y secuencia del diseño geométrico	111
2.8.3	Clasificación de las vías urbanas	111
2.8.4	Velocidad de diseño	114
2.8.5	Distancia de visibilidad de parada	114
2.8.6	Alineamiento horizontal	115
2.8.6.1	Alineamientos rectos.....	115
2.8.7	Alineamiento vertical.....	116
2.8.7.1	Perfil longitudinal	116
2.8.7.2	Tangentes verticales.....	116
2.8.7.3	Pendientes mínimas	116
2.8.7.4	Pendientes máximas.....	117
2.8.7.5	Curvas verticales.....	117
2.8.8	Características geométricas en secciones transversales.....	117
2.8.8.1	Número de carriles.....	117
2.8.8.2	Ancho de carriles	118
2.8.8.3	Bombeo y Peralte.....	119
2.8.8.4	Separadores o Bermas centrales	119
2.8.8.5	Sardineles.....	120
3	INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	121
3.1	INTRODUCCIÓN	121

3.2	ESTUDIO TOPOGRÁFICO	122
3.2.1	Trabajos realizados	122
3.2.2	Reconocimiento del terreno de la zona. Avenida Perú Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro)	123
3.2.3	Levantamiento topográfico con estación total.	124
3.2.4	Trabajos de gabinete	124
3.2.5	Equipos empleados:	125
3.3	ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	125
3.3.1	Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio del terreno de fundación.	127
3.3.2	Determinación del CBR de diseño (sub rasante)	128
3.3.3	Determinación de la resistencia de la sub rasante o del conjunto de sub rasante y sub base (Modulo K)	130
3.4	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	132
3.4.1	Estudio Hidráulico	135
3.4.1.1	Cálculo del coeficiente de escorrentía	135
3.4.1.2	Cálculo de la intensidad de precipitación	136
3.4.1.3	Cálculo del caudal de diseño	143
3.4.2	Diseño de estructuras de drenaje pluvial	145
3.5	ESTUDIO DE TRANSITO	148
3.5.1	Análisis de tránsito.....	148
3.5.2	Calculo del tránsito promedia diario anual (TPDA).....	150
3.5.3	Determinación y distribución de vehículos comerciales.	152
3.5.4	Transito acumulado de vehículos comerciales.	153
3.5.5	Periodo de diseño.....	153
3.5.6	Factor de proyección.....	153
3.5.7	Factor de sentido y factor de carril	155
3.5.8	Cálculo del tránsito acumulado.....	156
3.5.9	Determinación de numero de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.....	157
4	DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO.....	162
4.1	Diseño de pavimento rígido, método de Portland Cement Association (PCA)	162

4.1.1	Consideraciones para el Diseño por el Método PCA)	166
4.2	Diseño de pavimento rígido, Metodo AASHTO 93	174
4.2.1	Módulo de elasticidad del concreto (Ec).	175
4.3	ESPESORES FINALES ADOPTADOS.	182
5	CONTRASTACION DE LOS OBJETIVOS	184
	CONTRASTACIÓN DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	184
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	186
	BIBLIOGRAFÍA.	188
	ANEXOS.	190

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los puntos A, y B inicio y final de la vía.....	24
Tabla 2: Criterio para la ejecución del número de perforaciones en el terreno	39
Tabla 3: Número de puntos de investigación.....	40
Tabla 4: Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO	45
Tabla 5: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS	46
Tabla 6: Características de la Muestra Patrón	49
Tabla 7: Esfuerzo equivalentes (kg/cm ²) sin bermas de concreto.....	60
Tabla 8: factor de erosión, juntas con pasa juntas, sin bermas de concreto.....	61
Tabla 9: factor de erosión, juntas con pasa juntas, con bermas de concreto.	62
Tabla 10: factor de erosión, juntas sin pasa juntas, con bermas de concreto.....	63
Tabla 11: Coeficientes de Escorrentía Para ser Utilizados en el Método Racional.....	90
Tabla 12: Valores De Los Parámetros K Y <i>Eg</i> Que Definen La Distribución De Probabilidades En Cada Punto De Las Subzonas	93
Tabla 13: Valores de los Parámetros n y a que Definen la Distribución de Probabilidades en Cada Punto de las SubZonas	94
Tabla 14: Valores Recomendados de Riesgo Admisible de Obras de Drenaje	95
Tabla 15: Valores de Intensidad de Precipitación	97
Tabla 16: Dimensiones mínimas.....	101
Tabla 17: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning	102
Tabla 18: Pesos Máximos Admisibles Por Ejes	104
Tabla 19: Parte de la Tabla de Pesos y Medidas Máximas Permitidos	105
Tabla 20: Porcentaje de vehículos pesados que emplea el carril de diseño.....	110
Tabla 21: Parámetros De Diseño Vinculados A La Clasificación De Vías Urbanas ...	112
Tabla 22: Distancia de Visibilidad de Parada en Terrenos Planos	115

Tabla 23: Pendientes Máximas	116
Tabla 24: Ancho de Carriles	118
Tabla 25: Bombeo de la Calzada	119
Tabla 26: Resultados de ensayos realizados por calicatas.....	128
Tabla 27: Limites para la selección de resistencia.....	128
Tabla 28: Determinación de CBR de Diseño (sub rasante).....	129
Tabla 29: valor del módulo de reacción (k) con la influencia de la sub base.	132
Tabla 30: Determinación de la Precipitación Máxima De La Estación De Juliaca	132
Tabla 31: Cálculo de Coeficiente de Escorrentía Para ser Utilizados en el MÉTODO RACIONAL.....	135
Tabla 32: Determinación De Valores De Los Parámetros K Y Eg , para la Zona 123 y Sub Zona 123 ₆	137
Tabla 33: Determinación Valores de los Parámetros n y a, para la Sub Zona 123 ₆	137
Tabla 34: Valores de Intensidad de Precipitación	138
Tabla 35: Determinación de Riesgo Admisible de obras de drenaje	139
Tabla 36: Determinación del Valor de Intensidad de Precipitación	142
Tabla 37: Determinación de intensidad de Lluvia	143
Tabla 38: Áreas tributarias.....	144
Tabla 39: Áreas tributarias.....	145
Tabla 40: Cálculo de Caudal de la Sección	146
Tabla 41: Verificación $Q_s > Q_a$	148
Tabla 42: resumen de conteo vehicular diario.....	149
Tabla 43: resumen de conteo vehicular diario.....	150
Tabla 44: Resumen de vehículos para el calculo del transito promedio diario anual..	151
Tabla 45: Parque automotor del Perú, según departamentos.....	154

Tabla 46: tasa anual de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores. ...	155
Tabla 47: Datos para un tránsito acumulado.	156
Tabla 48: factores de equivalencia propuesto por MOPT-INGEROUTE.	158
Tabla 49: Distribución del tránsito en función del numero de carriles.	159
Tabla 50: Calculo de ESALs de diseño.	160
Tabla 51: categorías de transito en función de la carga por eje.	160
Tabla 52: distribución de cargas por eje usadas para preparar las tablas de diseño.	165
Tabla 53: Análisis por fatiga para un espesor de E=16cm.	170
Tabla 54: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=17 cm.	171
Tabla 55: Análisis por fatiga y erosión para un espesor de E=18 cm.	172
Tabla 56: Niveles de confiabilidad recomendados por la ASSHTO.	176
Tabla 57: Valores de Zr en función de la confiabilidad.	177
Tabla 58: Calidad de drenaje.	178
Tabla 59: valores de coeficientes de drenaje Cd.	178
Tabla 60: valores de coeficientes de transmisión de cargas, J.	179
Tabla 61: Cargas por eje del Camión C3.	181
Tabla 62: Espesores determinados por los métodos AASHTO y PCA.	182
Tabla 63: Espesores determinados por los métodos AASHTO y PCA.	185

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Región Puno	22
Figura 2: Ubicación específica de la zona del proyecto (Provincia de San Roman - Juliaca).....	23
Figura 3: Ubicación específica del Proyecto	24
Figura 4: Vista Actual de la Vía Progresiva (jr. Mantaro – jr. Francisco Pizarro).....	28
Figura 5: Análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión (con bermas de concreto).	65
Figura 6: análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión (con bermas de concreto).	66
Figura 7: Análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzo (con y sin bermas de concreto).....	68
Figura 8: transferencia de carga.....	82
Figura 9: Trasmisión de cargas por trabazón de agregados.....	83
Figura 10: trasmisión de cargas por pasadores.	83
Figura 11: trasmisión de cargas por machi -embrada.	84
Figura 12: Zonificación Para Cada Sub Región Hidrológica del Perú.....	92
Figura 13: Punto B.M. – 01, del levantamiento Topográfico.....	124
Figura 14: Ubicación de las Calicatas.....	127
Figura 15: calculo de CBR de diseño.	129
Figura 16: Determinación aproximada entre los valores de resistencia y clasificación del suelo.....	131
Figura 17: Ubicación de la Estación Meteorológica de Juliaca 123 ₆	136
Figura 18: Curva De Intensidad – Duración – Frecuencia Para La Estación De Juliaca,	139

Figura 19: Áreas a Drenar Dentro de la Zona de Estudio.....	144
Figura 20: Perímetro mojado	146
Figura 21: Sección de cuneta circular	146
Figura 22: Sección de cuneta parabólica	147
Figura 23: Sección de cuneta trapezoidal	147
Figura 24: Sección de cuneta rectangular	147
Figura 25: Sección de cuneta triangular	147
Figura 26: Sección de cuneta semi triangular	148
Figura 27: Proporción de vehículos comerciales en el carril derecho de una carretera de carriles múltiples.....	156
Figura 28: Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión (f_c) a los 28 días.	163
Figura 29: análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de concreto).	168
Figura 30: Cálculo de las Repeticiones Permisibles por Erosión para el Eje Sencillo de 24.2 Kips en el Ejemplo de Diseño de PCA,	169
Figura 31: relación entre análisis por fatiga y los espesores estimados.....	173
Figura 32: relación entre análisis por erosion y los espesores estimados.	173
Figura 33: Espesores determinados por método de la PCA.....	174
Figura 34: Cálculo de espesor de pavimento método CBR,	181
Figura 35: Espesores determinados por método AASHTO	182
Figura 36: Espesores determinados por el método AASHTO 1993.....	183
Figura 37: Espesores determinados por el método PCA 1984	183
Figura 38: Espesores finales adoptados	183

RESUMEN

El presente proyecto de tesis titulado: “Mejoramiento del servicio de la infraestructura vial en la Av. Perú, tramo I (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) de la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román – Puno ”, tiene como principal objetivo determinar los espesores del pavimento rígido que demanden el menor costo y garanticen el periodo de vida útil del pavimento e identificar los medios o variables que serán necesarios para proponer el estudio definitivo de ingeniería de la Av. Perú tramo I (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) y permita la pavimentación de la Av. Perú, debido a que, la ciudad de Juliaca por su ubicación y auge comercial presenta en la actualidad un crecimiento vehicular, pues año en año va creciendo la migración de las provincias aledañas a la ciudad de Juliaca, buscando mejores condiciones de vida.

PALABRAS CLAVE:

Pavimento, trafico, diseño, estructura, concreto.

ABSTRACT

The present thesis project entitled: "Improvement of the service of the road infrastructure in Av. Peru, section I (Jr. Mantaro - Jr. Francisco Pizarro) of the City of Juliaca, Province of San Román - Puno", has as main objective to determine the thickness of the rigid pavement that demand the lowest cost and guarantee the period of useful life of the pavement and identify the means or variables that will be necessary to propose the definitive engineering study of the Av. Peru section I (Jr. Mantaro - Jr. Francisco Pizarro) and allow the paving of Av. Peru, because, the city of Juliaca, due to its location and commercial boom, currently presents an accelerated population growth, since year after year the migration of the provinces surrounding the city of Juliaca, looking for better living conditions.

KEYWORDS:

Pavement, Traffic, Design, Structure, Concrete.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis titulado: “Mejoramiento del servicio de la infraestructura vial en la Av. Perú, tramo I (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) de la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román – Puno ”, tiene como principal objetivo determinar los espesores del pavimento rígido que garanticen el periodo de vida útil del pavimento e identificar los medios o variables que serán necesarios para proponer el estudio definitivo de ingeniería de la Av. Perú tramo I (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) y permita la pavimentación de la Av. Perú.

Los métodos de diseño abordados en la investigación son los recomendados por la Portland Cement Association (PCA) Edición de 1984 y American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO) en su versión de 1993, pues son los métodos más utilizados por las entidades públicas y privadas encargadas del estudio de infraestructura vial.

Se presenta también las diferentes variables que se utilizaron en el estudio y diseño del pavimento.

El presente proyecto aporta una mejora en tramo I de la Avenida Perú, a través de un estudio de pavimentación de su vía, proponiendo una alternativa que cumple y satisface los requisitos técnicos exigidos por normas y métodos recomendados por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en su versión de 1993 y por la Portland Cement Association (PCA) edición 1984.

El presente trabajo está dividido por 5 capítulos y dos anexos que a continuación se detalla cada una de ellos:

CAPÍTULO I: En este capítulo se describen los aspectos generales del proyecto, el planteamiento del problema, así como los objetivos y su justificación.

CAPÍTULO II: En este capítulo se describe el marco teórico y conceptual, los antecedentes y base teórica que nos ayudó a realiza la presente tesis.

CAPÍTULO III: En este capítulo se presentan los estudios definitivos de ingeniería del proyecto, estudio geotécnico del terreno de fundación, estudio de tránsito donde se realizó un análisis de trafico mediante el aforo del volumen vehicular, se calcula también el número de ejes equivalentes (ESAL), clasificación de las calles urbanas viales, el diseño estructural del pavimento correspondiente: Pavimentos rígidos usando dos metodologías: PCA y AASHTO 1993, la evaluación de métodos, la elección del pavimento, diseño de juntas y refuerzo del pavimento rígido.

CAPÍTULO IV: En este capítulo se presenta el diseño del pavimento rígido por las metodologías PCA-AASHTO 93.

CAPÍTULO V: En este capítulo se presenta la contratación de los objetivos.

CAPITULO VI: En este capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones.

Finalizando en el **ANEXO 1**, el Expediente Técnico correspondiente al presente proyecto; (presupuesto del proyecto, análisis de costos unitarios, metrado del proyecto, especificaciones técnicas, costos indirectos, presupuesto analítico, lista de insumos, cronograma de ejecución de obra, estudios específicos y planos).

CAPÍTULO I

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 GENERALIDADES

Del presente Proyecto de Tesis denominado “ESTUDIO Y DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA AVENIDA PERÚ DEL TRAMO I (JR. MANTARO-JR.FRANCISCO PIZARRO DE LA CIUDAD DE JULIACA – 2014”, tiene por Objetivo incentivar las aplicaciones de nuevos tipos de pavimentos rígidos, que permita un adecuado comportamiento estructural frente a las sollicitaciones externas, (tráfico, resistencia de la sub rasante, resistencia del concreto, periodo de diseño, etc.), son algunos de los factores que inciden en el diseño del pavimento.

Para ello se ha determinado los parámetros de los factores de diseño, para el análisis y diseño de la estructura del pavimento rígido, por los métodos recomendados que son utilizados en el presente proyecto de tesis.

Finalmente se plantea la estructura del pavimento rígido más adecuado de forma esquemática que justifica estas nuevas aplicaciones de pavimentos rígidos reforzado, específicamente en la Av. Perú, de la ciudad de Juliaca, por ende incentivar la utilización en la Región de Puno - Perú.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO

1.2.1 Región de Puno

- **Ubicación geográfica**

La región Puno se encuentra localizado en la sierra del Sur – este Peruano en la Meseta del Collao a: $13^{\circ}66'00''$ y $17^{\circ}17'30''$ de latitud sur y los $71^{\circ}06'57''$ y $68^{\circ}48'46''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Las ciudades, pueblos y comunidades de la región Puno se encuentran entre 3 812 a 5 500 m.s.n.m., en la ceja y selva alta entre

4 200 a 500 m.s.n.m. Cabe mencionar que la ciudad capital de la región está ubicada a orillas del Lago Titicaca, con una Altitud de 3 820 m.s.n.m.

- **Superficie**

La región Puno tiene una superficie territorial de 71 999.001 Km², que significa el 5.6% del territorio nacional, incluye 14.50 Km² de área insular; asimismo la superficie correspondiente al lago Titicaca (*lado peruano*), es de 4 996.28 Km²; dividida políticamente en 13 provincias y 109 distritos. La sierra representa el 76.9% (55 367.23 Km²) del total de la superficie regional y la selva el 23.1% (16 631.77 Km²), que corresponde a la provincia de Sandia principalmente y en menor proporción a la provincia de Carabaya.

1.2.2 Provincia de San Román

- **Ubicación**

Al norte de la región de Puno se ubica la provincia de San Román, Distrito y Ciudad de Juliaca (área urbana), entre las cadenas occidental y oriental de los andes del sur, con una altitud de 3 825 m.s.n.m.; y coordenadas geográficas 15°29'24'' latitud sur y los 70°08'00'' longitud oeste.

- **Limites**

- Norte : Provincia de Lampa, Azángaro
- Sur : Provincia de Puno y Dpto. Arequipa
- Este : Provincia de Azángaro y Huancané
- Oeste : Dpto. de Arequipa y Provincia de Lampa

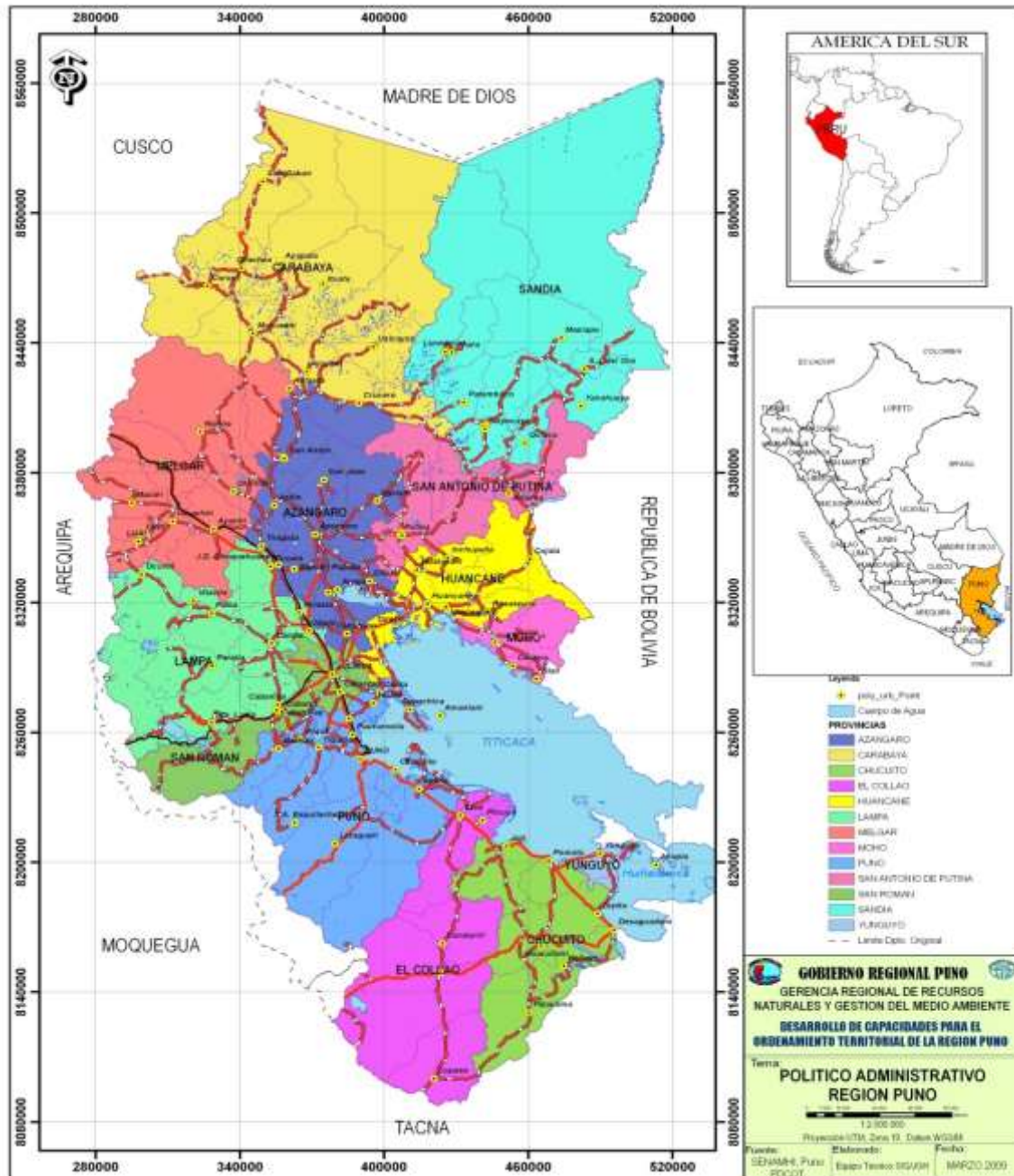


Figura 1: Ubicación de la Región Puno

Fuente: <http://www.regionpuno.gob.pe/imagenes/MAPAS-TEMATICOS> (16/01/2017)

- **Superficie**

La provincia tiene una superficie aproximada de 2 277.63 km², distribuidos entre distritos, comunidades campesinas, centros poblados y parcialidades.

Está conformado por 4 distritos: Juliaca, Caracoto, Cabanillas, Cabana.

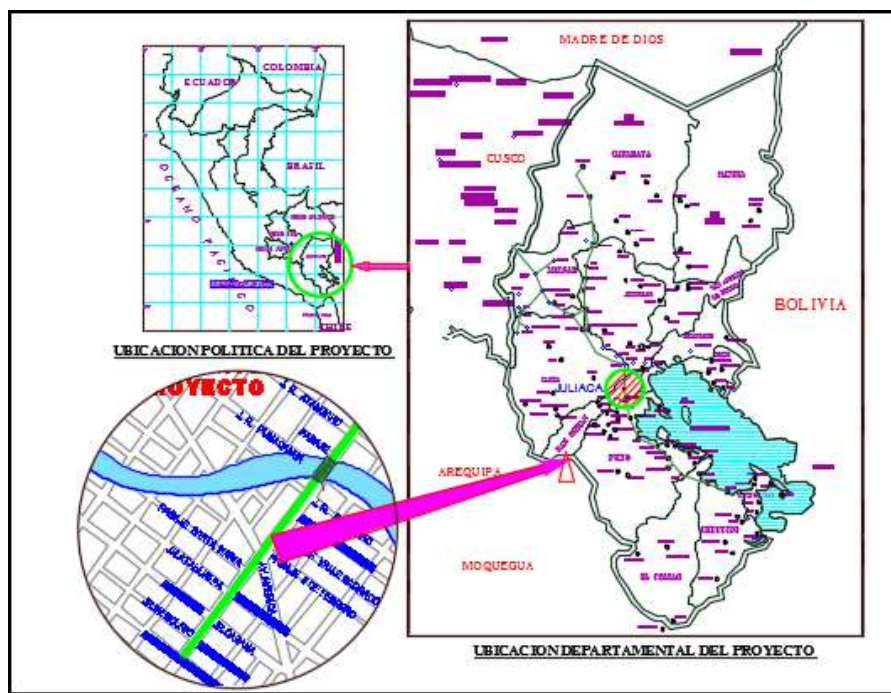


Figura 2: Ubicación específica de la zona del proyecto (Provincia de San Román - Juliaca)

Fuente: Elaboración Propia

1.3 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ZONA DEL PROYECTO

1.3.1 Ubicación del proyecto

La ubicación exacta del proyecto, es la avenida Perú tramo I (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro), que atraviesa las urbanizaciones Villa San Jacinto y Los Rosales, dicha vía está ubicada en la zona Sur Este de la ciudad de Juliaca.

La vía considerada se encuentra dentro de la urbanización Villa San Jacinto con los siguientes linderos:

- Por el Este : Urbanización Sillustani
- Por el Oeste : Urbanización Los Rosales, Porteño
- Por el Norte : Urbanización San Santiago
- Por el Sur : Urbanización 15 de Agosto



Figura 3: Ubicación específica del Proyecto

Fuente: Google Earth (imágenes al 04/01/2017)

1.3.2 Coordenadas de la zona del proyecto

En Proyecto se encuentra ubicado al Sur - Este de la ciudad de Juliaca, en la urbanización San Jacinto y Los Rosales, la figura 3 muestra el punto de inicio A, que es Jr. Mantaro y el punto final B, que es Jr. Francisco Pizarro, y se ubica en las siguientes coordenadas UTM WGS-84 en la zona 19 Hemisferio Sur y coordenadas geográficos, los cuales son:

Tabla 1: Coordenadas de los puntos A, y B inicio y final de la vía

Coordenadas punto A		Coordenadas punto B	
UTM	N: 8287000 E: 379900	UTM	N: 8286200 E: 380200
Geográficos	Latitud: 15°32'18"S Longitud: 70°6'55"O	Geográficos	Latitud: 15°34'25"S Longitud: 70°6'44"O

Fuente: Elaboración propia

1.3.3 Ámbito de influencia del proyecto

El proyecto tiene un ámbito de influencia importante dentro de la ciudad, permitiendo un mayor dinamismo y desarrollo a la ciudad de Juliaca.

Se pueden identificar dos sectores importantes de influencia:

- **Área de influencia directa e inmediata:** Corresponde al lugar del proyecto propiamente dicho, que es la avenida Perú tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro), de la urbanización San Jacinto y Los Rosales.
- **Área de influencia indirecta:** Tomando en cuenta la ubicación del proyecto, el área de influencia indirecta será toda la zona Sur – Este de la ciudad de Juliaca.

1.3.4 Accesibilidad

La avenida Perú, tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) se encuentra ubicado en la zona Sur Este de la ciudad de Juliaca, específicamente a 1 000 metros de distancia desde el Centro Cívico Plaza de Armas, y se puede acceder desde la avenida Circunvalación Sur este con avenida San Martín (Ovalo) hasta llegar al terminal Micaela Bastidas a pie o en vehículo motorizado y no motorizado, asimismo tomando la línea N° 04 , 17 y 21 desde el Mercado Internacional Túpac Amaru.

1.3.5 Pluviografía

La lluvia orográfica es la forma más común de precipitación; el granizo y la nieve le siguen en frecuencia.

La estación más lluviosa es el verano (diciembre a marzo). Por la cantidad de lluvias que recibe, Juliaca está en la región pluviométrica de precipitaciones suficientes.

Las precipitaciones pluviales, generalmente, están acompañadas con fuertes descargas eléctricas, en donde los relámpagos, rayos y truenos, al lado de los vientos, constituyen las tempestades andinas que hacen temblar a los ilusos.

Las lluvias no tienen una periodicidad estable, pues hay años en que estos provocan grandes inundaciones, y otros son de escasa precipitación, lo que ocasiona las sequías.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1 Identificación del problema

La primera imagen que a uno le viene a la mente cuando hace memoria de las vías de Juliaca, son vías en mal estado con baches en muchos casos con desniveles de tierra de difícil acceso, pareciera ser que uno transita por una zona de desastre bélico, el cual ha sido una constante en estos últimos años de proceso que la autoridad local no se ha preocupado por el desarrollo de infraestructura vial dejando en el olvido a la población y a los transportistas que sufren al transitar por estas vías de la ciudad de Juliaca.

Actualmente la avenida Perú entre Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro, se encuentra en inadecuadas condiciones de transitabilidad debido a que no cuenta con pavimento, veredas y obras complementarias, motivo por el cual las familias que viven en los predios colindantes a la avenida y los paralelos se ven afectados por el polvo que se genera en temporada de estiaje y charcos de agua en temporadas de lluvia (Diciembre a Marzo), asimismo los baches y ondulaciones que se presentan en la vía dificulta el desplazamiento normal de los peatones y vehículos ya que la superficie de rodadura de la calzada es de tierra y material de relleno en todo su recorrido.

La población beneficiaria directa e indirecta manifiesta su preocupación constante ante la contaminación del aire por la emisión de partículas de tierra que ha dado lugar incidencia de enfermedades respiratorias en la zona, lo que permite evidenciar la causalidad entre las enfermedades respiratorias y la contaminación en la zona por la existencia de residuos sólidos contaminantes.

En consecuencia se resume que las viviendas que se encuentran en los márgenes izquierdos y derecho de la avenida Perú, sufren daños provenientes del polvo que afecta a las personas y a sus bienes traduciéndose en mayores costos de salud de las personas

como también en el mantenimiento de las viviendas; asimismo se ven afectados las fachadas de las viviendas por el polvo y barro, el piso y las paredes internas por la filtración de aguas.

De igual modo la carencia de pavimento en la calzada, veredas y cunetas laterales trae como consecuencia restricciones de transporte urbano, ya que esta vía es considerada una de las principales vías de acceso a las urbanizaciones aledañas, cumpliendo fundamentalmente dos funciones; la primera es que permite el desarrollo de las actividades económicas, culturales, administrativas, educativas y de salud que se realizan en el cercado de la ciudad de Juliaca, la segunda función es que sirve de acceso para la población que vive en las urbanizaciones aledañas, tales como Los Incas, Ampliación urb. San Santiago, Villa San Jacinto, Anexo Villa San Jacinto, Los Rosales, Sillustani y San Matías, sin embargo las condiciones de transitabilidad vehicular y peatonal son deplorables para las personas que viven en las urbanizaciones mencionada, por la ausencia y desconocimiento de:

- **Ausencia de infraestructura vial**

La carencia de esta vía pavimentada dificulta el tránsito vehicular y peatonal de los habitantes aledaños a la avenida Perú, por la presencia de baches y charcos de agua los vehículos sufren desperfectos en su recorrido lo cual ocasiona gastos de mantenimiento del vehículo.

- **Ausencia de Obras Complementarias (cunetas laterales, señalización vial e instalación de área verde).**

La ausencia de esta vía pavimentada dificulta el tránsito peatonal por la presencia de cúmulos de aguas en los baches así mismo el peatón es propenso a sufrir algún tipo de accidente por no contar con señales de tránsito.

- **Desconocimiento sobre normas de seguridad vial**

La ignorancia de las normas de seguridad puede ocasionar accidente a los habitantes aledaños a la avenida Perú.



Figura 4: Vista Actual de la Vía Progresiva (jr. Mantaro – jr. Francisco Pizarro)
Fuente: Propia

1.4.2 Formulación del problema

Los problemas actualmente existentes en la avenida Perú entre Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro, hace que sea necesario realizar los estudios y diseño de pavimento rígido, veredas y obras complementarias, por lo que las familias que viven en los predios colindantes a la avenida y los paralelos se ven afectados por el polvo que se genera en temporada de estiaje y charcos de agua en temporada de lluvias.

El problema nos lleva a las siguientes preguntas.

- **Problema general**

¿Cuáles son los espesores de pavimento que demanden el menor costo y garanticen el periodo de vida útil de 20 años, en la Av. Perú, Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) de la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román – Puno?

- **Problema específico**

¿Qué variables serán necesarios para el estudio y diseño estructural del pavimento rígido?

¿Cómo se dará solución a las inadecuadas condiciones de accesibilidad y transitabilidad vehicular y peatonal en la Av. Perú, Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro)?

1.5 JUSTIFICACIÓN

A partir del estudio definitivo será posible la ejecución de la construcción de la infraestructura vial necesaria para la zona en estudio que perfeccionará la transitabilidad vehicular y peatonal, ofrecerá un adecuado sistema de evacuación de aguas pluviales, mejorando las condiciones de vida de los habitantes de la zona, así como de los vecinos de la urbanización San Jacinto y Los Rosales y la población en general de la ciudad de Juliaca.

El resultado de la presente investigación tendrá utilidad práctica, ya que a partir de los estudios de ingeniería (estudio de tráfico, estudio topográfico, geotécnico, hidrológico, entre otros), será posible la construcción de la infraestructura vial en base al expediente técnico elaborado con dicho estudio, con el fin de dar la solución al problema existente en la urbanización en mención.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Determinar los espesores del pavimento rígido que demanden el menor costo y garanticen el periodo de vida útil de la Av. Perú, Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) de la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román – Puno.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables que serán necesarios para el estudio y diseño estructural del pavimento rígido.
- Determinar los **estudios definitivos de ingeniería** del proyecto de inversión pública “Mejoramiento del Servicio de la Infraestructura Vial en la Av. Perú, Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) de la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román – Puno.”, para brindar adecuadas condiciones de accesibilidad y transitabilidad vehicular y peatonal.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEORICOS

- Según ZAGACETA GUTIERREZ, Ivan d. & ROMERO ORDOÑEZ, Ramiro (2011), en su tesis denominada: “El pavimento de concreto hidráulico premezclado En la modernización y rehabilitación de la avenida Arboledas-México”, Instituto Politécnico Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, su objetivo fue determinar la incidencia del concreto hidráulico en la modernización y rehabilitación de la avenida arboledas – México, y de la cual llego a la conclusión que el concreto hidráulico tiene una incidencia del 75% en la modernización y rehabilitación de la avenida arboledas – Mexico.
- Según Oscar Eduardo & VALVERDE BALTAZAR , David Osmar (2012), en su tesis denominada: ESTACIÓN CASANOVA , “Aplicación de la tecnología de Pavimento TCP en las calles 56 y 78 de la habilitación urbana paseo del mar nuevo Chimbote – Ancash - Perú”, Universidad Nacional Del Santa-Chimbote, su objetivo fue demostrar que la aplicación de la tecnología de pavimento tipo TCP en las calles 56 y 78 de la habilitación urbana paseo del mar es la más óptima, y de la cual llego a la conclusión que la tecnología de pavimentación TCP en el diseño presente cumple con las características necesarias para la duración y resistencia y cuanto al precio se presenta una reducción en el costo frente al pavimento rígido tradicional del 21.43%, y es la más óptima.
- Según NICANOR CARCAUSTO CUCHO, (2013), en su tesis denominada: “Estudio y Diseño del Pavimento Rígido Urbano Jr. Andahuaylas y Vías

adyacentes de la Ciudad de Juliaca, Universidad Nacional del Altiplano Puno”, su objetivo fue Elaborar el Diseño De La Estructura Del Pavimento Urbano Del Jirón Andahuaylas Y Vías Adyacentes De La Ciudad De Juliaca, como una solución para el desarrollo de la ciudad de Juliaca, llegando a la conclusión que la metodología de diseño de pavimentos flexibles AASTHO 93, es un método que se encuentra vigente según el ítem 4.1.1 Método de diseño de la norma técnica CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS (aprobado por D. S. N_001-2010-VIVIENDA de fecha 14 de enero de 2010). Los espesores hallados mediante esta metodología son: Carpeta asfáltica de 3”, base granular de 0.20m, sub base granular de 0.20m, y subrazante 0.30m haciendo un espesor final de 19”.

- Según HECTOR EDWIN FLORES CALLI,(2014), en su tesis denominado: “Mejoramamiento y rehabilitación del Jr. San Agustín tramo Jr. Mantaro Av. Tacna, de la ciudad de Juliaca Provincia de San Román - Puno”, su objetivo fue Mejorar las condiciones de transitabilidad vehicular, peatonal proponiendo Estudio definitivo del proyecto “Mejoramamiento y Rehabilitación del Jr. San Agustín (tramo: Jr. Mantaro-Av. Tacna)” de la ciudad de Juliaca. Provincia de San Román Puno”, llegando a la conclusión que la zona de estudio presenta un TPDS de 185 Veh/día y un TPDA de 178 Veh/día., el transito principalmente está constituido por Autos y Camionetas así como Camionetas Rurales, y se calculó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Vehículos aprobado por D.S. No 058-2003-MTC, anexo IV Pesos y Medidas. El ESAL de diseño hallado es de 1’013,059.22.

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1 Pavimento rígido

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una sub base. La losa, debido a su rigidez y al módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub base y sub rasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la sub rasante y las capas superiores, como se puede apreciar en la Figura 2.1.

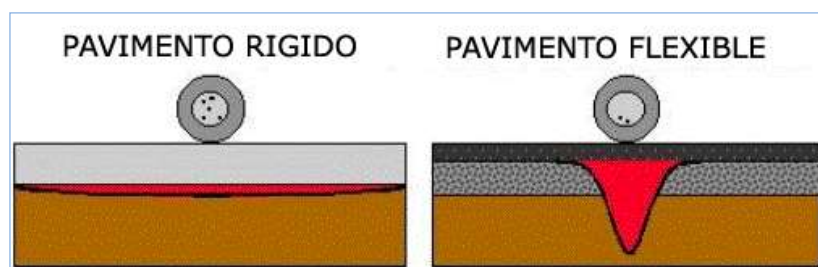


Figura 5: Esquema del comportamiento de pavimentos.

Fuente: <https://ippcons.jimdo.com/sala-universitaria/pavimentos/>

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: la sub rasante, sub base y la superficie de rodadura - losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman la estructura del pavimento rígido. En la Figura 6, Se muestra los tipos de composición de un pavimento rígido convencional de mejor aplicación para la región y como las alternativas de solución del deterioro precipitado del pavimento rígido frente a las solicitaciones externas.

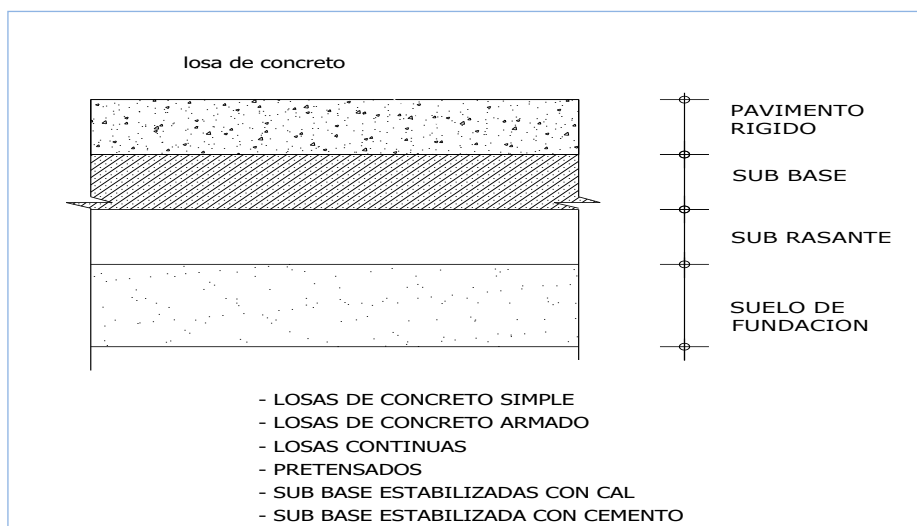


Figura 6: pavimento rígido y opciones de composición estructural.
Fuente: <https://ippcons.jimdo.com/sala-universitaria/pavimentos/>

Además, dentro del mismo contexto para la determinación de una estructura de pavimento, existen algunos aspectos que forman parte del diseño de una estructura de pavimento rígido que en algunos casos no se les presta la debida atención y son obviadas, tales como: la forma de la losa (ancho y largo); los cuales pueden tener una incidencia notable en el adecuado desempeño de la estructura de pavimento rígido frente a las sollicitaciones externas, principalmente del tránsito vehicular pesado.

Sub rasante.

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

Sub base.

La capa de sub base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub rasante y la losa pavimento rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento rígido, de tal manera que la capa de sub rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo. La sub base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el estructura de pavimento rígido. Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua contaminante, el bombeo de granos finos y protegiendo así a la estructura del pavimento rígido, por lo que generalmente se usan materiales granular compactado. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una sub rasante o sub base adecuada, sirviendo como material de transición se produce fallas en la superficie de rodadura.

Superficie de rodadura.

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto, simple o reforzado, por lo que debido a su rigidez y el módulo de elasticidad, asientan la capacidad soporte de tránsito y otros en la losa de concreto, más que en la capacidad de la sub rasante, dado que no se usa capa de base. En general, se puede indicar que el concreto distribuye mejor y de manera uniforme las cargas hacia la sub estructura de pavimento rígido como se muestra anteriormente en la Figura 5.

Concreto:

El concreto es conformado por una mezcla homogénea de cemento portland, agua, agregados finos y gruesos, aditivos y algún tipo de refuerzo (Acero, Varillas de acero de transferencia de cargas y/o Fibras acero o elásticas) si existiera la necesidad.

2.2.2 Tipos de pavimento rígido

Los diferentes tipos de pavimento rígido son determinados según Ing. Alonso Montejo Fonseca.

2.2.2.1 Pavimento rígido de concreto simple

Según *Alonso Montejo, (2006)*, son los pavimentos que se construyen sin acero de refuerzo y preferentemente sin varillas de acero de transferencia de cargas en las juntas. La transferencia de carga en las juntas se obtiene a través del trabazón de los agregados entre las caras de las juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 4.5 m de longitud entre juntas. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto y de la clasificación de calles urbanas, es por ello las juntas no deben estar muy espaciadas con el fin de producir una eficiente transferencia de carga.

En pavimento rígido simple con varillas de transferencia de cargas son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es un dispositivo para transmitir las cargas de una losa a la losa continua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

2.2.2.2 Pavimento rígido reforzado

Los pavimentos reforzados contienen acero de refuerzo y pasadores en juntas de construcción para la transmisión de carga entre las losas. Estos pavimentos se construyen con espaciamientos mayores que los no reforzados; entre las juntas se

desarrollarán una o más grietas transversales que serán unidas por el acero de refuerzo (malla de varillas de acero y/o mallas electro soldadas) proveyéndose una buena transferencia de carga, por ende como objetivo principal de la armadura es mantener las grietas que se pudieran formarse bien unidas, y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural durante todo el periodo de diseño. Los espaciamientos o las longitudes entre juntas son mayores que las de un concreto simple (4.5 m) hasta una longitud de 9.00 m. Se han utilizado mayores espaciamientos con resultados negativos como el daño de las juntas y el desarrollo de grietas intermedias.

2.2.2.3 Los Pavimento rígido con refuerzo continuo

Según *Samuel Mora, (2006)*, Los pavimentos continuamente reforzados se construyen sin juntas de contracción y/o transversales de la losa de concreto por ello pudiendo solo quedar algunas juntas de construcción y aislantes en la zona de alguna obra de arte.

Debido al refuerzo en acero, relativamente pesado y continuo refuerzo en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan grietas transversales en cortos intervalos. En estas grietas se presenta un alto grado de transferencia de carga debido a que están firmemente unidas por el acero de refuerzo (malla de varillas de acero y/o mallas electro soldadas), sin embargo, por la presencia de refuerzo se desarrolla la transferencia de cargas en las caras de las fisuras.

2.3 TOPOGRAFÍA

2.3.1 Aspectos generales

Según *Narvaez, (2005)*, la topografía como ciencia tiene por objeto representar el terreno sobre el papel de la manera más exacta posible, permitiéndonos determinar todo el conjunto de particularidades de la configuración de un terreno.

Cuando hablamos de topografía, nos encontramos ante una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados con la ingeniería en general.

A nadie pasará desapercibido que en casi cualquier tipo proyecto o estudio, será necesario disponer de un modelo, a escala reducida, del terreno sobre el que vamos a plasmar nuestras ideas, es decir, a construir.

Para realizar e iniciar cualquier proyecto de ingeniería es necesario contar con un levantamiento topográfico. Los estudios topográficos constituyen el eje principal en la mayoría de los trabajos de ingeniería.

Este levantamiento nos permitir a definir la ubicación altimétrica del eje de la vía, determinando de esta manera el perfil longitudinal y las secciones transversales debiendo a partir del perfil determinar la rasante final de la pavimentación, así como los volúmenes de cortes y rellenos para el movimiento de tierras; teniendo en cuenta que las rasantes de las vías se trazaron tratando de conservar los niveles de piso terminado de las viviendas, que prácticamente ya están definidos pues gran porcentaje de estas ya están construidas.

2.4 GEOTÉCNIA

2.4.1 Aspectos generales.

El estudio geotécnico en obra viales juega un papel muy importante pues la mayoría de las carreteras, túneles, y demás obras viales utilizan la geología para realizar el estudio de suelos de los terrenos que se utilizarán para dichas obras.

Para el diseño de pavimentos, es fundamental conocer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, que nos permiten entender sus características generales y su comportamiento.

2.4.2 Terreno de fundación

2.4.2.1 Muestreo y exploración de suelos en el terreno de fundación

- La norma técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones, no existe un criterio definido para los estudios de terreno de fundación en el caso de vías carreteras.
- Según *Montejo Fonseca*, (2008), nos muestra una tabla en donde nos brinda un criterio para la ubicación, profundidad y número de las perforaciones, se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2: Criterio para la ejecución del número de perforaciones en el terreno

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

Fuente: Montejo Fonseca, (2008)

- Según *Reglamento Nacional De Edificaciones*, (2010), el número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la siguiente tabla, con un mínimo de tres (03).

Tabla 3: Número de puntos de investigación

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: Reglamento Nacional De Edificaciones, (2010)

2.4.2.2 Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)

- **Referencias normativas**

- ASTM C 702-93
- MTC E 105-2016.

- **Generalidades**

Para poder efectuar los diferentes tipos de ensayos de suelos en laboratorio, se requiere contar con un material representativo de suelo en cantidad suficiente, de manera que puedan satisfacer los requerimientos para cada tipo de ensayos, para lo cual se realiza un procedimiento ya sea mecánico o manual (cuarteo), que consiste en reducir las muestras de suelo a cantidades menores viendo que las mismas sean representativas y lo más homogéneas posible, de manera que al finalizar su proceso quede una muestra tal, que refleje exactamente las características del terreno o cantera. El cuarteo, modo de selección de muestra no proporciona resultados numéricos, sin embargo es un método muy usado para la obtención de muestras representativas, para luego realizar los ensayos en laboratorio que se requieran.

2.4.2.3 Contenido de humedad

- **Referencias normativas**

- ASTM D2216-92
- NTP 339.127

- MTC E 108 – 2016

- **Generalidades**

El contenido de agua o contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material (suelos, roca, madera, etc.), esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El suelo natural está constituido por tres fases:

- **Fase sólida;** conformada por partículas minerales u orgánicas.
- **Fase líquida;** conformada por agua que llena parcial o totalmente los vacíos.
- **Fase gaseosa;** conformada esencialmente por aire.

A partir de estas fases del suelo, es posible determinar fácilmente en laboratorio, el peso de las muestras húmedas y secas al horno, parámetros que nos permitirán establecer algunas relaciones físicas para luego realizar el cálculo del contenido de humedad de una muestra representativa. El contenido de humedad o humedad de una muestra del suelo, es la relación del peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno, representada en porcentaje.

2.4.2.4 Análisis granulométrico por tamizado

- **Referencias normativas**

- ASTM D422
- AASHTO T88
- MTC E 107- 2016

- **Generalidades**

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su

origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

El Análisis Granulométrico es un método común para mostrar gráficamente las características textuales de un suelo es por medio de una curva de distribución del tamaño de partículas. Para determinar el tamaño y distribución de las partículas del suelo, se tienen dos métodos:

- Método Mecánico o Tamizado, para gravar y arenas.
- Método Húmedo o Método del Hidrómetro, utilizado para materiales finos, como linos y arcillas.

Para nuestro caso utilizamos el método mecánico, el cual consiste en separar las partículas por medio de una serie de tamices normados por ASTM D422, AASHTO T88. Este método es muy aconsejable utilizarlo para muestras de suelo como gravas y arenas.

2.4.2.5 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua que contenga. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

2.4.2.6 Límite líquido (L.L.)

- **Referencias normativas**
 - ASTM D423.
 - AASHTO T 89.

- MTC E 110 – 2016.

- **Generalidades**

Este ensayo propuesto por Terzaghi y Casagrande, permite obtener el contenido de agua de una muestra de suelo, expresado en porcentaje con respecto a la muestra seca al horno, cuando este se encuentra en el límite entre los estados plástico y líquido. El contenido de agua existente en este límite, se define como la humedad necesaria para que el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo, se cierre a lo largo de su fondo en una distancia de 1/2”, cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1cm, y a una velocidad de dos golpes por segundo.

2.4.2.7 Límite plástico (L.P.)

- **Referencias normativas**

- ASTM D424.
- AASHTO T 90.
- MTC E 111 – 2016.

- **Generalidades**

El límite líquido, es el contenido de humedad, expresado en porcentaje del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado semisólido del mismo. Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 milímetros de diámetro.

2.4.2.8 Índice de plasticidad (I.P.)

Se denomina Índice de Plasticidad o índice Plástico (I.P.), a la diferencia numérica entre los valores obtenidos de los límites Líquido y Plástico de una muestra de

suelo, e indica la imagen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico.

Tanto como el límite líquido como el límite plástico depende de la actividad y tipo de arcilla en el suelo; sin embargo el índice de plasticidad depende generalmente de la cantidad de arcilla del suelo. El índice Plástico de una muestra de suelo; es el índice de consistencia más importante, dado que su valor permite conocer cuan plástico es un material. La ecuación es la expresión para determinar el Índice de Plasticidad.

$$I.P. = L.L. - L.P. \quad (2.1)$$

Dónde:

- I.P. : Índice de Plasticidad.
- L.L. : Límite Líquido.
- L.P. : Límite Plástico.

Cuando no es posible determinar el límite plástico de un suelo, se dice que el suelo es no plástico (NP); cuando el índice plástico es menor a 7, el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que es mediana-mente plástico, y cuando presenta un índice plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico. Es decir cuan mayor es el índice de plasticidad, mayores son los problemas asociados con el uso del suelo como material de ingeniería.

2.4.2.9 Clasificación de suelos

- **Generalidades**

Dada la gran variedad de suelos que se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación. Cada uno de estos métodos tiene prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que

los haya fundamentado. Así se tiene la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Públicas y Transportes (AASHTO), la clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (CAA), el Sistema Unificado de Clasificaciones de Suelos (SUCS), etc.

La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, posiblemente, al hecho de que tanto el ingeniero, el geólogo y el agrónomo analizan desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo que es necesario fundamentalmente es el hecho de que de cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes debe de estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que éstas son elementales en las variadas aplicaciones de la ingeniería.

Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaños de grano y plasticidad de los suelos, son usados comúnmente por los Ingenieros Civiles y Geotécnicos. Estos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Tabla 4: Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO

Clasificación General	Suelos Granulares (Max. 35% pasa la malla N°200)							Suelos Limo Arcilla (más de 35% pasa la malla N°200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A- 1 -a	A- 1 -b		A - 2 -4	A - 2 -5	A - 2 -6	A - 2 -7				
Pasa la Malla N°10 N°40 N°200	Máx.50 Máx.30 Máx.10	Máx.50 Máx.25	Min.31 Máx. 10	Máx.35	Máx.35	Máx.35	Máx.35	Min.36	Min.36	Min.36	Min.36
Fracción bajo la malla N°40 Límite Líquido Índice de Plasticidad	Máx.6	Máx.6	N.P.	Máx.40 Máx.10	Min.41 Máx.10	Máx.40 Min. II	Min.41 Min. II	Máx.40 Máx.10	Min.41 Máx.10	Máx.40 Min. II	Min.41 Min. II
Índice de Grupo I.G.	0	0	0	0	0	Máx.4	Máx.4	Máx.8	Máx.12	Máx.16	Máx.20

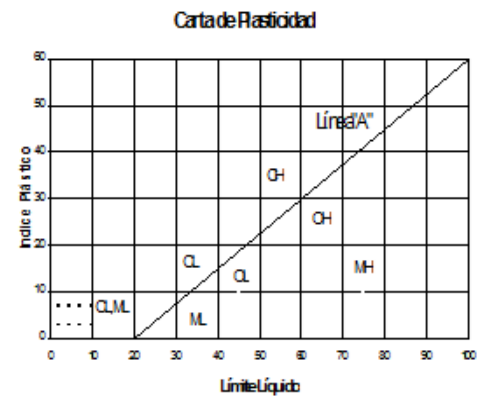
Principales Materiales constituyentes	Gravas y Arenas	Arenas Finas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas	Suelos Limosos	Suelos Arcillosos
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno	Excelente a Bueno	Regular a Malo	

Fuente: Montejo Fonseca, (2008, p. 46)

Tabla 5: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

DIVISION MAYOR		GRUPO SIMBOLICO	DESCRIPCION	CRITERIO DE CLASIFICACION DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	Mas de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	GRAVAS	GW	Grava bien graduada o mezcla de arena y grava. Poca o ninguna fina	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 No cumple con todos los requerimientos de gradación GW Límite de Atterberg por debajo de la línea 'A' o menor que 4 Límite de Atterberg por encima de la línea 'A' o mayor que 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3 No cumple con todos los requisitos de gradación para SW Límite de Atterberg por debajo de la línea 'A' o menor que 4 Límite de Atterberg por encima de la línea 'A' o mayor que 7
			GM	Grava con finas, grava bien graduada y limas. Mezcla grava arena y arcilla	
		GC	Mezcla bien graduada de grava, arena y arcilla. Bosente aglutinante		
		ARENAS	SW	Arena bien graduada y arena gravilosa. Poca o ninguna fina	
			SP	Arena no graduada. Arena gravilosa. Poca o ninguna fina	
		ARENAS CON FINOS	SM	Arena con finas. Arena muy limosa. Mal graduada mezcla arena y arcilla	
	SC		Mezcla bien graduada de arena y arcilla. Bosente aglutinante		
	SUELO DE GRANO FINO	Mas de la mitad del material es mayor que el tamiz N° 200	LIMO Y ARCILLA	M	Limas inorgánicas y arena muy fina. Poca roca. Arena fina con ligeros pastos
				CL	Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad. Arcilla arenosa. Arcilla gravilosa. Arcilla limosa. Arcilla fofo.
				CH	Limas orgánicas. Limas arcilla orgánica de baja plasticidad
			LIMO Y ARCILLA	MH	Limas inorgánicas, arena fina inorgánica o diatomácea o suelo limoso, subcelástico.
				OH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcilla grasosa
OH				Arcilla orgánica de medio a alta plasticidad	
Sección altamente orgánica		OL	Turba (peat) y otros materiales altamente orgánicos		

Fuente: Bowles, (1980, p. 73)



2.4.2.9.1 Próctor modificado

- **Referencias normativas**

- ASSHTO T 180.
- ASTM D1557 - 91.
- MTC E115 – 2016.

- **Generalidades**

Se denomina compactación de un suelo, al proceso mecánico por el cual mediante una determinada energía de compactación se puede lograr reducir los vacíos que existen entre las partículas de un suelo. Su importancia busca mejorar las características de resistencia, esfuerzo – deformación y disminuir la capacidad de deformación y permeabilidad, características que debe mantener durante toda la vida útil de la obra.

Existen tres alternativas de ensayos en función al molde y número de golpes, y solo se procede a realizar alguno de ellos, siempre y cuando se cumpla en el ensayo granulométrico de una muestra que, el 30% en peso sea retenido en la malla de 3/4".

Se procede a calcular la densidad seca de cada uno de los especímenes, con la siguiente ecuación.

$$D_S = \frac{D_h}{\left(1 + \frac{w}{100}\right)} \quad (2.2)$$

Donde:

- W: Contenido de humedad de la muestra.
- Ds: Densidad seca.
- Dh: Densidad húmeda de la muestra, se calcula con la ecuación anterior.

$$D_h = \frac{P_1 - p_2}{V} \quad (2.3)$$

Donde:

- P1: Peso de la muestra húmeda más molde.
- P2: Peso del molde.
- V: Volumen del molde.

2.4.2.10 Valor Relativo de soporte (CBR)

Los ensayos más difundidos en nuestro medio, por ende de la región, es el ensayo es el CBR (Valor Relativo de Soporte). El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a una profundidad de penetración, expresada en porciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo

- **Referencias**

- AASHTO T193 – 63.
- ASTM D1883.
- MTC E132 – 2016.

- **Generalidades**

En pavimentos no basta con especificar el grado de compactación de un suelo. Dos suelos diferentes alcanzarán no solo densidades secas y humedades óptimas diferentes en el ensayo de compactación, sino que el material al estar constituido por partículas diferentes, tendrá un comportamiento en términos de ingeniería diferente. Por ello, se hace necesario un parámetro adicional que considere la capacidad de soporte del suelo en sí mismo para esas condiciones de compactación.

El valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración un una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes.

Tabla 6: Características de la Muestra Patrón

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	Mn/m ²	Kgf/cm ²	Lb/plg ²
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016, p. 256)

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

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100 \quad (2.4)$$

2.4.3 Estudios y evaluación de canteras

2.4.3.1 Generalidades

Se llama cantera a la fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarios para la construcción de una obra.

Localizar una cantera es más que descubrir un lugar donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos para emplearse en una determinada obra, satisfaciendo ciertas especificaciones de calidad y de volumen. Ese concepto implica además, tener en cuenta ciertos aspectos colaterales como su permanencia en el tiempo, su situación legal, entre otros.

En resumen, podemos decir que una cantera es mejor:

- Por su calidad.
- Por su potencia y rendimiento.
- Por su accesibilidad y estado de las vías de acceso.
- Por su situación legal.

La calidad de una cantera está dada por el grado de cumplimiento de las especificaciones del material que se busca; y se deduce de los ensayos de laboratorio que se practiquen sobre las muestras tomadas durante la etapa exploratoria.

2.4.3.2 Evaluación de canteras

Una cantera pueda ser catalogada como tal deberá presentar las siguientes características:

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

2.5 INGENIERIA DE TRANSITO

Siendo una de las principales funciones de la estructura del pavimento que es resguardar la sub rasante frente a las cargas impuestas por el tránsito vehicular y por lo que debe de ser diseñado para que soporte a las necesidades del tránsito durante un periodo al que fue diseñado, por lo tanto se debe de predecir su crecimiento para determinar la incidencia sobre la estructura del pavimento.

Para lo cual se determina y/o realiza estudios de volúmenes de tráfico vehicular existente de la vía, es de importancia la identificación de tipo de vehículos que circulan por un determinado punto de la vía mediante la cuantificación de estos (aforamiento vehicular), determinar la metodología para calcular el número probable de aplicaciones de los parámetros patrones que se utilizara sobre el pavimento durante su vida útil.

2.5.1 Volumen de transito

El volumen de transito se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto o carril en un determinado tiempo, sus unidades son vehículos/hora, vehículos/día, etc.

Los estudios de volúmenes de transito son para obtener información sobre el movimiento vehicular en unos determinados puntos, de preferencia los más críticos de la vía.

Clasificación de Vehículos: comúnmente la clasificación de vehículos son por el tipo de vehículos con las siguientes terminologías.

A = Vehículos Livianos.

B = Buses.

C = Camiones.

De la clasificación mencionada se considera en los vehículos livianos; automóviles, camionetas, micros, combis, pick – up, etc. De los Buses como se denomina están los Buses, Bus Metropolitano. Por últimos se tiene Camiones que considera; camiones de dos o tres ejes luego los tractor remolque o semirremolque.

Los vehículos livianos especificados anteriormente no son considerados para el Diseños Estructural del Pavimento Rígido por los Métodos (PCA y AASHTO 93), por que causan un efecto mínimos sobre el pavimento proyectado

2.5.2 Tipos de ejes

- Ejes Sencillo; Es un eje con una o dos ruedas en sus extremos.

- Ejes Tándem; Son constituidos dos ejes sencillos con ruedas dobles en sus extremos.
- Ejes Tridem; Son constituidos tres ejes sencillos con ruedas dobles en sus extremos.

2.5.3 Volúmenes de tránsito promedio diario

Se define con el Número total de vehículos que pasa durante un periodo de tiempo (en este caso días completos), del cual se presentan los siguientes tránsitos promedios diarios, dados en vehículos por día;

- Transito Promedio Diario Anual (TPDA): $TPDA=TA/365$
- Transito Promedio Diario Mensual (TPDM): $TPDM=TM/30$.
- Transito Promedio Diario Semanal (TPDS): $TPDS=TS/7$.

Determinación del Tránsito Existente: Lo más convenientes es determinar mediante la información necesaria, es el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) que implica que se realice un conteo vehicular durante todo el año por un punto de referencia establecido (aforo vehicular).

De la información de TPDA, en nuestro medio es difícil de obtener esta información de forma directa por lo que existen métodos de cálculos de TPDA de forma indirecta mediante métodos estadísticos proyectados de las informaciones diarias, semanales y/o mensuales.

2.5.4 Periodo de diseño

El periodo de diseño es la vida teórica del pavimento (periodo de análisis del tráfico) antes que requiera una rehabilitación mayor o una reconstrucción del pavimento. No representa necesariamente la vida real del pavimento, dado que es difícil predecir con suficiente aproximación, comúnmente el periodo de diseño se representa en años.

2.5.5 Carril de diseño

Generalmente para vías y/o carreteras con dos carriles el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, para vías y/o carreteras con múltiples carriles generalmente es el de los extremos, que son representados por una proporción de porcentaje para el carril de diseño.

2.5.6 Clasificación de las calles urbanas

La clasificación de calles urbanas validos en la región, está dado según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica – CE, 010.

- **Residencial ligera**

En la metodología original, Estas calles no son largas y se encuentran en áreas residenciales. Ellas pueden ser calles sin retorno o con retorno. Sirven para tráficos de aproximadamente 20 o 30 lotes o casas. Los volúmenes de tráfico son bajos, menores de 200 vehículos por día (VPD), con tráfico diario promedio de camiones (ADTT por sus siglas en ingles) de 2 a 4 (en dos direcciones, excluyendo camiones de dos ejes y cuatro llantas). Las cargas máximas para estas calles son ejes simples de 80 kN y ejes tándem de 160 kN. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Locales.

- **Residenciales**

Estas calles soportan tráficos similares a las residenciales ligeras, mas algún camión pesado ocasional. Estas calles soportan tráficos que sirven hasta 300 casas, así como para recolectar todo el trafico residencial ligero dentro del área y distribuirlo en el sistema principal de calles. Los volúmenes de trafico van de 200 a 1000 VPD, con aproximadamente 10 a 50 ADTT. Las cargas máximas para estas calles son de 98 kN para ejes simples y 160 kN para ejes tándem. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Locales.

- **Colectoras**

Estas calles recolectan el tráfico de diferentes Vías Locales y pueden tener varios kilómetros de largo. Pueden servir como rutas de buses y para el movimiento de camiones. Los volúmenes de tráfico varían de 1000 a 8000 VPD, con aproximadamente 50 a 500 ADTT. Las cargas máximas para estas calles son 116 kN para ejes simples y 196 kN para ejes tándem. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Colectoras.

- **Comerciales**

Las calles comerciales proporcionan acceso a tiendas y al mismo tiempo sirven al tráfico en la zona comercial. Las calles comerciales están frecuentemente congestionadas y las velocidades son bajas debido a los elevados volúmenes de tráfico, pero con un bajo porcentaje de ADTT. Los volúmenes de tráfico promedio varían de 11 000 a 17 000 VPD, con aproximadamente 400 a 700 ADTT, con cargas máximas similares a las de las calles colectoras. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Expresas.

- **Industriales**

Las calles industriales proporcionan acceso a áreas o parques industriales. Los volúmenes totales de VPD pueden ser bajos, pero el porcentaje de ADTT es alto. Los valores típicos de VPD están alrededor de 2000 a 4000, con un promedio de 300 a 800 ADTT. Los volúmenes de camiones no son muy diferentes que los de la clase comercial, sin embargo, las máximas cargas por eje son más pesadas, de 133 kN para ejes simples, y 231 kN para ejes tándem. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Colectoras.

- **Arteriales**

Las arteriales llevar tráfico hacia y desde vías expresas y sirven para los movimientos principales dentro y a través de áreas metropolitanas no atendidas por las vías expresas. Las rutas de buses y camiones son usualmente por arteriales. Para propósitos de diseño, se dividen en arteriales mayores y menores, dependiendo del tipo y capacidad del tráfico. Las arteriales menores soportan alrededor de 4000 a 15 000 VPD, con 300 a 600 ADTT. Las arteriales mayores soportan alrededor de 4000 a 30 000 VPD, con 700 a 1500 ADTT y usualmente están sometidas a cargas de camiones más pesados. Las cargas máximas para las arteriales menores son de 116 kN para ejes simples y 196 kN para ejes tándem. Las arteriales mayores soportan cargas máximas de 133 kN para ejes simples y 231 kN para ejes tándem. Para los fines de esta Norma se considera dentro de esta clasificación a las Vías Arteriales.

2.5.7 Metodo Portland Cement Association (PCA)

El pronóstico de este método de diseño de estructura de pavimento propuesto por Portland Cement Association (PCA), es hallar los espesores mínimos del pavimento respecto a la losa de concreto específicamente con consideraciones de dos criterios como son por Fatiga y Erosión, la primera por los esfuerzos producidos por la acción repetitiva de las cargas y la segunda para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes, juntas y esquinas, y controlar así la erosión.

Determinados los factores de diseños tomados en cuenta por este método para el cálculo espesores de pavimento, como es el estudio de tránsito, estudio geotécnico del terreno son algunos de los factores de diseño que considera, del análisis que viera realizarse es asumiendo valores de espesores de losa de concreto razonablemente y determinar un favorable espesor por los criterios de fatiga y erosión.

2.5.7.1 Factores de diseño estructural de pavimento rígido por el método de la PCA

Según el *Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006)*, Los factores que se deberán tomar en cuenta para el diseño de pavimentos urbanos de concreto sobre las consideraciones del RNE, esto en referencia y basada en las publicaciones de la PCA (Portland Cement Association).

- Resistencia del concreto a la Flexión (Modulo de Rotura, MR)
- Resistencia de la Sub-rasante o del conjunto de Sub Rasante Sub base (Modulo de Reacción de la Sub Rasante, “K”)
- Clasificación de las Calles Urbanas y determinar la categoría de vías.
- Estudio de Transito, Tráfico Diario Promedio y distribuciones de Cargas
- Periodo de Diseño, usualmente considerado como 20 años, pudiendo ser mayor.

Este método se ha formulado para determinar el espesor apropiado de losas de concreto ya sean simples o reforzadas, las cuales soportarán los diferentes esfuerzos producidos principalmente bajo las cargas de tránsito en calles, carreteras y autopistas.

El propósito de diseño es el mismo que para todas las obras de ingeniería, es decir, obtener la solución apropiada y menos costosa considerando el ciclo de vida del proyecto. El criterio de diseño está basado en el comportamiento observado en los pavimentos y dos criterios para diseño de pavimento. El primero es un criterio de erosión, para limitar los efectos de las deflexiones de los pavimentos producidos en los bordes, esquinas y juntas, de donde los pavimentos con altos volúmenes de tráfico muestran fallas por bombeo y erosión de la sub rasante o de la sub base, debiendo ser controladas. El segundo criterio es el criterio de fatiga para mantener protegida contra la acción de los esfuerzos produciendo bajo la repetida de las cargas que producen esfuerzos de pandeo en el pavimento, resultando eventualmente en el agrietamiento por

fatiga. Este último criterio, es el que controla el diseño de pavimentos en esta metodología.

- **Resistencia del concreto a la flexión (Modulo de Rotura, MR)**

Según *Luis Ricardo Vazquez, (2002)*, Los pavimentos de concreto se pandean bajo las cargas repetidas por eje, produciendo esfuerzos de compresión como de tensión. Sin embargo, la relación entre el esfuerzo de compresión a la resistencia a la compresión del concreto es relativamente pequeña, como para afectar al diseño de la losa de concreto, comparada con la relación del esfuerzo de tensión a la resistencia a la tensión del concreto que suelen ser mayores, en consecuencia de ello los esfuerzos y la resistencia a la flexión, son factores que se consideran y controlan el diseño de los pavimentos.

La resistencia a flexión, es una medida de la resistencia a la tracción del concreto, se determina mediante el ensayo del módulo de rotura (MR), usualmente hecho sobre una viga de 150 mm x 150 mm x 500 mm (carga en los tercios del ASTM C78). La resistencia a los 28 días.

- **Resistencia de la sub rasante o del conjunto de Sub rasante sub base (Modulo K)**

Según el *Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006)*, El grado de soporte de la sub-rasante o sub-base es el segundo factor de diseño del pavimento, se define en términos del modulo de reacción de la sub rasante y de la sub base (k), formulado por Weestergaard. Este se determina por la carga en Newton por metro cuadrado sobre un plato de 760 mm de diámetro, dividida entre la deflexión en milímetros que produce esa carga. El valor de k se expresa en Mega Pascal por metro (MPa/m), en libras por pulgada cuadrada por pulgada, o libras por pulgada cúbica (pci).

2.5.7.2 Estudio de tránsito, tráfico diario promedio y distribuciones de cargas

Uno de los principales factores en el diseño del pavimento es el número y peso de los ejes de los camiones que se espera circulen durante el periodo de diseño. Estos se derivan de estudios, como de:

- TPD, tránsito promedio diario en ambas direcciones para todos los tipos de vehículo (ADT “Average Daily Traffic”).
- TPDC, tránsito promedio diario de camiones en ambas direcciones (ADTT “Average Daily Truck Traffic”). Esta variable puede expresarse como un porcentaje del tránsito promedio diario o como una cantidad. Incluye los camiones de seis ruedas o más, lo cual descarta las camionetas y otros vehículos de cuatro llantas.
- Peso de los ejes de los Camiones.

Para la obtención de esta información requiere el desarrollo de estudios especiales (aforamiento de vehicular en el punto de diseño).

La información referente al tráfico es empleada para determinar el número de repeticiones esperadas de cada tipo de eje durante todo el periodo de diseño. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo son el tránsito promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño.

Las cargas por ejes de camiones, se realiza un estudio detallado de pesaje de vehículos de conteo en una estación de pesaje, se utiliza una carga máxima por eje tanto para ejes simples, tándem y tridem. Mediante la cual las cargas se acostumbra a agruparlas, se distribuyen en el método original según el tipo de clasificación de carreteras y/o categoría de las vías según el eje de carga.

Dado que el valor ADTT representa el tráfico diario promedio de camiones, en toda la vida del pavimento.

2.5.7.3 Periodo de diseño

El periodo de diseño es la vida teórica del pavimento (periodo de análisis del tráfico) antes que requiera una rehabilitación mayor o una reconstrucción del pavimento. No representa necesariamente la vida real del pavimento, dado que es difícil predecir con suficiente aproximación, la cual puede ser de lejos mayor que la de diseño o más corta debido a incrementos no previstos en el tráfico.

2.5.7.4 Factor de seguridad para las cargas

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (FSC), la PCA recomienda los siguientes:

- Para vías Arteriales y otros proyectos multicarril, donde se espera un flujo de tránsito ininterrumpido, con un alto volumen de tránsito pesado, utilizar un FSC de 1.2.
- Para autopistas y arterias principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, utilizar un FSC de 1.1.
- Para caminos, calles residenciales, y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado, utilizar un FSC de 1.0.

2.5.7.5 Esfuerzo equivalente (carga equivalente) y factor de erosión

Del criterio se tiene que solo un pequeño porcentaje camiones circula cerca al borde del carril externo de la vía, generalmente las llantas pasaran a una distancia considerable del borde del carril, de acuerdo al Método del PCA, a medida que se alejen la carga del borde de la vía, los esfuerzos se reducen considerablemente, se incrementa la frecuencia de las pasadas permisibles, y disminuye los esfuerzos y deflexiones del pavimento. El análisis por fatiga se considera los esfuerzos para posiciones incrementales de carga

hacia el interior de la losa de concreto. Mediante esta variación de posiciones se determina el factor de esfuerzo equivalente.

Los cálculos de los Esfuerzos de Equivalencia son según las condiciones y características que se proponen a la estructura del pavimento, como por ejemplo estructuras con o sin bermas de concreto laterales y con o sin sistemas de transferencia de cargas en las juntas, para su determinación del valor de Esfuerzo Equivalente.

Tabla 7: Esfuerzo equivalentes (kg/cm²) sin bermas de concreto.

Espesor Losa [cm]	K - Módulo de reacción de la subrasante [kg/cm ²]													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem
12	43,0	35,6	37,8	30,1	35,1	28,1	33,1	26,8	31,7	25,7	29,1	24,3	27,4	23,5
13	38,4	32,3	33,8	27,3	31,4	25,3	29,7	24,0	28,4	23,0	26,1	21,6	24,6	20,8
14	34,6	29,6	30,5	24,9	28,3	22,9	26,8	21,6	25,6	20,8	23,7	19,4	22,3	18,5
15	31,4	27,2	27,7	22,9	25,7	20,9	24,4	19,7	23,3	18,8	21,6	17,5	20,4	16,7
16	28,7	25,2	25,3	21,2	23,5	19,3	22,3	18,1	21,3	17,3	19,7	16,0	18,7	15,2
17	26,3	23,5	23,3	19,7	21,6	17,9	20,5	16,7	19,6	16,0	18,1	14,7	17,2	13,9
18	24,3	22,0	21,5	18,4	19,9	16,6	18,9	15,5	18,1	14,8	16,8	13,6	15,9	12,8
19	22,5	20,7	19,9	17,2	18,5	15,6	17,5	14,5	16,8	13,8	15,6	12,6	14,8	11,9
20	21,0	19,5	18,5	16,2	17,2	14,6	16,4	13,6	15,6	12,9	14,5	11,8	13,8	11,1
21	19,6	18,5	17,3	15,3	16,1	13,8	15,2	12,9	14,6	12,2	13,6	11,1	12,8	10,4
22	18,3	17,5	16,2	14,5	15,0	13,1	14,2	12,2	13,7	11,5	12,8	10,5	12,0	9,8
23	17,2	16,7	15,2	13,8	14,1	12,4	13,3	11,5	12,8	10,9	12,0	9,9	11,3	9,2
24	16,2	15,9	14,3	13,1	13,3	11,8	12,5	11,0	12,1	10,4	11,3	9,4	10,7	8,8
25	15,3	15,2	13,5	12,5	12,6	11,2	11,9	10,5	11,4	9,9	10,7	8,9	10,1	8,3
26	14,5	14,5	12,8	12,0	11,9	10,7	11,3	10,0	10,8	9,4	10,1	8,5	9,5	8,0
27	13,8	13,9	12,1	11,5	11,3	10,3	10,7	9,5	10,3	9,0	9,5	8,1	9,0	7,6
28	13,1	13,4	11,5	11,0	10,7	9,9	10,2	9,1	9,8	8,6	9,0	7,8	8,6	7,3
29	12,5	12,9	11,0	10,6	10,2	9,5	9,7	8,8	9,3	8,3	8,6	7,5	8,2	6,9
30	11,9	12,4	10,5	10,2	9,7	9,1	9,2	8,5	8,9	8,0	8,2	7,2	7,8	6,6
31	11,3	12,0	10,0	9,9	9,3	8,8	8,8	8,1	8,4	7,7	7,8	6,9	7,4	6,4
32	10,9	11,6	9,6	9,5	8,9	8,5	8,4	7,8	8,0	7,4	7,5	6,7	7,1	6,2
33	10,4	11,2	9,2	9,2	8,5	8,2	8,0	7,6	7,7	7,1	7,2	6,4	6,8	6,0
34	10,0	10,8	8,8	8,9	8,1	7,9	7,7	7,3	7,3	6,9	6,9	6,2	6,6	5,8

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

Se considera como bermas de concreto también a elementos de concreto en los bordes de pavimento (calzada), como elementos de cunetas laterales de concreto que cumple de alguna manera la función de bermas para el diseño de pavimentos.

Tabla 8: factor de erosión, juntas con pasa juntas, sin bermas de concreto.

Espesor Losa [cm]	K - Módulo de reacción sub-rasante [kg/cm ²]													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem
12	33,6	28,2	29,5	24,6	27,4	23,1	26,0	22,2	24,9	21,6	23,1	20,8	21,9	20,4
13	30,2	25,6	26,6	22,2	24,7	20,8	23,4	19,9	22,5	19,4	20,9	18,6	19,9	18,1
14	27,4	23,4	24,1	20,2	22,4	18,9	21,3	18,0	20,5	17,5	19,1	16,7	18,2	16,2
15	25,0	21,5	22,0	18,5	20,5	17,2	19,5	16,4	18,8	15,9	17,5	15,1	16,7	14,6
16	22,9	19,9	20,1	17,1	18,8	15,8	18,0	15,1	17,3	14,6	16,1	13,8	15,5	13,3
17	21,1	18,5	18,6	15,8	17,4	14,6	16,6	13,9	16,0	13,4	14,9	12,6	14,3	12,1
18	16,9	17,2	17,3	14,7	16,1	13,5	15,4	12,9	14,8	12,4	13,9	11,6	13,3	11,2
19	18,2	16,2	16,1	13,8	15,0	12,7	14,3	12,0	13,8	11,6	12,9	10,8	12,4	10,4
20	17,0	15,2	15,0	12,9	14,0	11,9	13,4	11,3	12,9	10,8	12,1	10,1	11,6	9,7
21	15,9	14,4	14,0	12,2	13,1	11,2	12,6	10,6	12,1	10,2	11,3	9,5	10,9	9,1
22	14,9	13,6	13,2	11,5	12,3	10,6	11,8	10,0	11,4	9,6	10,7	8,9	10,2	8,6
23	14,0	12,9	12,4	10,9	11,6	10,0	11,1	9,5	10,7	9,1	10,1	8,4	9,7	8,1
24	13,2	12,3	11,7	10,4	11,0	9,5	10,5	9,0	10,1	8,6	9,5	8,0	9,1	7,6
25	12,5	11,8	11,1	9,9	10,4	9,1	9,9	8,5	9,6	8,2	9,0	7,6	8,7	7,3
26	11,9	11,2	10,5	9,5	9,8	8,7	9,4	8,1	9,1	7,8	8,6	7,2	8,2	6,9
27	11,3	10,8	10,0	9,1	9,3	8,3	8,9	7,8	8,6	7,4	8,1	6,9	7,8	6,6
28	10,7	10,3	9,5	8,7	8,9	7,9	8,5	7,4	8,2	7,1	7,8	6,6	7,5	6,3
29	10,2	9,9	9,1	8,4	8,5	7,6	8,1	7,1	7,8	6,8	7,4	6,3	7,1	6,0
30	9,8	9,5	8,7	8,1	8,1	7,3	7,7	6,9	7,5	6,6	7,1	6,1	6,8	5,8
31	9,3	9,2	8,3	7,8	7,7	7,1	7,4	6,6	7,2	6,3	6,8	5,8	6,5	5,5
32	9,0	8,9	7,9	7,5	7,4	6,8	7,1	6,4	6,9	6,1	6,5	5,6	6,2	5,3
33	8,6	8,6	7,6	7,2	7,1	6,6	6,8	6,1	6,6	5,9	6,2	5,4	6,0	5,1
34	8,3	8,3	7,3	7,0	6,9	6,3	6,6	5,9	6,3	5,7	6,0	5,2	5,7	4,9

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

Tabla 9: factor de erosión, juntas con pasa juntas, con bermas de concreto.

Espesor Losa [cm]	K - Módulo de reacción sub-rasante [kg/cm ²]													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem
12	3,07	3,09	3,02	2,99	3,00	2,93	2,97	2,90	2,96	2,88	2,94	2,84	2,92	2,83
13	2,97	3,02	2,92	2,92	2,90	2,86	2,87	2,83	2,86	2,80	2,84	2,76	2,82	2,74
14	2,88	2,96	2,83	2,85	2,81	2,79	2,78	2,76	2,77	2,73	2,75	2,68	2,73	2,66
15	2,80	2,86	2,75	2,79	2,73	2,72	2,70	2,69	2,69	2,66	2,67	2,61	2,65	2,59
16	2,72	2,84	2,67	2,73	2,65	2,66	2,62	2,63	2,61	2,60	2,59	2,55	2,57	2,52
17	2,64	2,78	2,60	2,68	2,58	2,60	2,55	2,57	2,54	2,54	2,52	2,48	2,49	2,45
18	2,57	2,73	2,53	2,62	2,51	2,55	2,48	2,51	2,47	2,48	2,45	2,42	2,42	2,39
19	2,51	2,69	2,47	2,57	2,44	2,50	2,41	2,46	2,40	2,43	2,38	2,37	2,36	2,33
20	2,44	2,64	2,41	2,53	2,38	2,45	2,35	2,41	2,34	2,38	2,32	2,31	2,29	2,28
21	2,38	2,60	2,35	2,48	2,32	2,40	2,29	2,36	2,28	2,33	2,26	2,26	2,23	2,22
22	2,33	2,56	2,30	2,44	2,27	2,36	2,24	2,32	2,23	2,29	2,21	2,21	2,18	2,17
23	2,27	2,52	2,24	2,40	2,21	2,31	2,18	2,27	2,17	2,24	2,15	2,17	2,12	2,12
24	2,23	2,48	2,19	2,36	2,16	2,28	2,13	2,24	2,12	2,20	2,10	2,13	2,07	2,08
25	2,18	2,43	2,14	2,33	2,11	2,24	2,09	2,20	2,08	2,17	2,05	2,09	2,02	2,03
26	2,14	2,39	2,09	2,29	2,06	2,21	2,04	2,17	2,03	2,13	2,01	2,06	1,97	1,99
27	2,10	2,35	2,05	2,26	2,02	2,17	2,00	2,13	1,99	2,10	1,96	2,03	1,93	1,95
28	2,06	2,32	2,01	2,23	1,98	2,14	1,95	2,10	1,94	2,07	1,92	1,99	1,89	1,91
29	2,03	2,28	1,97	2,19	1,94	2,11	1,91	2,07	1,90	2,04	1,88	1,96	1,85	1,87
30	1,99	2,25	1,93	2,16	1,90	2,08	1,87	2,04	1,86	2,01	1,83	1,93	1,81	1,83
31	1,96	2,21	1,89	2,13	1,86	2,05	1,83	2,01	1,82	1,98	1,80	1,90	1,77	1,80
32	1,92	2,18	1,86	2,11	1,83	2,03	1,80	1,99	1,79	1,95	1,76	1,87	1,74	1,76
33	1,89	2,15	1,82	2,08	1,79	2,00	1,76	1,96	1,75	1,92	1,72	1,85	1,70	1,73
34	1,86	2,12	1,79	2,05	1,76	1,97	1,73	1,93	1,72	1,90	1,69	1,82	1,67	1,70

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

Tabla 10: factor de erosión, juntas sin pasa juntas, con bermas de concreto.

Espesor Losa [cm]	K - Módulo de reacción sub-rasante [kg/cm ²]													
	2		4		6		8		10		15		20+	
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem
12	3,25	3,29	3,20	3,19	3,18	3,13	3,17	3,11	3,16	3,09	3,13	3,04	3,11	3,03
13	3,16	3,23	3,11	3,12	3,09	3,06	3,08	3,04	3,06	3,02	3,03	2,97	3,01	2,95
14	3,08	3,17	3,03	3,06	3,00	2,99	2,99	2,97	2,98	2,95	2,95	2,90	2,93	2,87
15	3,00	3,11	2,95	3,00	2,92	2,93	2,91	2,91	2,90	2,88	2,87	2,83	2,85	2,80
16	2,93	3,06	2,88	2,94	2,85	2,88	2,84	2,85	2,82	2,82	2,79	2,77	2,77	2,74
17	2,87	3,01	2,81	2,89	2,78	2,82	2,77	2,79	2,75	2,77	2,72	2,71	2,70	2,68
18	2,80	2,97	2,74	2,84	2,71	2,77	2,70	2,74	2,69	2,71	2,66	2,65	2,64	2,62
19	2,74	2,92	2,68	2,80	2,65	2,72	2,64	2,69	2,62	2,66	2,59	2,60	2,57	2,57
20	2,69	2,88	2,62	2,76	2,59	2,68	2,58	2,64	2,56	2,62	2,53	2,55	2,51	2,51
21	2,63	2,84	2,57	2,71	2,53	2,64	2,52	2,60	2,51	2,57	2,48	2,50	2,46	2,47
22	2,58	2,80	2,51	2,68	2,48	2,59	2,47	2,56	2,45	2,53	2,42	2,46	2,40	2,42
23	2,53	2,77	2,46	2,64	2,43	2,55	2,42	2,51	2,40	2,48	2,37	2,41	2,35	2,37
24	2,48	2,74	2,42	2,60	2,38	2,52	2,37	2,48	2,36	2,45	2,33	2,38	2,31	2,33
25	2,44	2,71	2,37	2,57	2,34	2,49	2,33	2,45	2,31	2,42	2,28	2,34	2,26	2,29
26	2,40	2,68	2,33	2,54	2,30	2,46	2,28	2,41	2,27	2,38	2,24	2,31	2,22	2,25
27	2,36	2,65	2,29	2,51	2,26	2,43	2,24	2,38	2,22	2,35	2,20	2,27	2,17	2,21
28	2,33	2,62	2,25	2,49	2,22	2,40	2,20	2,35	2,18	2,32	2,16	2,24	2,13	2,18
29	2,29	2,60	2,22	2,46	2,18	2,37	2,16	2,33	2,14	2,30	2,12	2,21	2,09	2,14
30	2,26	2,57	2,18	2,43	2,15	2,35	2,12	2,30	2,11	2,27	2,08	2,18	2,06	2,11
31	2,22	2,55	2,15	2,41	2,11	2,32	2,09	2,27	2,07	2,24	2,04	2,15	2,02	2,07
32	2,19	2,52	2,11	2,38	2,08	2,29	2,05	2,25	2,03	2,22	2,01	2,13	1,98	2,04
33	2,16	2,50	2,08	2,36	2,04	2,27	2,02	2,22	2,00	2,19	1,98	2,10	1,95	2,01
34	2,13	2,48	2,05	2,34	2,01	2,25	1,98	2,20	1,97	2,17	1,94	2,07	1,92	1,98

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

2.5.7.6 Análisis de erosión

El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes de las losas de concreto, juntas y esquinas del pavimento por efecto del bombeo. El bombeo es definido, como “el movimiento de material por debajo de la losa de concreto o eyección de material desde abajo de la losa, como resultado de la presión del agua. El agua acumulada por debajo de la losa será presurizada cuando la losa flexione debido a carga”. El bombeo ocurre debido a muchas repeticiones de cargas de ejes pesados en las esquinas de la losa de concreto y bordes, erosión de sub rasante, sub base, y materiales del hombro; lo cual genera huecos bajo y junto a la losa.

La erosión presenta esfuerzos cuya magnitud está determinada en medida por el tipo y la disposición de juntas, por ello el método presenta casos en dos condiciones.

La erosión se cuantifica en términos de porcentaje del daño total por erosión, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

Para la determinación del número de repeticiones permisibles o permitidas con la incidencia del factor de erosión mediante la utilización de la figura 5 y 6 Para casos con o sin bermas de concreto respectivamente.

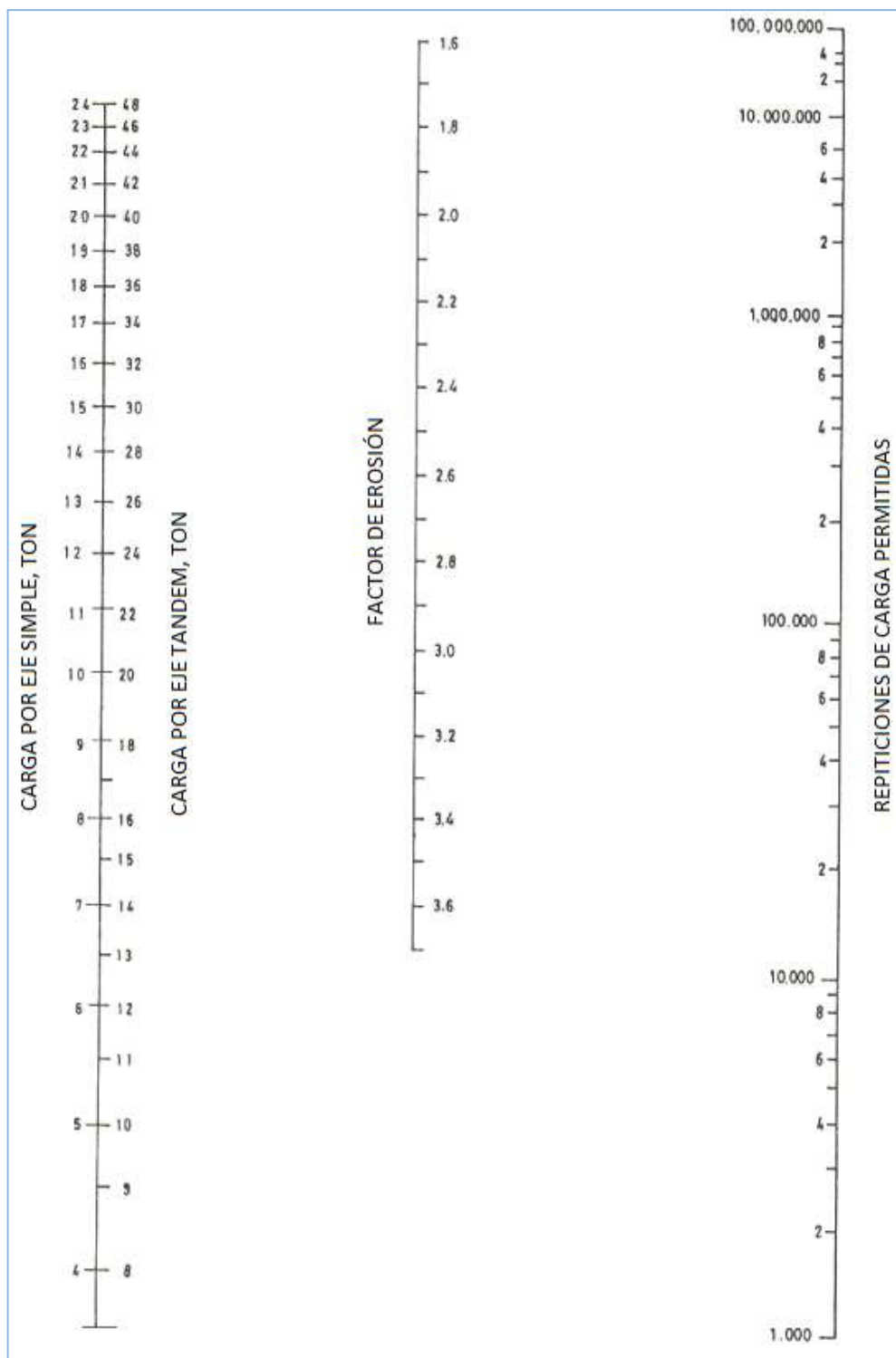


Figura 7: Análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión (con bermas de concreto).

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

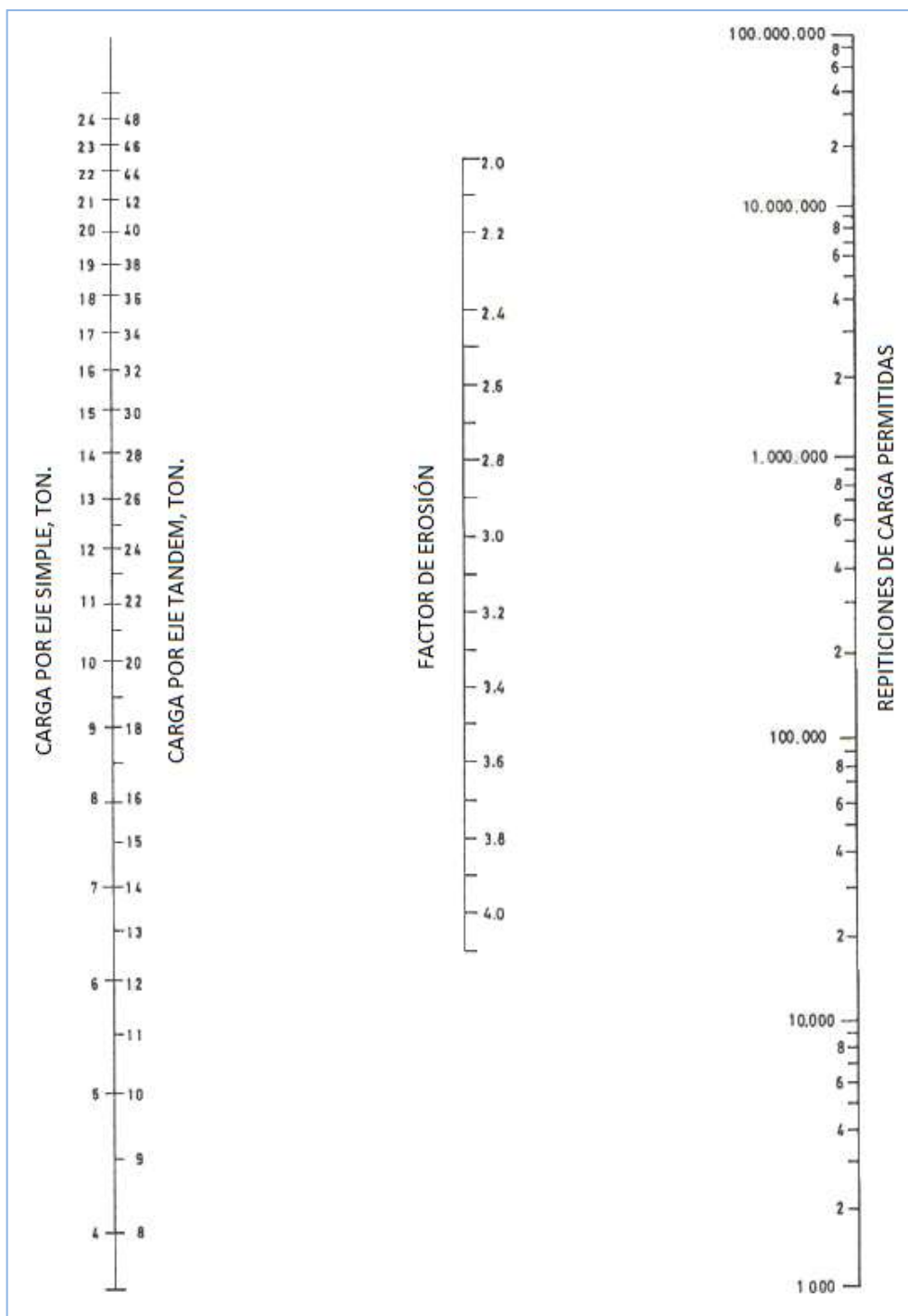


Figura 8: Análisis por erosión, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de erosión (con bermas de concreto).

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

2.5.7.7 Análisis por fatiga

El análisis del criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento, ante la aplicación de cargas sobre las losas, lo cual puede producir

esfuerzos excesivos, que generan agrietamientos. El objetivo es mantener los esfuerzos en el concreto, que constituye la losa, dentro de los límites de seguridad, basándose en el factor de relación de esfuerzos, el cual corresponde al esfuerzo de flexión dividido entre el módulo de ruptura del concreto a los 28 días.

La fatiga se cuantifica en términos de porcentaje de absorción de la fatiga, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

Dado que la suma de los porcentajes de Fatiga y Erosión para ejes simples y tándem es inferior a 100%, se considera que el espesor tentativo es apropiado.

Una vez obtenidos los esfuerzos equivalentes y la relación de esfuerzos. El cálculo de los valores de repeticiones permisibles o permitidas con la incidencia del Factor de Esfuerzos se tiene la tabla 7, 8,9 y 10, para ambas condiciones o casos, con o sin bermas de concreto

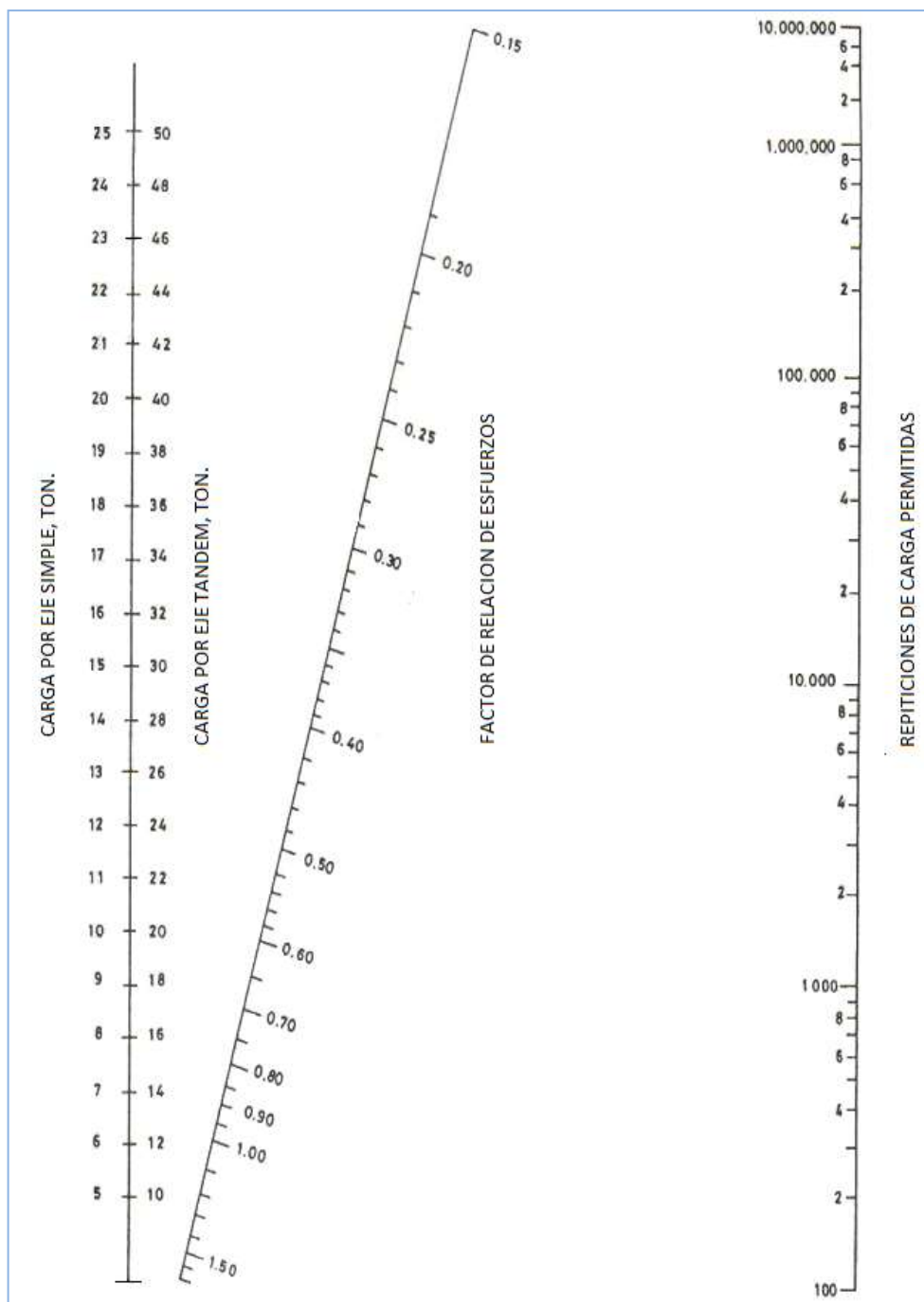


Figura 9: Análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzo (con y sin bermas de concreto)

Fuente: Guía de pavimentos – UMSS, Facultad de ciencia y tecnología.

Cabe señalar que el espesor de losa se considerará no adecuado si cualquiera de los totales del factor de fatiga y de erosión son mayores al 100%; por lo que habrá que utilizar un espesor mayor para hacer otra iteración; si la absorción total de fatiga y el daño total de erosión fueran mucho menores que 100%, será necesario utilizar un

espesor menor para hacer una nueva iteración; seguir iterando hasta obtener un espesor de losa de concreto óptimo con ambos totales del factor de fatiga y del factor de erosión cercanos al 100%.

2.5.8 Metodo AASHTO 93

El método ASSHTO 93, (Asociación Americana de la Organización de Transporte de Carreteras del Estado), fue desarrollado basándose en un ensayo a escala real realizado durante un periodo, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitud de las distintas secciones ensayadas, posterior a ello se comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes.

El método ASSHTO 93, ha desarrollado en sus publicaciones el diseño no solo de pavimentos flexibles si no de pavimentos rígidos (concreto), incluyendo parámetros de diseño el drenaje, la presencia de bermas y la erosionabilidad de la base, a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

En este Capítulo, se describirá brevemente cada uno de los factores o parámetros necesarios para el diseño de pavimentos rígidos considerados en el presente método, consecuentemente realizar el análisis de estos y acorde con el grado de importancia de la vía y evitar que la estructura alcance el colapso durante su vida de servicio proyectado. Mediante la solución de una ecuación propuesta por el mencionado método es de donde se buscará el espesor adecuado de la losa de concreto.

2.5.8.1 Tipos de pavimento rígido

- **Los pavimentos rígidos de concreto simples.**

este tipo de pavimento es el más empleado debido a que su construcción es sencilla y de menor costo, está dividido en losas rectangulares, preferiblemente casi cuadradas, salvo en las intersecciones, ramales y otras superficies de anchura variable, disponiendo en ellos juntas transversales de contracción y juntas longitudinales de alabeo entre carriles.

- **Los pavimentos rígidos de concreto simples con varillas de transferencia de cargas.**

En este tipo de pavimentos se requiere realizar juntas de contracción transversal que varían entre 3.5 y 6.0 m. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores. Las juntas inducen el agrietamiento propio del comportamiento del concreto por las tensiones originadas por los cambios de temperatura y humedad. Se recomienda no exceder los 4.5 m.

- **Los pavimentos rígidos reforzados.**

La carpeta de rodadura es de concreto reforzado con mallas de acero, las que permiten incrementar la distancia entre juntas llegando a valores entre 7.5 y 9.0 m. Aunque tiene refuerzo moderado de acero siempre se espera que se produzcan fisuras controladas dentro de los paños. La transferencia de carga entre paños adyacentes se realiza mediante la trabazón de agregados o el empleo de pasadores.

- **Los pavimentos rígidos de refuerzo continuo.**

Las tensiones son controladas por una armadura de acero. Se espera la aparición de fisuras controladas a lo largo de todo el pavimento, distanciadas entre 0.6 y 2.0 m.

2.5.8.2 Factores de diseño de la estructura del pavimento rígido por el método AASHTO 93

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos es donde se realizara directamente el cálculo del espesor de losa de concreto:

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

Donde:

- W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.
- Z_r = Desviación estándar combinado, el valor de Z_r (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R .
- S_0 = Error estándar combinado de todas las variables.
- D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.
- P_t = Serviciabilidad final.
- M_r = Módulo de rotura del concreto en psi.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- C_d = Coeficiente de drenaje.

- E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- K = Módulo de reacción de la sub rasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

2.5.8.3 Parámetros de diseño

- **Variable de tiempo**

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

- **Transito**

En el método AASHTO 93, los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

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

- **Confiabilidad (R, %) y error estándar combinado (S_0)**

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

Los valores comprendidos recomendados por la ASSHTO 93 se tiene Error Estándar Combinado (S_0) está dentro de los siguientes intervalos que se recomienda:

- Para pavimentos rígidos 0,30 – 0,40
- En construcción nueva 0,35 – 0,40

Se adopta $S_0= 0,35$

Es necesaria una variable (S_0 – Error Estándar Desviación), que acote la variabilidad de todos estos factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su período de diseño.

- **Desviación normal estándar (Z_r)**

El conjunto de variables que define un pavimento (espesor de las capas, características de los materiales, condición de drenaje), el tránsito que puede soportar un pavimento a lo largo de un determinado período de diseño sigue una ley de distribución normal con una desviación típica (S_0), mediante ésta distribución se puede obtener el valor de (Z_r) asociado a un nivel de confiabilidad (R).

El producto $Z_r \times S_0$ realmente es un factor de seguridad aplicado a la estimación, la ASSHTO 93 recomienda que el factor de seguridad este en función al tránsito esperado en el carril de diseño.

2.5.8.4 Criterios de comportamiento.

- **Servicial dad**

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

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

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.

- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.
- El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial. Del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés).
- El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.
- El diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P0) y el índice de serviciabilidad final (Pt), para la vida útil o de diseño del pavimento.

- **Índice de serviciabilidad inicial (P0).**

El Índice de Serviciabilidad Inicial (P0), se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación, el valor dependerá del diseño y de la calidad de construcción. La AASHTO 93 estableció para pavimentos rígidos un **valor inicial deseable de P0 = 4.5.**

- **Índice de serviciabilidad final (Pt).**

El Índice de serviciabilidad final (Pt), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario, se basa en el índice más bajo que puede ser tolerado antes de que se requiera su reconstrucción o rehabilitación.

Dependiendo de la importancia de la vialidad y de su categoría, pueden considerarse los valores Pt indicados, recomendados por la AASHTO de la siguiente manera:

- Pt = 2.5 para caminos principales o mayor tránsito.
- Pt = 2.0 para caminos de menor tránsito.

- **La pérdida de serviciabilidad (ΔPSI), se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.**

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad (2.2)$$

2.5.8.5 Propiedades de los materiales

- **Módulo de reacción de la sub rasante (K)**

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

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR).

El procedimiento para la obtención del CBR de la sub-rasante, fue realizado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Municipalidad Provincial de San Román, que se describe en los Anexos. Para el cálculo de los valor del Módulo

de Reacción de la Sub Rasante, se describen en el Capítulo 3 Ingeniería de Proyecto, Estudio Geológico.

- **Resistencia del concreto a la flexión (módulo de rotura, MR)**

Los pavimentos de concreto se pandean bajo las cargas repetidas por eje, produciendo esfuerzos de compresión como de tensión. Sin embargo, la relación entre el esfuerzo de compresión a la resistencia a la compresión del concreto es relativamente pequeña, como para afectar al diseño de la losa de concreto, comparada con la relación del esfuerzo de tensión a la resistencia a la tensión del concreto que suelen ser mayores, en consecuencia de ello los esfuerzos y la resistencia a la flexión, son factores que se consideran y controlan el diseño de los pavimentos

- **Módulo de elasticidad del concreto**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. La AASHTO 93, precisa que el modulo de elasticidad puede ser estimado, usando una correlación para el concreto recomendada por el Instituto del Concreto Americano ACI.

$$E = 57,000 \times (f'c)^{0.5} \quad (2.3)$$

Dónde: $f'c$ = resistencia a la comprensión simple del concreto (psi).

2.5.8.6 Características estructurales.

- **Drenaje (Cd)**

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se

llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

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

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

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

La capacidad de drenaje se determina en función del tiempo que tardan las aguas de lluvia en ser evacuadas del pavimento, como de la calidad de drenaje. Mientras que el coeficiente de drenaje está relacionado con el porcentaje de tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

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

- **Coficiente de transferencia de carga (J)**

- Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas, este factor introduce para tener en cuenta la capacidad del pavimento de concreto para transmitir las cargas a través de las discontinuidades (juntas o grietas). Las deflexiones

excesivas producen bombeo de la sub base y posteriormente rotura de la losa de concreto.

- El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:
- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.
- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.
- El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de J , menor espesor de concreto.

2.5.8.7 Refuerzo del pavimento rígido.

Es importante mencionar que el diseño de una estructura de pavimento no se limita únicamente al diseño del espesor de la losa de concreto, sino que también se debe poner especial cuidado en el diseño de los dispositivos de transferencia de cargas entre losas de concreto en las juntas del pavimento.

El pavimento rígido reforzado considera juntas con dispositivos de transferencia de carga (dowels, pasadores, etc.), y acero de refuerzo en la estructura de la losa de concreto que cumple la función de acero como refuerzo por temperatura.

El dimensionamiento de los pavimentos de concreto determinados en función a la condición topográfica de la zona y a las consideraciones del plan de habilitación urbana,

de ello se determina o diseña la juntas que se plantean en la estructura del pavimento rígido, en consideración del tipo de pavimento que se plantea para su ejecución.

El cálculo del refuerzo en el pavimento rígido es considerando las recomendaciones planteadas por los métodos de AASHTO y PCA, obtener la opción más factible para que la estructura del pavimento cumpla con las proyecciones estimadas.

2.5.8.8 Juntas en pavimento rígido.

- **Juntas transversales de contracción**

Son las juntas que se construyen transversalmente a la línea central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar las fisuras por liberación de tensiones debidas a temperatura, humedad y fricción. Estas juntas por lo general, son perpendiculares a los bordes y a la línea central del pavimento.

- **Juntas longitudinales de construcción**

Son las juntas que se generan longitudinalmente cuando los carriles se construyen en diferentes etapas.

- **Juntas de expansión (aislantes)**

Se ejecutan en posición transversal al eje de cambio, tiene el fin de permitir el movimiento horizontal del pavimento, con respecto a estructuras existentes, como estribos de puentes, alcantarillas, etc. Se utilizan también en la unión de dos tramos de diferente dirección.

El espaciamiento entre juntas de contracción de pavimentos de concreto simple depende de factores principalmente locales, como calidad de materiales y condiciones climáticas. La AASHTO 93 recomienda que el espaciamiento entre juntas es en función al espesor de la losa de concreto. Se tiene la relación entre largo y ancho de un tablero de losas debe estar entre los límites de:

$$0.71 < \frac{\text{largo de la losa}}{\text{ancho de losa}} < 1.4 \quad (2.4)$$

De acuerdo a recomendaciones de la PCA la separación entre juntas no debe ser mayor a 6,10 m (20 pies).

Para el caso de pavimentos de concreto armado con juntas, el espaciamiento máximo es de 9,10 m (30 pies).

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

2.5.8.9 Variable para el cálculo de armaduras de acero.

- **Longitud de losa**

Es la distancia de separación entre las juntas transversales. El valor numérico de esta longitud afecta el comportamiento de los pavimentos de hormigón armado, en mayor grado mientras mayor sea la longitud.

- **Espesor de losa**

Es la longitud del espesor de la carpeta de rodadura que en este caso es la losa de concreto.

- **Tensiones de trabajo (f_s)**

La tensión de trabajo recomendada para las barras de acero f_s es el 75% de la tensión de fluencia (f_y), por ejemplo para un acero grado 40, la tensión admisible es de 207 MPa (30000 psi) y para un acero de grado 60 es de 307 MPa (45000 psi).

- **Factor de fricción (F)**

Representa la resistencia fricción al entre la base inferior de la losa y la superficie superior de la sub-base, que fue obtenido considerando la teoría de fricción de un cuerpo sobre otro, el factor de fricción representa la fuerza requerida, en relación al peso de la losa, para hacer deslizar la losa sobre la sub-base. Por ejemplo, $F = 1,5$ significa que se requiere una fuerza de 1,5 veces de peso de la losa, para deslizar la misma sobre la sub-base.

- **Transmisión de carga**

La existencia de varios sistemas de transferencia de cargas, Para garantizar la eficiencia de la transmisión de cargas entre las losas de concreto que se tiene; como en los casos de trabazón de agregados, se colocarán barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas longitudinales, en la figura se puede mostrar la uniformidad de reacción entre las losas de concreto.



Figura 10: transferencia de carga

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_de_transferencia_de_carga.

Trabazón de los agregados

Se obtiene con un corte sobre el concreto que deberá prolongarse en el material cementante sin afectar a los agregados, los cuales proporcionan la resistencia al corte necesario para transmitir las cargas.

Este mecanismo sólo funciona cuando el ancho de la junta es menor que 9 mm, pero se recomienda un máximo de 5 mm. En la siguiente Figura 9 se ilustra este sistema de transmisión de carga.

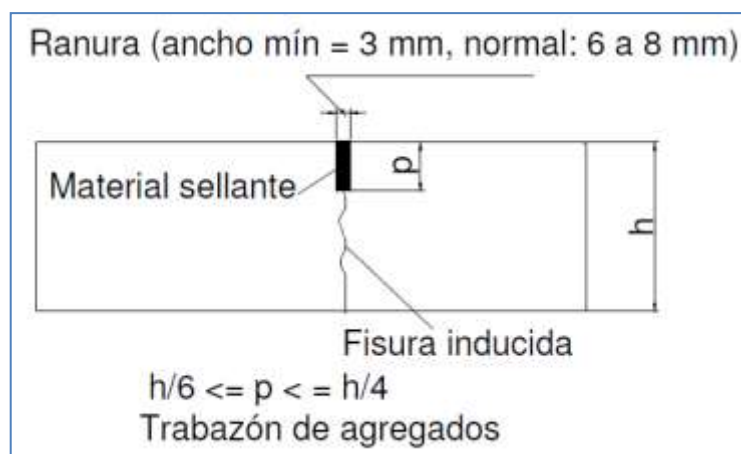


Figura 11: Trasmisión de cargas por trabazón de agregados.
Fuente: curso de actualización de pavimentos – ing. Luis Ricardo Vasquez.

Pasadores

En condiciones de tráfico pesado o clima severo debe complementarse la eficiencia de la trabazón de agregados mediante barras de acero liso (pasadores o dovelas) que conectan entre sí los lados de las juntas. Este mecanismo transmite corte y momento flector permitiendo el libre movimiento horizontal de la losa, por esto al menos una mitad del pasador debe engrasarse para que no se adhiera al concreto. En la siguiente Figura 10 se ilustra este mecanismo de transmisión de carga.

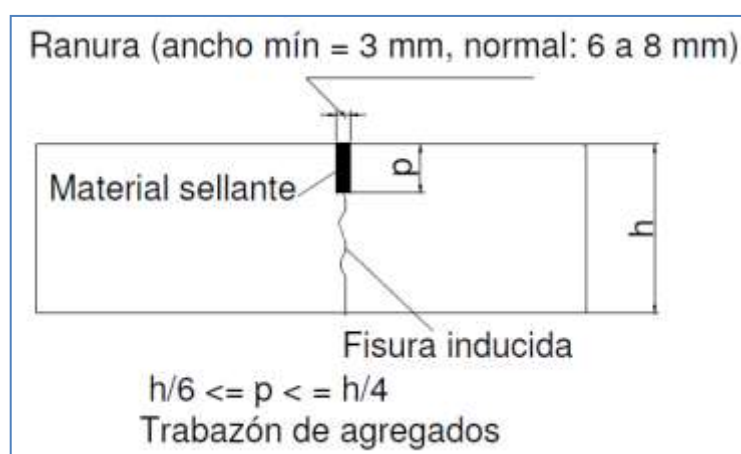


Figura 12: trasmisión de cargas por pasadores.
Fuente: curso de actualización de pavimentos – Ing. Luis Ricardo Vasquez.

Junta Machi – Hembra

La junta machi – hembra es un mecanismo que transmite fuerzas de corte, pero no momento flector. Está indicada especialmente para las juntas longitudinales necesarias para atender los efectos de construcción y alabeo. Su uso es escaso en las juntas transversales por su costo y dificultad de construcción.

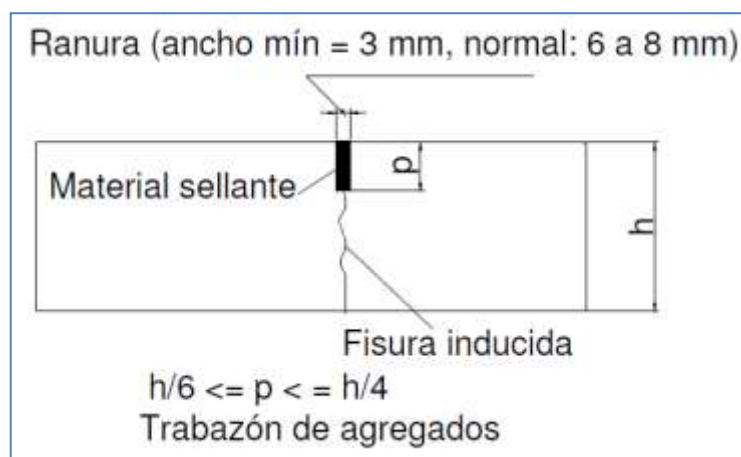


Figura 13: transmisión de cargas por machi -embra.

Fuente: curso de actualización de pavimentos – Ing. Luis Ricardo Vasquez.

2.6 ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.6.1 Introducción

Como parte del diseño de la infraestructura vial se considera proyectos hidráulicos que se refieren a la defensa contra los daños que ocasiona el agua en este caso específico el drenaje urbano y vial.

Para *Barrionuevo Abarca & Beviá García, (2012)*, a pesar de que los mismos principios hidrológicos aplicados para la zona rural, gobiernan cualquier otro lugar donde se desarrolle el ciclo hidrológico, la hidrología en zonas urbanas tiene particular importancia, por los cambios que origina en los caudales de escorrentía, en razón a las siguientes características:

- Preponderancia de superficies impermeables (calles pavimentadas, techos, etc.) que reducen las pérdidas por infiltración.
- Presencia de la mano de obra del hombre a través de la construcción de canales artificiales (cunetas y sistemas de recolección de aguas pluviales), que varían la eficiencia hidráulica de los sistemas de conducción naturales.

El diseño de caudales se realizará en base de la precipitación pluvial, este procedimiento consiste en proyectar las obras hidráulicas, para dar paso a una cantidad determinada de agua por el escurrimiento probable de aguas de lluvia. Para el cálculo del gasto se requiere el conocimiento de la precipitación pluvial del área a drenar, topografía y tipo de suelo de dicha área. Los tres últimos datos se determinan en cualquier lugar y en el momento que se necesiten; pero en el caso de la precipitación pluvial es diferente ya que es necesario conocer los datos de precipitación máxima en 24 horas en un número considerable de años de acuerdo al periodo de retorno y el periodo de vida útil de la obra.

2.6.2 Información meteorológica

Para el diseño de las estructuras de drenaje pluvial, es necesario contar con la información meteorológica de la zona correspondiente teniendo en cuenta los conceptos planteados por *Chereque (1991)*, los que se dan a continuación:

- a) **Precipitaciones pluviales:** Se define precipitación a toda forma de humedad, que originándose en las nubes llegan hasta la superficie terrestre, de acuerdo a esta definición las lluvias, las granizadas, las garúas y las heladas son formas distintas de precipitación. Las lluvias se clasifican según su intensidad en:
- Ligera, para tasas de caídas de hasta 2.50 mm/h.
 - Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.
 - Fuerte, por encima de 7.6 mm/h.

Los registros de precipitación son tomados por el SENAMHI (Servido Nacional de Meteorología e Hidrología) Región Puno, esta entidad se encarga tomar datos de precipitación, temperatura (mínima, máxima, media), humedad y datos de descarga. Las precipitaciones en altura de aguas medidas con pluviómetros varían de un lugar a otro y en un mismo lugar, de un tiempo a otro. Estas medidas constituyen un conjunto numeroso de datos, que es necesario analizar y sintetizar en unos pocos valores manuales y fáciles de utilizar en proyectos hidráulicos. Se recurre para ello a la estadística, escogiendo un modelo matemático que represente el comportamiento de la lluvia en el lugar de estudio.

- b) **Duración:** Es otro factor fundamental en el análisis hidrológico de una Región, que nos permite conocer los tiempos que duran las precipitaciones, para poder luego calcular las intensidades de las mismas. En el presente trabajo se adquirieron datos hidrológicos seleccionados de precipitaciones para diferentes tiempos de duración, cada una de estas selecciones servirán posteriormente para el diseño de algún ítem específico.
- c) **Frecuencia:** La frecuencia es un término que nos indica el tiempo en el que puede suscitarse nuevamente un evento. Esto nos permite tener un criterio de diseño en el que nuestras expectativas de que la vida útil de la obra esté dentro del tiempo de ocurrencia de este evento. La frecuencia por ser el resultado de un análisis estadístico es un aspecto no muy predecible, sin embargo permite tomar ciertos criterios de diseño.
- d) **Temperatura:** La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la

evaporación. Puesto que prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado.

- e) **Humedad relativa:** Es la relación porcentual entre la cantidad de humedad en un espacio dado y la cantidad que ese volumen podría contener si estuviera saturado.
- f) **Intensidad de precipitaciones en la zona:** La intensidad de las precipitaciones es un parámetro que nos permite observar la cantidad de precipitación en un lapso determinado de tiempo, esto con el objeto de seleccionar las precipitaciones máximas y mínimas de una determinada región o zona geográfica que se pretenda realizar. La intensidad queda determinada dividiendo la cantidad de precipitación entre el tiempo en horas (mm/h).

2.6.3 Estudio Hidráulico

2.6.3.1 Método para el cálculo de caudales

El *Reglamento Nacional de Edificaciones (2006)*, menciona que los caudales para sistemas de drenaje urbano menor deberán ser calculados teniendo en cuenta las siguientes metodologías:

- Por el método racional si el área de la cuenca es igual o menor a 13 Km².

Además de este método, existen muchas metodologías tanto hidrometeorológicas como estadísticas para la determinación de caudales máximos; sin embargo considerando lo mencionado en el párrafo anterior y por ser el área del proyecto menor a 13 Km², el método hidrometeorológico utilizado en el presente es el método racional.

- **Método racional**

Cuando se quieren obtener solo caudales máximos a esperar en estructuras de paso como alcantarillas o puentes, se pueden calcular haciendo uso de la fórmula racional.

Para *Villón Bejar, (2002)*, este límite está dado por las características de las lluvias en la zona, y debe ser tal que la lluvia puntual se pueda considerar uniformemente distribuida en el área a considerar para lo cual se puede considerar subáreas o subcuencas.

Las teorías asociadas con el método racional son:

- La tasa de escorrentía pico calculada en el punto de salida de la cuenca es una función de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentración, es decir, el caudal pico no resulta de una lluvia más intensa y de menor duración, durante la cual solamente una porción de la cuenca contribuye a la escorrentía a la salida de ésta.
- El tiempo de concentración empleado es el tiempo para que la escorrentía se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de entrada del alcantarillado que se está diseñando.
- La intensidad de lluvia es constante durante toda la tormenta.

Este método asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña, ocurre cuando la totalidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimiento, y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio; lo anterior se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * i * A}{360} \quad (2.6)$$

Dónde:

Q : Caudal de escurrimiento máximo, m^3/s .

C : Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

i : Intensidad máxima de lluvia para un período, mm/h .

A : Área de la cuenca, ha .

Considerando el área en metros cuadrados la ecuación queda de la siguiente manera:

$$Q = \frac{10^6 * C * i * A}{3.6} \quad (2.7)$$

Dónde:

Q : Caudal de escurrimiento máximo, m^3/s .

C : Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

I : Intensidad máxima de lluvia para un período, mm/h .

A : Área de la cuenca, m^2 .

2.6.3.2 Coeficiente de escorrentía

Según *Bañon Blazquez & Bevia Garcia, (2000)*, el coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc. Como puede comprenderse, el proceso de escorrentía es complejo y en la práctica deben introducirse simplificaciones.

Tabla 11: Coeficientes de Escorrentía Para ser Utilizados en el Método Racional

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 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 a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, RNE (2009)

También *Villón Bejar, (2002)*, afirma que el coeficiente de escorrentía también depende de las características y las condiciones del suelo. Otros factores que influyen en el coeficiente de escorrentía son la intensidad de lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación y la pendiente del suelo.

El *Reglamento Nacional de Edificaciones (2009)*, proporciona los valores de coeficientes de escorrentía de acuerdo a las características de la superficie y el periodo de retorno para el método racional, tal como se muestra en la siguiente tabla.

2.6.3.3 Intensidad de precipitación

Para el desarrollo de los cálculos correspondientes a la obtención de los caudales máximos instantáneos en cada una de los sectores urbanos de interés, se ha determinado las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) del área de estudio con periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años utilizando la metodología IILA, para luego aplicar el método racional en el cálculo del caudal máximo.

Rendón (2013), en el marco de un convenio de cooperación entre el Instituto Ítalo Latinoamericano –IILA-, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI- y la Universidad Nacional de Ingeniería –UNI; en 1983, se desarrolló el Estudio Regional de Hidrología del Perú en donde se hallaron una familia de curvas de Intensidad–duración–frecuencia, para las distintas regiones del Perú, que tiene la siguiente formulación:

$$i_{(t,T)} = a * (1 + K * \text{Log } T) * (t + b)^{n-1} \quad (2.8)$$

$$a = \left(\frac{1}{t_g}\right)^n * E_g \quad (2.9)$$

Dónde:

- i : Intensidad de la lluvia (mm/hora).
- a : Parámetro de la intensidad de la lluvia (mm).
- K : Parámetro de frecuencia (adimensional).
- b : Parámetro (hora).
- n : Parámetro de duración de la lluvia (adimensional).
- t : Duración de la lluvia (hora).
- T : Periodo de retorno (años).
- t_g : Es la duración de la lluvia diaria.
- E_g : Parámetro característico para cada sub región hidrológica.

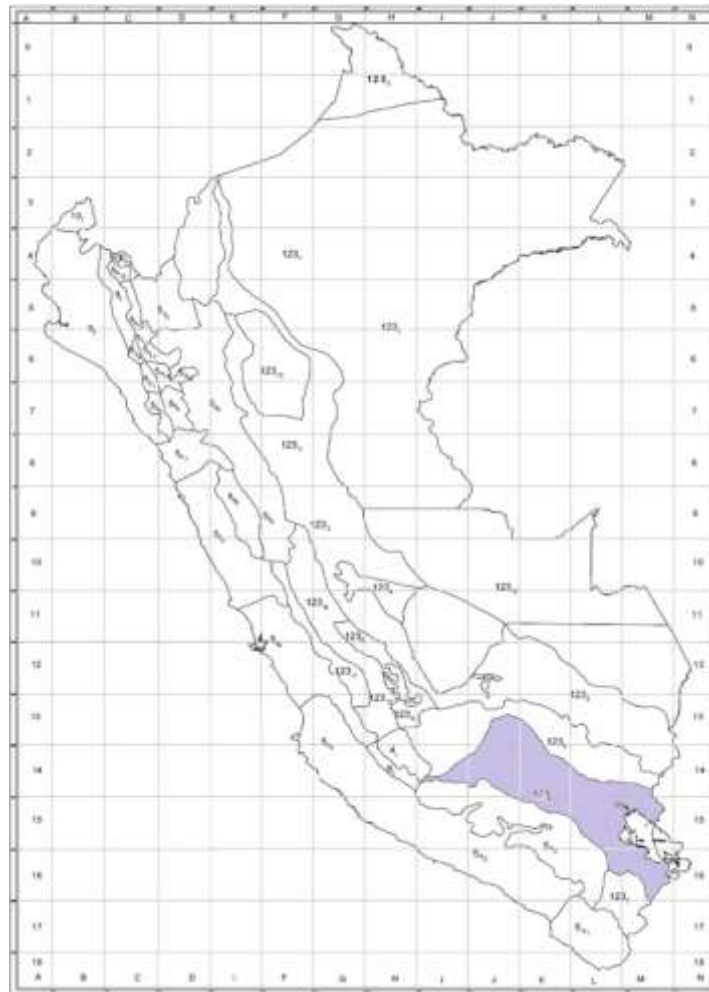


Figura 14: Zonificación Para Cada Sub Región Hidrológica del Perú

Fuente: Instituto Ítalo Latinoamericano –IILA, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –SENAMHI (1983)

Para poder hallar los parámetros a, b, K y E_g , según el método IILA, es necesario conocer la ubicación de la Sub Región Hidrológica en la que se encuentra la Estación Meteorológica de Juliaca, el cual fue delimitado dentro del Estudio Regional de Hidrología del Perú IILA (1983), para ello usaremos el siguiente mapa que se muestra en la Figura 5; además las Tablas 8 y 9 muestran los valores de los parámetros buscados para cada Sub Región Hidrológica.

Tabla 12: Valores De Los Parámetros K Y E_g Que Definen La Distribución De Probabilidades En Cada Punto De Las Subzonas

ZONA	K	SUB ZONA	E_g
123	0.553	123 ₁	85.0
		123 ₂	75.0
		123 ₃	100-0.022*Y
		123 ₄	70-0.019*Y
		123 ₅	24.0
		123 ₆	30.5
		123 ₇	-2+0.06*Y
		123 ₈	26.6
		123 ₉	23.3
		123 ₁₀	6+0.005*Y
		123 ₁₁	1+0.005*Y
		123 ₁₂	75.0
		123 ₁₃	70.0
4	0.861	4 ₁	
5a	$11 * E_g^{-0.85}$	5a ₁	-7.6+0.006*Y (Y>2300)
		5a ₂	32-0.1777*D _c
		5a ₃	-13+0.010*Y (Y>2300)
		5a ₄	3.8+0.0053*Y (Y>1500)
		5a ₅	-6+0.007*Y (Y>2300)
		5a ₆	1.4+0.0067
		5a ₇	-2+0.007*Y (Y>2000)
		5a ₈	24+0.0025*Y
		5a ₉	9.4+0.0067*Y
		5a ₁₀	18.8+0.0028*Y
		5a ₁₁	32.4+0.004*Y
		5a ₁₂	19.0+0.005*Y
		5a ₁₃	23.0+0.0143*Y
		5a ₁₄	4.0+0.010*Y
5b	$130 * E_g^{-1.4}$	5b ₁	4+0.010 (Y>1000)
		5b ₂	41.0
		5b ₃	23.0+0.143*Y
		5b ₄	32.4+0.004*Y
		5b ₅	9.4+0.0067*Y
6	$5.4 * E_g^{-0.6}$	6 ₁	
9	$22.5 * E_g^{-0.85}$	9 ₁	61.5
		9 ₂	-4.5+0.323*D _m (30*D _m *110)
		9 ₃	31+0.475(D _m -110) (D _m *110)
10	1.45	10 ₁	12.5+0.95*D _m

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, R.N.E. (2009).

Nota: Y = Altitud en m.s.n.m.; D_c = Distancia a la cordillera en Km; D_m = Distancia al mar en Km.

Tabla 13: Valores de los Parámetros n y a que Definen la Distribución de Probabilidades en Cada Punto de las SubZonas

SUB ZONA	ESTACION	Nº TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 ₁	321-385	2	0.357	32.2
123 ₃	384-787-805	3	0.405	$a = 37,85 - 0,0083 Y$
123 ₁₃	244-193	2	0.432	
123 ₅	850-903	2	0.353	9.2
123 ₆	840-913-918	4	0.380	11.0
	958			
123 ₈	654-674-679	9	0.232	14.0
	709-713-714			
	732-745-752			
123 ₉	769	1	0.242	12.1
123 ₁₀	446-557-594	14	0.254	$a = 3,01 + 0,0025 Y$
	653-672-696			
	708-711-712			
	715-717-724			
	757-773			
123 ₁₁	508-667-719	5	0.286	$a = 0,46 + 0,0023 Y$
	750-771			
5a ₂	935-968	2	0.301	$a = 14,1 - 0,078 D_c$
5a ₅	559	1	0.303	$a = -2,6 + 0,0031 Y$
5a ₁₀	248	1	0.434	$a = 5,80 + 0,0009 Y$

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento R.N.E., (2009).

Para el valor de b y t_g el *Reglamento Nacional de Edificaciones* (2009), da valores para estos parámetros, los cuales pueden ser:

- b = 0.5 horas (Costa, centro y sur).
- b = 0.4 horas (Sierra).
- b = 0.2 horas (Costa norte y selva).
- t_g = 15.9 para todo el Perú.

2.6.3.4 Periodo de retorno.

Según el *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* (2008), para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \tag{2.10}$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. En la Tabla 10, se muestra los valores de riesgos admisibles según tipo de obra:

Tabla 14: Valores Recomendados de Riesgo Admisible de Obras de Drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2008)

Nota:

- (*) Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.
- (**) Vida Útil considerado n=25 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

2.6.3.5 Duración de la lluvia

Según el *Reglamento Nacional de Edificaciones (2009)*, la duración de lluvia, es el intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia y se expresa en minutos. La duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración

para el área de drenaje en consideración, dado que la escorrentía alcanza su pico en el tiempo de concentración, cuando toda el área está contribuyendo al flujo en la salida.

Por otro lado, el *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2008)*, establece fórmulas para poder hallar el tiempo de concentración de las cuales la que mejor se ajusta a las características del presente proyecto es el método de Ecuación de Retardo SCS (1973), que es la que sigue:

$$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (2.11)$$

Dónde:

- T_c : Tiempo de Concentración
- L : Longitud Hidráulica de cuenca (mayor trayectoria de flujo), m.
- S : Pendiente promedio de la cuenca, m/m.
- CN : Numero de curva SCS.

Según *Chow, Maidment, & Mays, (1994)*, los números de curva han sido tabulados por el *Soil Conservation Service (1972)* con base en el tipo de suelo y el uso de tierra. Se definen cuatro tipos de suelos:

- GRUPO A : Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- GRUPO B : Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- GRUPO C : Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- GRUPO D : Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de número de curva SCS (CN), para varios tipos de uso de tierra en estos tipos de suelos se dan en la Tabla 15.

Tabla 15: Valores de Intensidad de Precipitación

DESCRIPCION DE USO DE TIERRA		GRUPO HIDROLOGICO			
		A	B	C	D
Tierra Cultivada					
Sin tratamiento de conservación		72	81	88	91
Con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales					
Condiciones pobres		68	79	86	89
Condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques					
Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas		45	66	77	83
Cubierta buena		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en 75% o más.		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
¼ acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
½ acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentos con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: Chow, Maidment, & Mays, (1994)

2.6.4 Estudio del sistema de drenaje urbano

- **Consideraciones de la Norma Técnica O.S. 060 Drenaje Pluvial Urbano**

Según *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento R.N.E.*, (2009), La norma técnica O.S. 060 drenaje pluvial urbano nos brinda en el numeral 6.3. Captación en zona vehicular – Pista.

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

- **Orientación del flujo**

En el diseño de pistas se deberá prever pendientes longitudinales (S_l) y transversales (S_t) a fin de facilitar la concentración del agua que incide sobre el pavimento hacia los extremos o bordes de la calzada.

Las pendientes a considerar son:

- Pendiente Longitudinal (S_l) > 0.5 %.
- Pendiente Transversal (S_t) de 2 % a 4 %.

- **Captación y transporte de aguas pluviales de calzada y aceras**

La evacuación de las aguas que discurren sobre la calzada y aceras se realizará mediante cunetas, las que conducen el flujo hacia las zonas bajas donde los sumideros captarán el agua para conduciría en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad.

- Sección Circular.
- Sección Parabólica.
- Sección Trapezoidal.
- Sección Rectangular.
- Sección Triangular.
- Sección Semi Triangular.

Consideremos un canal de sección constante por el que debe pasar un caudal máximo, bajo las condiciones impuestas por la pendiente y la rugosidad; de la ecuación del caudal, se tiene:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (2.12)$$

Por otro lado $Q = V \times A$ reemplazando a la ecuación anterior.

$$Q = \frac{A(Rh)^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (2.13)$$

Dónde:

- V : Velocidad media de desplazamiento (m/s)
- R : Radio medio hidráulico (m)
- S : Pendiente de la Canalización
- n : Coeficiente de rugosidad de Manning
- A : Sección transversal de la canalización (m²)
- Q : Caudal (escorrentía superficial pico) (m³/s)

En el que: n, A y S son constantes; luego, la ecuación del caudal puede expresarse como:

$$Q = K(Rh)^{2/3} \tag{2.14}$$

Siendo K una constante, observamos que el caudal será máximo si el radio hidráulico es máximo, o sea que R=A/p es máximo.

Como A es constante, R será máximo si p es mínimo, es decir Q es máximo si p es mínimo, para A constante.

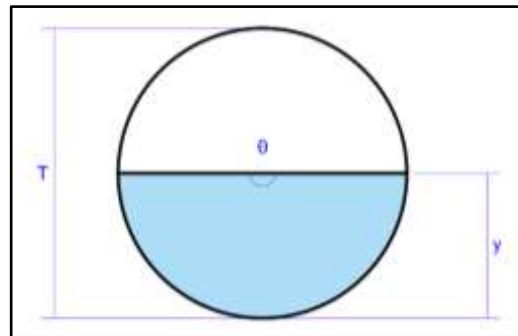
• **Sección circular**

$$T = D \text{ Sen } \theta/2$$

$$p = \frac{1}{2} \theta D$$

$$A = \frac{1}{8} (\theta - \text{Sen}\theta)D^2$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = \frac{(\theta - \text{Sen}\theta)D^2}{8n} \left[\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{Sen } \theta}{\theta} D \right) \right]^{2/3} S^{1/2} \tag{2.15}$$

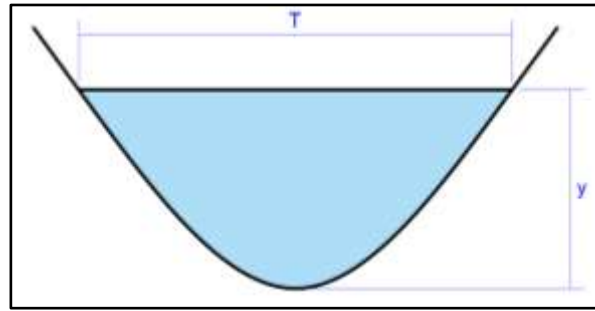
• **Sección parabólica**

$$T = \frac{3A}{2y}$$

$$p = T + \frac{8y^2}{3T}$$

$$A = \frac{2}{3} Ty$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = \frac{2Ty}{3n} \left(\frac{2T^2y}{3T^2+8y^2} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (2.16)$$

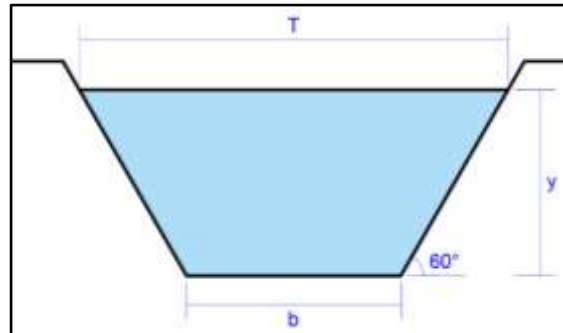
• **Sección trapezoidal**

$$T = b + 2zy$$

$$p = b + 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$A = by + zy^2$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = \frac{(by+zy^2)^{5/3}}{n} \left(\frac{1}{b+2y\sqrt{1+z^2}} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (2.17)$$

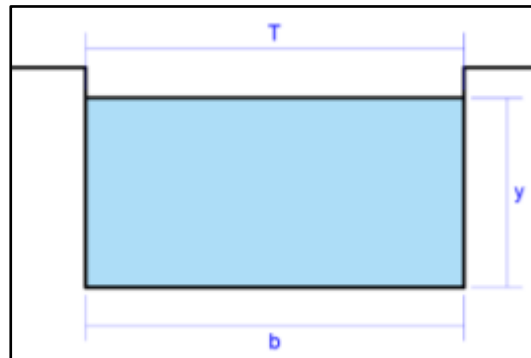
• **Sección rectangular**

$$T = b$$

$$p = 2y + b$$

$$A = by$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = \frac{(by)^{5/3}}{n} \left(\frac{1}{b+2y} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (2.18)$$

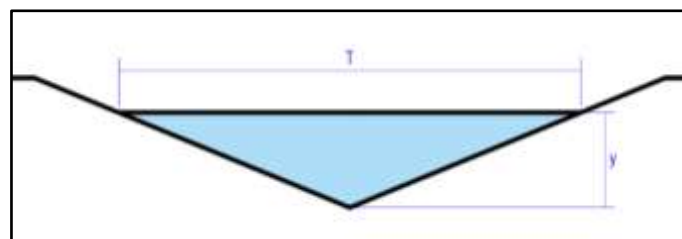
• **Sección triangular**

$$T = 2zy$$

$$p = 2y\sqrt{1+z^2}$$

$$A = zy^2$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = 0.630 \frac{z}{n} y^{8/3} \left(\frac{z}{\sqrt{1+z^2}} \right)^{2/3} S^{1/2} \tag{2.19}$$

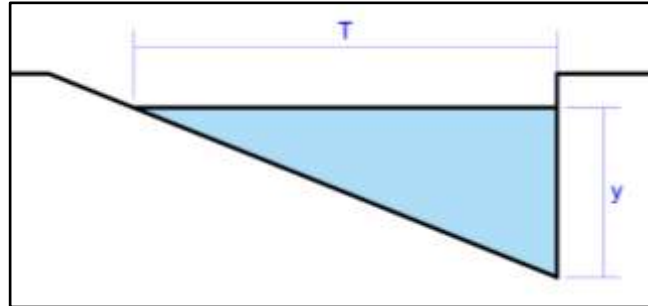
• **Sección Semi triangular**

$$T = zy$$

$$p = y(1 + \sqrt{1 + z^2})$$

$$A = \frac{zy^2}{2}$$

$$R = \frac{A}{p}$$



$$Q = 0.315 \frac{z}{n} y^{8/3} \left(\frac{z}{\sqrt{1+z^2}} \right)^{2/3} S^{1/2} \tag{2.20}$$

Donde:

A = Área hidráulica.

p = Perímetro mojado.

R = Radio hidráulico.

T = Espejo de agua.

y = Tirante

z = Talud

n = Coeficiente de rugosidad

S = Pendiente

Se determinará el caudal para cada sección y verificara el perímetro mojado para una sección de máxima eficiencia hidráulica.

Tabla 16: Dimensiones mínimas

REGIÓN	PROFUNDIDAD (m)	ANCHO (m)
Seca (<400 mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600 mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000 mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000 mm/año)	0.30*	1.20

* Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito – MTC

- **Coefficiente de rugosidad**

La tabla 17 muestra los valores del coeficiente de rugosidad de Manning correspondientes a los diferentes acabados de los materiales de las cunetas de las calles y berma central.

Tabla 17: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning

Cunetas de las Calles	Coefficiente de Rugosidad N
a. Cuneta de Concreto con acabado paleteado	0,012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura Lisa	0,013
2) Textura Rugosa	0,016
c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico	
1) Liso	0,013
2) Rugoso	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

Fuente: Reglamento Nacional De Edificaciones (2009)

2.7 ESTUDIO DE TRÁFICO

2.7.1 Aspectos generales

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

2.7.2 Volúmenes de tránsito promedio diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD) como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor a un día, dividido entre el número de días del periodo.

Pueden ser:

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

$$TPDA=TA/365 \quad (2.21)$$

Donde:

TA = número de vehículos que pasan durante 365 días.

- **Tránsito promedio diario mensual (TPDM)**

$$TPDM=TM/30 \quad (2.22)$$

Donde:

TM = número de vehículos que pasan durante 30 días.

- **Tránsito promedio diario semanal (TPDS)**

$$TPDS=TS/7 \quad (2.23)$$

Donde:

TS = número de vehículos que pasan durante 7 días.

2.7.3 Clasificación por tipo de vehículo

Se ha clasificado el tipo de vehículo de acuerdo con el número y disposición de sus ejes como se muestran en la tabla 18.

2.7.4 Tipos de ejes de vehículos

- **Eje simple.-** Elemento constituido por un solo eje no articulado a otro, puede ser: motriz o no, direccional o no, anterior, central o posterior.

Tabla 18: Pesos Máximos Admisibles Por Ejes

Tipo de Eje	Número de Neumáticos	Peso Máximo Admisible		Gráfico
		Kg	Kips	
Simple	2	7000	15	
	4	11000	24	
Tándem	4	10000	22	
	6	14000	31	
	8	18000	40	
Trídem	6	17000	37	
	10	21000	46	
	12	25000	55	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2003)

- **Eje Tándem.-** Elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por una distancia menor a 2.4 metros. Estos reparten la carga, en partes iguales, sobre los dos ejes que pueden ser motrices, portantes o combinados.
- **Eje Trídem.-** Elemento constituido por tres ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por distancias menores a 2.4 metros. Estos

reparten la carga sobre los tres ejes que pueden ser motrices, portantes o combinados.

Tabla 19: Parte de la Tabla de Pesos y Medidas Máximas Permitidos

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m.)	Eje Delant.	Peso máximo (t.)				Peso bruto máx. (t.)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	
C2		12,30	7	11	—	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	—	25
C4		13,20	7	23 ^{1/2}	—	—	—	30
T	—	—	—	—	—	—	—	—
T251		20,50	7	11	11	—	—	29
T252		20,50	7	11	18	—	—	36
T253		20,50	7	11	25	—	—	43
B2		13,20	7	11	—	—	—	18
B3-1		14,00	7	16	—	—	—	23
T	—	—	—	—	—	—	—	—

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2003)

2.7.5 Aforo vehicular

Su objeto es cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o una intersección.

2.7.6 TPDA O IMDA

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un

conocimiento de sus características para programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar. Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, durante el día, la semana y los meses del año.

Con respecto a volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, muchas veces esta información anual es difícil de obtener.

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

$$TPDA = TPDS \pm A \quad (2.24)$$

En donde:

A: Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS.

El valor de A, sumado o restado del TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confianza, el valor de A es:

$$A = K.E \quad (2.25)$$

En donde:

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

E: Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con

una desviación estándar equivalente al error estándar. Por lo tanto, también se puede expresar que:

$$E = \sigma' = \frac{S}{(n)^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{N-n}{N-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

En donde:

- σ' : Estimador de la desviación estándar poblacional.
- S: Desviación estándar muestral.
- n: Tamaño de la muestra en número de días del aforo.
- N: Tamaño de la población en número de días del año.

La desviación estándar muestral, S, se calcula como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n-1}} \quad (2.27)$$

En donde:

- TDi: Volumen de tránsito del día i.
- TPDS: Tránsito promedio diario semanal.

Finalmente, la relación entre los volúmenes de tránsito promedio diario anual y semanal es: TPDA = TPDS ± A, TPDA = TPDS ± KE, TPDA = TPDS ± K σ' .

2.7.7 Factor de crecimiento

El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente al tránsito y resistir los esfuerzos producidos. El crecimiento está influenciado por el desarrollo de las actividades socio-económicas en el área de influencia directa e indirecta del proyecto.

El factor de crecimiento se calcula con la siguiente fórmula:

$$fc = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (2.28)$$

En donde:

- fc: Factor de crecimiento.
- r: Tasa de crecimiento automotor.

n: Periodo en años.

2.7.8 Factor equivalente de carga

Según *Montejo Fonseca*, (2008, p. 31) es el número de aplicaciones de carga equivalente de eje simple de 80 kN (18 000 lb) contribuidas por el paso de un eje.

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento, de las diferentes cargas aun eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, denominados, LEF, Load Equivalent Factor.

Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHTO Road Test.

A su vez AASHTO presenta una fórmula simplificada para el cálculo del Factor Equivalente de Carga FEC o LEF:

$$FEC = (P1/P0)^4 \quad (2.29)$$

En donde:

P1: Carga cuya equivalencia con la estándar que se desea calcular.

P0: Carga Estándar: 6.60 para eje simple (1 rueda)
 8.20 para eje simple (2 ruedas)
 15.0 para eje tándem
 23.0 para eje Trídem

2.7.9 Factor camión

Según *Montejo Fonseca*, (2008, p. 31) se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El peso es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

a) asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.

b) Estimar el F.C. por algún método empírico.

Se puede emplear el D.S. N°034-2001-MTC, donde se publican las dimensiones y pesos por eje de vehículos pesados.

2.7.10 Número de ejes equivalentes (ESAL)

Según *Reglamento Nacional De Edificaciones, (2010)*, es el número de aplicaciones de cargas por Eje Estándar, previsto durante el Período de Diseño. El procedimiento usado para convertir un flujo de tráfico con diferentes cargas y configuraciones por eje en un número de tráfico para el diseño, consiste en convertir cada carga por eje esperada sobre la vía durante el período de diseño, en un número de cargas por eje estándar, sumándolas luego.

$$ESAL' S(W18) = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \times F.C. \quad (2.30)$$

Donde:

W18 : Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas

TPD : Tránsito promedio diario inicial

A : Porcentaje estimado de vehículos pesados (buses camiones)

B : Porcentaje de vehículos pesados que emplean el carril de diseño

r : Tasa anual de crecimiento de tránsito

n : Período de diseño

F.C. : Factor camión

Tabla 20: Porcentaje de vehículos pesados que emplea el carril de diseño

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

Fuente: AASTHO, (1993)

2.8 DISEÑO GEOMÉTRICO

2.8.1 Aspectos generales

Según *Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2014)*, los elementos geométricos de una carretera (planta, perfil y sección transversal), deben estar convenientemente relacionados, para garantizar una circulación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar una velocidad de operación continua y acorde con las condiciones generales de la vía, además se tiene los siguientes conceptos.

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una vía, estableciendo, con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto tridimensional que supone, para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración en su entorno, la armonía o estética, la economía y la elasticidad.

La funcionalidad vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar y sus características, así como por el volumen y propiedades del tránsito, permitiendo una adecuada movilidad por el territorio a los usuarios y mercancías a través de una suficiente velocidad de operación del conjunto de la circulación.

La seguridad vial debe ser la premisa básica en cualquier diseño vial, inspirando todas las fases del mismo, hasta las mínimas facetas, reflejada principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños.

La economía o el menor costo posible, tanto de la ejecución de la obra, como del mantenimiento y la explotación futura de la misma, alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos o criterios.

El presente título DISEÑO GEOMÉTRICO se ha desarrollado en base al *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas VCHI - 2005*, *Manual de carreteras - Diseño Geométrico (DG - 2014)*, de los cuales se obtienen los parámetros de diseño.

2.8.2 Fundamentos y secuencia del diseño geométrico

El Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas VCHI – 2005, no incluye las siguientes actividades, las mismas que recomienda sean efectuadas previamente por constituir fundamentos del diseño:

- A. Clasificación De Vías.- objeto de diseño, definiendo la función que desempeñara dentro del sistema vial dentro del cual es parte integrante, y propiciando el establecimiento de diversos parámetros de diseño.
- B. Diagnóstico Y Estudios De Base.- tales como topográfico, tráfico y geotécnico.
- C. Definición De Velocidades Y Vehículos De Diseño
- D. Inversión Requerida Y Rentabilidad Esperada
- E. Reglamentación Y Criterios De Diseño.- los proyectos se desarrollan usualmente sobre la base de criterios y estipulaciones contenidas en manuales, normas o estipulaciones de diseño.

2.8.3 Clasificación de las vías urbanas

Según *VCHI S.A., (2005)*, el sistema de clasificación que se plantea es aplicable a todo tipo de vías públicas urbanas terrestres, ya sean calles, jirones, avenidas. La

clasificación adoptada considera cuatro categorías principales: Vías Expresas, Arteriales, Colectoras y Locales. La forma de cada vía cumple las funciones propias de su tipo está asociada a determinados parámetros de diseño como son: la velocidad de diseño, características del flujo, control de accesos y relación con otras vías, número de carriles, servicio a propiedades adyacentes, transporte público y estacionamiento y carga y descarga de mercaderías. Lo cual se puede apreciar en la tabla N° 17.

Tabla 21: Parámetros De Diseño Vinculados A La Clasificación De Vías Urbanas

ATRIBUTOS Y RESTRICCIONES	VÍAS EXPRESAS	VÍAS ARTERIALES	VÍAS COLECTORAS	VÍAS LOCALES
Velocidad de Diseño	Entre 80 y 100 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente.	Entre 50 y 80 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 40 y 60 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 30 y 40 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.
Características del flujo	Flujo ininterrumpido. Presencia mayoritaria de vehículos livianos. Cuando es permitido, también por vehículos pesados. No se permite la circulación de vehículos menores, bicicletas, ni circulación de peatones.	Debe minimizarse las interrupciones del tráfico. Los semáforos cercanos deberán sincronizarse para minimizar interferencias. Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos, correspondiendo el flujo mayoritario a vehículos livianos. Las bicicletas están permitidas en ciclovías	Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos y el flujo es interrumpido frecuentemente por intersecciones a nivel. En áreas comerciales e industriales se presentan porcentajes elevados de camiones. Se permite el tránsito de bicicletas recomendándose la implementación de ciclovías.	Está permitido el uso por vehículos livianos y el tránsito peatonal es irrestricto. El flujo de vehículos semipesados es eventual. Se permite el tránsito de bicicletas.
Control de Accesos y Relación con otras vías	Control total de los accesos. Los cruces peatonales y vehiculares se realizan a desnivel o con intercambios especialmente diseñados. Se conectan solo con	Los cruces peatonales y vehiculares deben realizarse en pasos a desnivel o en intersecciones o cruces semaforizados. Se conectan a vías expresas, a otras vías arteriales y a vías	Incluyen intersecciones semaforizadas en cruces con vías arteriales y solas señalizadas en los cruces con otras vías colectoras o vías locales. Reciben soluciones especiales	Se conectan a nivel entre ellas y con las vías colectoras.

	otras vías expresas o vías arteriales en puntos distantes y mediante enlaces. En casos especiales, se puede prever algunas conexiones con vías colectoras, especialmente en el Área Central de la ciudad, a través de vías auxiliares	colectoras. Eventual uso de pasos a desnivel y/o intercambios. Las intersecciones a nivel con otras vías arteriales y/o colectoras deben ser necesariamente semaforizadas y considerarán carriles adicionales para volteo.	para los cruces donde existían volúmenes de vehículos y/o peatones de magnitud apreciable	
Número de carriles	Bidireccionales: 3 o más carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 2 ó 3 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 1 ó 2 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 carriles Bidireccionales: 1 carril/sentido
Servicio a propiedades adyacentes	Vías auxiliares laterales	Deberán contar preferentemente con vías de servicio laterales.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio generado.
Servicio de Transporte público	En caso se permita debe desarrollarse por buses, preferentemente en " <i>Carriles Exclusivos</i> " o " <i>Carriles Solo Bus</i> " con paraderos diseñados al exterior de la vía.	El transporte público autorizado debe desarrollarse por buses, preferentemente en " <i>Carriles Exclusivos</i> " o " <i>Carriles Solo Bus</i> " con paraderos diseñados al exterior de la vía o en bahía.	El transporte público, cuando es autorizado, se da generalmente en carriles mixtos, debiendo establecerse paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo.	No permitido
Estacionamiento, carga y descarga de mercaderías	No permitido salvo en emergencias.	No permitido salvo en emergencias o en las vías de servicio laterales diseñadas para tal fin. Se regirá por lo establecido en los artículos 203 al 225	El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes, especialmente destinadas para este objeto. Se regirá por lo establecido en	El estacionamiento está permitido y se regirá por lo establecido en los artículos 203 al 225

		del RNT vigente.	los artículos 203 al 225 del RNT vigente.	del RNT vigente
--	--	------------------	---	-----------------

Fuente: VCHI S.A., (2005)

2.8.4 Velocidad de diseño

Es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancia de visibilidad, sobreelevaciones, ancho de carriles y acotamientos, anchuras y alturas libres etc., dependen de la velocidad de proyectos y varían con un cambio de esta.

La selección de la velocidad de proyecto depende de la importancia o categoría de la futura vía, de los volúmenes de tránsito que va a mover, de la configuración topográfica de la región, del uso del suelo y de la disponibilidad de recursos económicos.

2.8.5 Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia que recorre un vehículo desde el momento en el que logra observar una situación de riesgo hasta que el conductor logra detenerlo. Para el cálculo de esta distancia se debe entender que existen dos momentos claramente diferenciados en el proceso de detener el vehículo:

El tiempo de percepción – reacción, es un intervalo de tiempo que requiere a ser humano para comprender, analizar, decidir y reaccionar accionando el freno, se mide desde la observación de la situación. En la tabla 22 se muestra valores de distancia de visibilidad de parada en terrenos planos.

Tabla 22: Distancia de Visibilidad de Parada en Terrenos Planos

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia (m)
30	30
40	45
50	63
60	85
70	111
80	140
90	169
100	205
110	247
120	286

Fuente: Manual de diseño geométrico de vías urbanas CVHI – 2005

2.8.6 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal, o las características del diseño geométrico en planta, deberán permitir, en lo posible, la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar en promedio la misma velocidad directriz en la mayor longitud de vía que sea posible.

2.8.6.1 Alineamientos rectos

El trazado de una vía urbana contiene usualmente alineamientos rectos, los cuales ofrecen ventajas de orientación, entre otras. Usualmente la longitud de los alineamientos rectos está condicionada por las características del derecho de vía, sin embargo, cuando es posible decidir sobre las mismas, sobre todo en zonas habitacionales donde las vías locales tienen restricciones de velocidad, conviene intercalar trazados curvos por las ventajas de la variedad paisajista que estos ofrecen, así como por el control de velocidad que inducen, ello sin descuidar la comodidad visual del conductor.

2.8.7 Alineamiento vertical

En las vías urbanas normalmente no se tiene la posibilidad de escoger entre opciones de paso para tantear alternativas, por eso la topografía suele ser condicionante de los diseños alimétricos de las vías.

2.8.7.1 Perfil longitudinal

Es una línea que se emplea en el diseño para presentar gráficamente la disposición vertical de la vía respecto al terreno. Esta línea suele estar asociada al eje del trazo definido en la planta, identificándose a lo largo de su desarrollo las variaciones de las cotas del terreno y de la rasante de la vía

2.8.7.2 Tangentes verticales

Más conocido como pendiente, se conoce como pendiente al cociente entre variación vertical y variación horizontal expresada en porcentaje:

$$p(\%) = \frac{d(cota)}{d(longitudinal)} * 100 \tag{2.31}$$

Tabla 23: Pendientes Máximas

TIPO DE VIA	TERRENO PLANO	TERRENO ONDULADO	TERRENO MONTAÑOSO
Vía expresa	3%	4%	4%
Vía arterial	4%	5%	7%
Vía colectora	6%	8%	9%
Rampas de acceso	Según topografía	10%	10%
	6% - 7%	8% - 9%	8% - 9%

Fuente: Manual de diseño geométrico de vías urbanas VCHI (2005)

2.8.7.3 Pendientes mínimas

La pendiente mínima está gobernada por problemas de drenaje, es así que si el bombeo de la calzada es de por lo menos 2% se puede aceptar pendientes mínimas de 0.3%, para casos de bombeo menor usar como pendiente mínima 0.5%.

2.8.7.4 Pendientes máximas

En vías urbanas, cuando se tiene la posibilidad de elegir la pendiente a emplear en un alineamiento vertical, se deberá tener presente las consideraciones económicas, constructivas y los efectos de la gradiente en la operación vehicular.

2.8.7.5 Curvas verticales

Es la alineación de la proyección de la línea curva cualquiera en el plano vertical, esta indica el cambio de inclinación o pendiente del eje longitudinal de la vía.

La forma de unir dos tramos en tangente con pendientes diferentes es a través de curvas verticales, estas curvas es del tipo parabólica y se adoptan así por la suavidad de transición en el cambio de pendientes y su facilidad de cálculo.

Cuando la velocidad directriz de la vía es menor a 50 km/h. se deberá diseñar una curva vertical siempre que la diferencia algebraica de pendientes sea mayor a 1%. Para los casos en los que la velocidad sea mayor a 50 km/h. se aplicará las curvas verticales en pendientes de diferencia algebraica mayor a 0.5%.

Según la forma en que las dos pendientes se encuentran se requerirá el diseño de una curva vertical Cóncava o Convexa. En cualquiera de los casos, estas curvas se trazan gracias a la tabulación de fórmulas cuadráticas del tipo $y = kx^2$.

2.8.8 Características geométricas en secciones transversales

2.8.8.1 Número de carriles

La determinación del número de carriles y consecuentemente del ancho de la calzada, en un principio, se define en los estudios de planificación de la red vial y de transporte urbano. El número mínimo de carriles en una calzada con sentido único es lógicamente uno y el máximo sugerido es cuatro. Este máximo es en realidad un criterio estrictamente referencial ya que en caso de que la demanda sugiera un mayor número de

carriles puede convenir establecer dos calzadas por sentido. La primera de ellas, probablemente ubicada más hacia el centro de la vía y destinada a los vehículos con un recorrido más largo, y la otra operaría como vía Colectora.

2.8.8.2 Ancho de carriles

El ancho recomendable para los carriles de una vía dependerá principalmente de la clasificación de la misma y de la velocidad de diseño adoptada, sin embargo no siempre será posible que los diseños se efectúen según las condiciones ideales.

Tabla 24: Ancho de Carriles

Clasificación de vías	Velocidad (Km/Hr)	Ancho recomendable (Mts)	Ancho mínimo de carril en pista normal (Mts) (2, 3)	Ancho mínimo de carril único del tipo solo bus (Mts)	Ancho de dos carriles juntos (Mts) (5)
Local	30 a 40	3.00	2.75	3.50 (4)	6.50
Colectora	40 a 50	3.30	3.00	3.50 (4)	6.50
	50 a 60	3.30	3.25	3.50	6.75
Arterial	60 a 70	3.50	3.25	3.75	6.75
	70 a 80	3.50	3.50	3.75	7.0
Expresas	80 a 90	3.60	3.50	3.75	7.25
	90 a 100	3.60	3.50	No aplicable	No aplicable

Fuente: Manual de diseño geométrico de vías urbanas VCHI - 2005

Notas:

1. Los anchos indicados son válidos solo en tramos rectos. Para zonas de curva ver la sección relativa a diseño de curvas horizontales del presente manual.
2. El uso de los anchos mínimos exige trazados con clotoides para velocidades iguales o mayores a 50 km/hora.
3. Si el porcentaje de vehículos pesados excede el 10% entonces el mínimo para $V < 70$ Kms/hora es 3.25 mts y para $V \geq 70$ Kms/hora es 3.50 mts.
4. Si el carril es único, como por ejemplo para el caso de accesos o salidas, entonces deberá adicionarse dos (2) metros al ancho mínimo.
5. Si dos carriles juntos han de ser de distinto sentido – no recomendable- el mínimo ancho para las dos vías será el doble del mínimo ancho para los carriles solo Bus.

2.8.8.3 Bombeo y Peralte

En lo que respecta a la pendiente de las secciones transversales debe tenerse presente que el diseño geométrico de vías urbanas presenta condicionamientos altimétricos especiales para los bordes de las vías debido a la obligación de producir empalmes coherentes y estéticos con los demás elementos urbanos. Debido a ello, no siempre será posible introducir las recomendaciones para las pendientes transversales, sean estas relativas al bombeo o al peralte.

- **Bombeo**

La pendiente de las secciones transversales en tramos rectos o “bombeo” tiene por objeto facilitar el drenaje superficial. Esta inclinación puede ser constante en todo el ancho o presentar discontinuidad en el eje de simetría para que el drenaje se produzca hacia ambos bordes. La magnitud del bombeo dependerá del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona. Ver tabla N° 21.

Tabla 25: Bombeo de la Calzada

Ancho Mínimo de Carril de Pista Normal (2.75 m.)	Bombeo (%)	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación > 500 mm/año
Pavimento Superior	2.0	2.5
Tratamiento Superficial	2.5 ^(*)	2.5 – 3.0
Afirmado	3.0 – 3.5 ^(*)	3.0 – 4.0

(*) En climas definitivamente desérticos se puede rebajar los bombeos hasta un mínimo de 1.0% para pavimento superior y un valor de 2.0% para el resto.

Fuente: Manual de diseño geométrico de vías urbanas VCHI (2005)

2.8.8.4 Separadores o Bermas centrales

Son superficies generalmente elevadas, delimitadas usualmente por sardineles, alargadas en sentido paralelo a las calzadas y que tiene por objeto principal separar

físicamente dos corrientes de tráfico, incrementando la seguridad y creando espacios para los giros vehiculares y refugio a los peatones.

2.8.8.5 Sardineles

Son elementos que delimitan la superficie de la calzada, vereda, berma, andén, o cualquier otra superficie de uso diferente, formada por elementos prefabricados de concreto, vaciados en sitio, colocados con anclajes o sobre cimientos de concreto o adheridos con pegamento si el pavimento es asfáltico.

Tienen el propósito de limitar el espacio de circulación, para que los vehículos circulen solamente en las calzadas, con confort y seguridad y que los peatones se sientan protegidos en las veredas, bermas centrales o islas de canalización, realzando altimétricamente estas últimas áreas.

CAPÍTULO III

3 INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para el diseño de pavimento es necesario conocer las características y propiedades físicos y mecánicos del suelo, como parte de la estructura del pavimento, permitiendo conocer y entender su comportamiento.

La determinación de las características, propiedades y resistencias relativas del suelo de fundación (sub rasante), sobre el cual se proyectara la construcción de la estructura del pavimento, el mismo que se ha desarrollado a través de resultados de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas en la zona.

En consecuencia del estudio de suelo realizado se determina el Modulo de Reacción de la Sur Rasante (K), que es el suelo de fundación en este caso, mediante correlaciones con el ensayo de CBR del suelo.

Las principales funciones de la estructura del pavimento, es resguardar la sub rasante frente a las cargas impuestas por el tránsito vehicular y por lo que debe de ser diseñado para que soporte a las necesidades del tránsito durante un periodo para el que fue diseñado, por lo tanto se debe de predecir su crecimiento relacionado a las cargas vehiculares para el cálculo de valores que nos permitan realizar el diseño correspondiente.

El método recomendado de diseño de estructura de pavimento propuesto por Portland Cement Association (PCA), es hallar los espesores mínimos del pavimento respecto a la losa de concreto, con consideraciones de dos criterios, como son, por Fatiga y Erosión, la primera por los esfuerzos producidos por la acción repetitiva de las cargas y la

segunda para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes, juntas y esquinas, y controlar así la erosión.

Otro método recomendado para el diseño de la estructura del pavimento rígido es el método ASSHTO 93, incluye parámetros de diseño el drenaje, la presencia de bermas y la erosionabilidad de la base, a diferencia de otros métodos, éste método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

Es diseño de una estructura de pavimento considera, el diseño de los dispositivos de transferencia de cargas entre losas de concreto y las juntas en el pavimento.

El pavimento rígido reforzado considera juntas con dispositivos de transferencia de carga (dowels, pasadores, etc.), y acero de refuerzo en la estructura de la losa de concreto que cumple la función de acero como refuerzo por temperatura.

El cálculo del refuerzo en el pavimento rígido es con recomendaciones de planteadas por los métodos de AASHTO y PCA y obtener la opción más factible para que la estructura del pavimento cumpla con las proyecciones estimadas.

3.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

3.2.1 Trabajos realizados

En esta etapa se ha obtenido todos los datos posibles y necesarios para el levantamiento topográfico, y se procedió de acuerdo al siguiente orden:

- Reconocimiento de terreno.
- Delimitación de las áreas de interés, (señalización y monumentación).
- Control geodésico con GPS.
- Levantamiento topográfico con la Estación Total de la zona del proyecto y adyacentes.
- Procesamiento de información, (trabajos en gabinete).

3.2.2 Reconocimiento del terreno de la zona. Avenida Perú Tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro)

Fase en la que se recorrió todo el tramo del proyecto, y se ubicaron los posibles vértices de la poligonal teniendo en cuenta la visibilidad de los vértices, de manera que nos permita realizar el levantamiento topográfico para toda la zona del proyecto. La poligonal que se considera consta de 6 vértices: A, B, C, D, E y F, Señalización Y Monumentación.

La señalización y monumentación se realizó una vez definidos los vértices o puntos de cambio y, se procedió a monumentar con estacas de fierro, de manera que no sean removidos. El B.M-01. que nos sirvió para realizar el levantamiento topográfico, se ubicó un punto fijo de un lugar conocido, dicho lugar debe de tener conocido las cotas del punto, en base a dicha cota se procederá a realizar el levantamiento con ayuda de un Estación Total.

El punto B.M.-01, que se ubicó en la avenida Perú (Buzón de desagüe en la intersección del jirón Francisco Pizarro con la avenida Perú) cuyos datos se obtuvieron mediante un GPS.

- Norte : 8 286 456.55 m
- Este : 380 367.97 m
- Cota : 3 838.13 m



Figura 15: Punto B.M. – 01, del levantamiento Topográfico
Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 Levantamiento topográfico con estación total.

Primero que todo, se observó el terreno a representar con la finalidad de adelantarse a cualquier problema que se pudiera presentar en la toma de datos, para empezar se ubicó dos puntos conocidos, en nuestro caso fueron el B.M.-01 y A, así mismo para las mediciones se establecieron puntos auxiliares, los cuales nos permitieron hacer cambios para las observaciones a todo el espacio a trabajar, estas se denominaron A, B, C, D, E y F, posicionados generalmente en las esquinas y conformando una poligonal cerrada.

A partir de la inspección previa, se decidió tomar la mayoría de las observaciones desde los puntos de cambio que se realizaron a lo largo del eje de la vía, para la mejor visibilidad de los puntos deseados.

Al mismo instante se procede a representar manualmente en la libreta topográfica, uno con el croquis y observaciones de los procedimientos y el segundo con los valores de las medidas ordenados por cada punto.

3.2.4 Trabajos de gabinete

Es la etapa en la que se realizaron todos los cálculos, en el siguiente orden:

- Ordenamiento y procesamiento de los datos de campo.
- Impresión de los puntos del trazo y otros detalles del terreno.

- Dibujo de los planos.

A partir de un levantamiento topográfico podemos determinar las características que tendrá el estudio, obteniéndose alternativas y soluciones económicas más adecuadas.

3.2.5 Equipos empleados:

Para el presente estudio se emplearon los siguientes equipos:

- Estación Total TopCon.
- GPS.
- Prismas y bastón para prisma.
- Radios intercomunicadores portátiles.

3.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO

Terreno de fundación

Los datos requeridos son obtenidos mediante los estudios realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Municipalidad Provincial de San Román, para sus respectivas determinaciones y análisis del material de suelo, para ello se determina la clasificación del suelo (Método AASHTO y SUCS), se ubica de manera precisa la naturaleza del terreno, posteriormente se define las características de formación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que se trabaja.

Se practicaron por cada calicata los siguientes ensayos;

Ensayos de caracterización.

- Ensayos de Contenido de Humedad.
- Análisis Granulométrico por Tamizado.
- Límites de Consistencia.
 - Limite Líquido
 - Limite Plástico.
 - Índice de Plasticidad.

La importancia de conocer mediante estos ensayos es en la necesidad de clasificar el suelo de la sub rasante, mediante estos datos se realicen el diseño del pavimento rígido adecuado.

Ensayos de comportamiento y/o resistencia.

- Ensayo de Proctor Modificado.
- CBR.

El Ensayo de Proctor Modificado nos determina el básicamente el contenido de Humedad óptima y la densidad máxima del suelo.

El CBR radica que por medio de estos valores se determina las características de resistencia del suelo.

Como anteriormente se manifiesta que los ensayos realizados son en laboratorio, por medio de ello se define y/o describe la estratigrafía del suelo de la siguiente manera; para ello se toma en consideración 3 calicatas representativas que son: CALICATA N° 02, CALICATA N° 03 y CALICATA N° 05 parte de las calicatas muestreados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – MPSR/J, se tiene:

- La estratigrafía de la calicata N° 01 está compuesto de suelos arcillosos de baja plasticidad de tipo CL y de clasificación A-7-6 (8). Con cobertura de relleno diseminado de 0.50 m.
- La estratigrafía de la calicata N° 02 está compuesto de suelos arenas limosas, mezcla de arenas y limos de baja plasticidad de tipo SM y de clasificación A-2-4 (0). Con cobertura de relleno diseminado de 0.50 m

- La calicata N° 03 está compuesto de suelo arenas limosas mezcla de arcilla baja plasticidad de tipo SC y de clasificación A-6(3). Con cobertura de relleno diseminado de 0.00 m.
- La calicata N° 04 está compuesto de suelos arenas limosas mezcla de arcilla baja plasticidad de tipo SC y de clasificación A-6(3).Con cobertura de relleno diseminado de 0.00 m
- La calicata N° 05 está compuesto de suelos arcillosos de baja plasticidad de tipo CL y de clasificación A-4(5).Con cobertura de relleno diseminado de 0.30 m

Los estudios específicos se encuentran en el anexo 1, en la parte de estudios específicos de estudio de suelos.

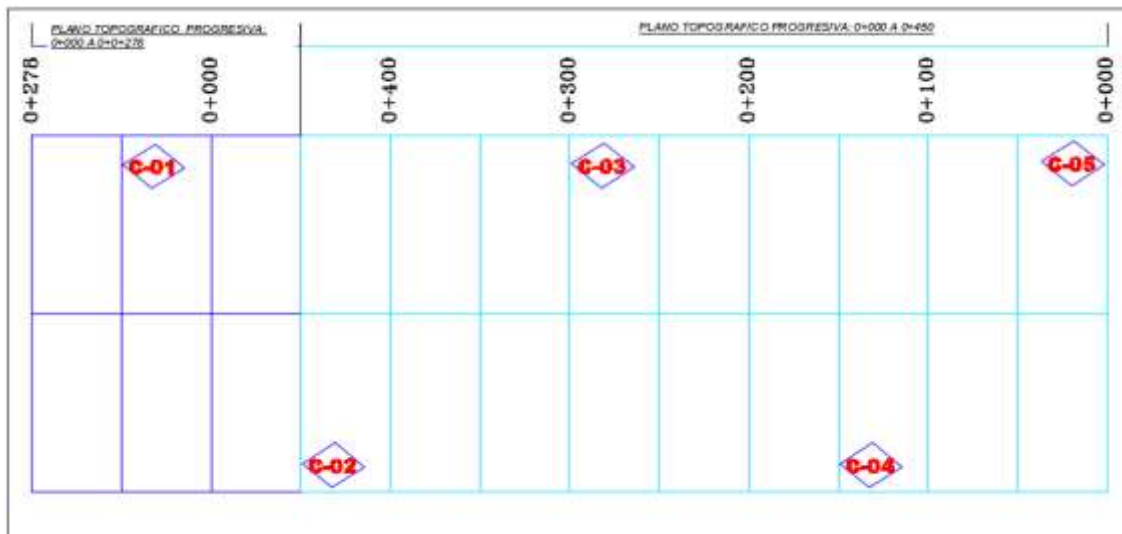


Figura 16: Ubicación de las Calicatas a lo largo de la Av. Perú
Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio del terreno de fundación.

Se puede apreciar los resultados en cuadro que se muestra a continuación, realizado en las muestras tomadas del terreno de fundación.

Tabla 26: Resultados de ensayos realizados por calicatas.

DESCRIPCIÓN	CALICATA N° 02	CALICATA N° 03	CALICATA N° 05
Contenido de Humedad.	23.91%	18.92%	27.31%
Clasificación (AASHTO).	A-2-4(0)	A-6(3)	A-6(8)
Clasificación (SUSC).	SM	SC	CL
Limite Líquido.	25.07%	35.32%	29.33%
Limite Plástico.	NP%	12.38%	21.74%
Índice de Plasticidad.	NP%	1238%	7.58%
Máxima Densidad Seca (g/cc).	2.020 g/cm3	1.93 g/cm3	1.82 g/cm3
Contenido de Humedad Óptimo (%).	9.40 %	12.40%	12.60%
CBR al 100% del M. D. C. (%).	40.30%	12.30%	12.60%
CBR al 95% del M. D. C. (%)	23.05%	8.8%	19.0%

Fuente: datos obtenidos del laboratorio de suelos y pavimentos (MPSR-J).

3.3.2 Determinación del CBR de diseño (sub rasante)

De los resultados obtenidos mediante los ensayos realizados en laboratorio y de las muestras obtenidas de las calicatas del terreno, las más representativas, procederemos a hallar el CBR de diseño.

Los resultados se procesan por medios estadísticos que permitan la selección de un valor correcto de resistencia de diseño para cada unidad de suelo predominante de cada una de ellas.

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

Tabla 27: Límites para la selección de resistencia.

Número de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia (%)
$< 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Alonso Montejó Fonseca, Ingeniería de pavimentos, p.22

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos se toma los CBR al 95% de la M.D.S (%), podemos determinar el CBR de diseño para el terreno de fundación, considerando un ESAL de diseño de **1.19E+06** ejes simples equivalentes.

- Se ordena los valores de resistencia de menor a mayor, y se determina el número y porcentajes iguales o mayores de cada uno, como se muestra a continuación en la Tabla 28.

Tabla 28: Determinación de CBR de Diseño (sub rasante).

Resultados de Ensayos de CBR (de menor a mayor)	Numero de Resultados Iguales o Mayores	% de Resultados Iguales o Mayores
8.8	3	100.00%
19.0	2	66.67%
23.05	1	33.33%

Fuente: Elaboración propia

- Se dibuja un gráfico de relación entre los CBR, con los porcentajes anteriores calculados, de la curva resultante se determina el CBR de diseño para un percentil en este caso que es 87.5%.

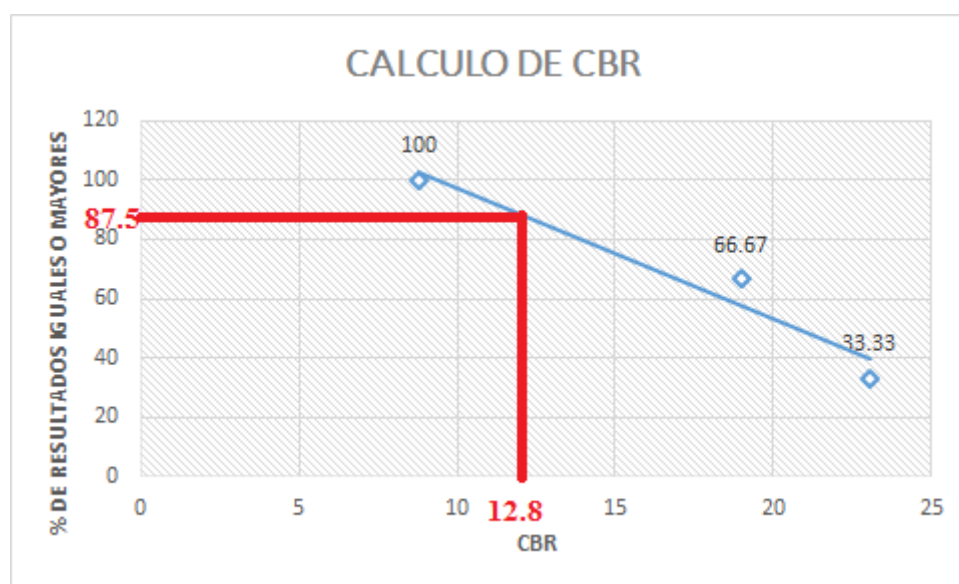


Figura 17: cálculo de CBR de diseño.
Fuente: Elaboración Propia

Como ve en el grafico anterior se determina el CBR de Diseño a un percentil de 87.5% según condiciones de estudio de tráfico, el **CBR = 12.8 %**.

3.3.3 Determinación de la resistencia de la sub rasante o del conjunto de sub rasante y sub base (Modulo K)

El grado de soporte de la sub-rasante (terreno de fundación) o del conjunto de sub rasante y sub-base del pavimento, es el segundo factor de diseño de la estructura del pavimento, se define en términos del Módulo de Reacción de la sub rasante y la sub base (k), formulado por Weestergaard.

Obtenida del Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica de Pavimento Urbanos, CE – 010, los valores tentativos de la sub rasante (k) tomando en cuenta, existe relación con el CBR de diseño = 12.8 % de la figura se obtiene el valor la resistencia de la sub rasante (K) como se muestra a continuación.

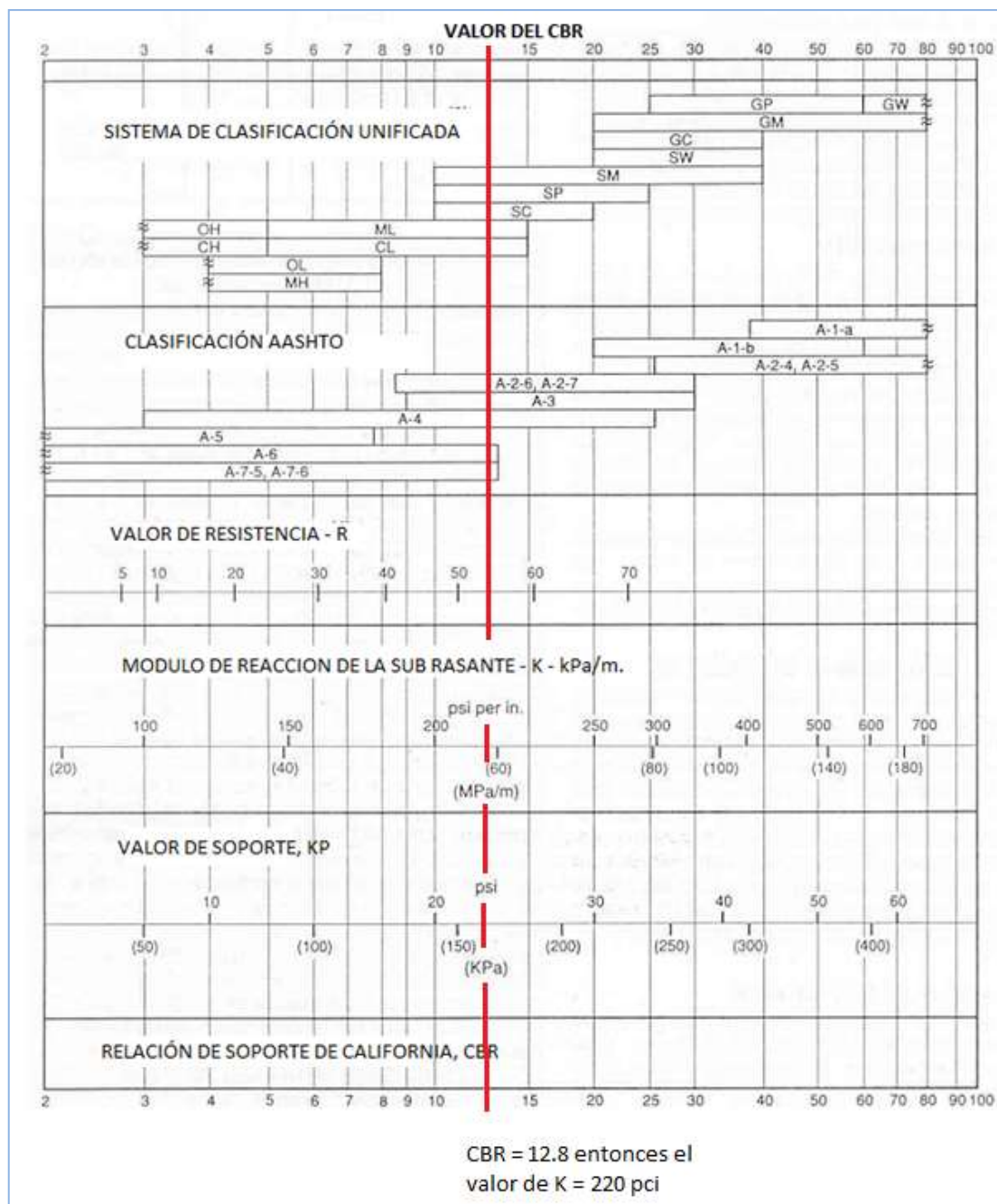


Figura 18: Determinación aproximada entre los valores de resistencia y clasificación del suelo..
Fuente: Reglamento nacional de edificaciones – norma técnica.

Como se muestra en la figura anterior se determina el valor del **Módulo de Reacción de la Sub Rasante (K) = 220 pci; lb/pulg³**.

Por tanto en recomendaciones de laboratorio de suelo se opta por incorporar un capa de Sub base con un espesor de 300 mm, por ello necesariamente el valor de Modulo de Reacción de la sub rasante es combinado con la sub base del pavimento para ello se

utiliza la siguiente Tabla 29, se muestra el incremento que es de esperarse en el valor del módulo de reacción (K), si se coloca una capa de sub base granular no Tratada que en la zona son muy convencionales su utilización.

Tabla 29: valor del módulo de reacción (k) con la influencia de la sub base.

EFECTO DE LA SUB BASE GRANULAR SOBRE LOS VALORES DE K									
VALORES DE K PARA SUB RASANTE		VALOR DE LA K PARA SUB RASANTE COMBINADA							
		100 m.m.		150 m.m.		225 m.m.		300 m.m.	
Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3	Mpa/m	Lb/pulg3
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Ingeniería de pavimentos. Ing. Alonso Montejo Fonseca.

Como se puede ver en la tabla anterior se determina el valor de K para sub rasante combinada, que causa el incorporar una capa de sub base, para ello el valor de **K = 330 pci (lb/pulg3, psi/pulg)**, valor que nos permite realizar el diseño de la estructura del pavimento rígido para los métodos del PCA y del AASHTO.

3.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para el presente estudio, contamos con la información de la base de datos de la Estación Meteorológica De Juliaca (tabla 30), que corresponde a una estación climatológica ordinaria, ubicada en la provincia de San Román, distrito de Juliaca a 3 861.00 msnm.

Tabla 30: Determinación de la Precipitación Máxima De La Estación De Juliaca

MES	TEMPERATURA (°C)				PRECIPITACIONES (mm)			
	TEMPERATURA MÁXIMA		TEMPERATURA MÍNIMA		ACUMULADO	DEFICIT (-) / EXCESO %	MAX PRECIPITACION EN 24 HORAS	FRECUENCIA A DIAS DE PREC.
MEDIA	ANOMALIA	MEDIA	ANOMALIA					
dic-06	19.00	0.30	3.90	1.70	73.90	-28.30%	23.50	17.00
ene-07	18.10	1.00	4.60	0.80	92.40	-42.20%		
feb-07	18.40	1.90	4.60	0.30	43.70	-70.70%		
mar-07	16.30	-0.90	4.20	1.10	235.00	136.90%	39.30	24.00
abr-07	17.10	-0.40	2.90	1.80	66.10	86.20%	24.90	12.00

may-07	17.40	-0.10	-1.20	3.60	3.60	-53.20%	3.10	2.00
jun-07	17.30	0.80	-4.90	3.60	0.20	-89.50%	0.10	2.00
jul-07	16.40	0.30	5.20	3.80	6.50	32.70%	5.90	2.00
ago-07	18.60	1.60	-4.80	2.50	0.01	-100.00%	0.00	0.00
sep-07	17.30	-1.20	0.50	4.70	18.20	-22.90%	5.70	11.00
oct-07	29.60	3.30	16.20	2.20	89.60	9.50%	23.00	16.00
nov-07	18.90	-0.50	1.10	1.00	84.60	105.30%	33.50	9.00
dic-07	18.50	-0.20	3.50	1.30	66.60	-35.40%	22.00	11.00
ene-08	16.10	-1.00	4.90	1.10	220.80	38.10%	45.00	29.00
feb-08	17.20	0.70	4.20	-0.10	69.10	-53.60%	11.10	19.00
mar-08	17.10	0.00	2.40	-1.20	58.50	-52.90%	11.00	15.00
abr-08	18.80	0.10	-1.90	-3.10	6.20	-83.60%	5.10	4.00
may-08	17.40	0.00	-6.30	-2.00	0.60	-89.10%	0.40	2.00
jun-08	16.80	0.20	-7.00	0.60	1.00	-41.20%	0.61	2.00
jul-08	16.40	0.20	-8.30	-0.10	0.00	-100.00%	0.00	0.00
ago-08	17.80	0.40	-6.70	-0.40	1.10	-85.50%	0.90	2.00
sep-08	19.20	1.10	-4.10	-0.70	1.80	-92.10%	1.10	4.00
oct-08	18.70	-0.10	1.90	2.80	61.30	3.90%	25.20	9.00
nov-08	20.10	0.90	2.80	2.10	37.10	-29.50%	13.80	11.00
dic-08	17.20	-1.50	5.00	2.40	193.20	106.20%	33.60	25.00
ene-09	17.10	0.10	4.10	0.10	85.90	40.70%	27.90	19.00
feb-09	16.50	-0.50	4.30	0.00	170.30	52.10%	28.90	17.00
mar-09	16.60	-0.50	6.60	0.00	95.90	-22.90%	27.50	13.00
abr-09	17.10	-0.20	0.60	-0.60	13.70	-63.80%	7.80	6.00
may-09	17.30	-0.10	-3.80	0.50	0.01	-100.00%	0.00	0.00
jun-09	16.90	0.30	-9.10	-1.50	0.00	-100.00%	0.00	0.00
jul-09								
ago-09	17.80	0.40	-7.30	-0.90	0.20	-97.00%	0.20	1.00
sep-09	19.50	1.20	-2.30	1.20	8.10	-59.90%	6.10	7.00
	TEMPERATURA (°C)				PRECIPITACIONES (mm)			
	TEMPERATURA MAXIMA		TEMPERATURA MINIMA		ACUMULADO	DEFICIT (-) / EXCESO %	MAX PRECIPITACION EN 24 HORAS	FRECUENCIA DIAS DE PREC.
MES	MEDIA	ANOMALIA	MEDIA	ANOMALIA				
oct-09	20.30	1.50	0.90	1.40	51.20	-13.70%	33.80	8.00
nov-09	19.70	0.40	4.60	3.60	83.80	65.30%	18.30	13.00
dic-09	18.80	0.30	4.60	1.70	89.50	-15.70%	18.00	15.00
ene-10	17.60	0.70	5.70	1.60	98.70	-36.60%	20.20	21.00
feb-10	17.70	0.70	5.90	1.60	127.60	20.50%	17.10	21.00
mar-10	18.50	1.40	3.70	0.30	48.00	-57.40%	12.50	10.00
abr-10	19.30	1.80	1,1	0.40	7.70	-75.00%	4.80	8.00

may-10	18.30	0.90	-3.20	1.30	13.80	228.60%	10.00	4.00
jun-10								
jul-10	18.00	1.70	-8.10	-0.10	0.40	-89.20%	0.40	1.00
ago-10	19.10	1.60	-5.80	0.70	0.00	-100.00%	0.00	0.00
sep-10	20.20	1.80	-2.90	0.40	0.40	-97.90%	0.20	2.00
oct-10	20.00	1.00	0.50	0.90	14.00	-76.00%	9.40	10.00
nov-10	21.10	1.70	-0.30	-1.70	19.90	63.40%	11.90	5.00
dic-10	18.30	-0.20	3.30	0.20	98.60	-5.50%	10.90	21.00
ene-11	18.20	1.30	4.40	0.30	49.20	-66.50%	6.90	17.00
feb-11	15.80	-1.30	5.40	0.90	184.00	59.30%	55.40	24.00
mar-11	16.30	-0.90	4.40	0.90	71.80	-31.90%	12.90	19.00
abr-11	17.80	0.10	1.10	0.30	12.70	-55.70%	7.30	5.00
may-11	17.80	0.30	-2.80	1.50	5.80	11.50%	4.80	5.00
jun-11	17.20	0.40	-6.30	1.10	0.00	-100.00%	0.00	0.00
jul-11	16.50	0.00	5.80	2.20	4.90	48.50%	2.60	3.00
ago-11	18.30	0.70	-4.20	2.20	4.70	-20.30%	2.50	3.00
sep-11	17.90	-0.70	-0.60	2.70	18.50	8.80%	4.30	11.00
oct-11	19.40	0.30	-0.10	0.20	32.00	-41.90%	7.50	10.00
nov-11	20.00	0.40	2.60	1.40	56.70	11.40%	21.00	9.00
dic-11	17.60	-0.90	4.20	1.10	161.50	55.70%	32.10	17.00
ene-12	16.60	-0.40	4.60	0.30	129.20	-8.80%	22.10	22.00
feb-12	15.20	-1.90	5.00	0.50	147.80	28.00%	23.00	24.00
mar-12	16.00	-1.20	4.20	0.70	124.80	18.40%	20.70	22.00
abr-12	16.40	-1.30	3.40	2.60	62.70	121.60%	14.00	13.00
may-12	16.80	-0.70	-3.40	1.10	0.00	-100.00%	0.00	0.00
jun-12	16.60	-0.20	-5.40	2.00	0.20	-84.60%	0.10	2.00
jul-12	17.00	0.50	-6.80	1.20	0.00	-100.00%	0.00	0.00
ago-12	17.70	0.10	-5.80	0.60	20.30	244.10%	20.00	3.00
sep-12	18.60	-0.10	-2.30	1.00	0.40	244.10%	0.30	2.00
	TEMPERATURA (°C)				PRECIPITACIONES (mm)			
	TEMPERATURA MAXIMA		TEMPERATURA MINIMA		ACUMULADO	DEFICIT (-) / EXCESO %	MAX PRECIPITACION EN 24 HORAS	FRECUENCIA DIAS DE PREC.
MES	MEDIA	ANOMALIA	MEDIA	ANOMALIA				
oct-12	20.00	0.90	0.70	1.00	10.10	-81.70%	7.10	4.00
nov-12	20.20	0.60	2.50	1.30	25.20	-50.50%	9.00	8.00
dic-12	17.10	-1.40	5.00	1.90	166.20	60.30%	29.10	23.00
ene-13	16.30	-0.70	4.70	0.40	154.40	9.00%	19.80	27.00
feb-13	16.30	-0.80	5.60	1.10	133.70	15.80%	27.90	23.00
mar-13	17.80	0.60	3.70	0.20	50.00	-52.50%	11.60	13.00
abr-13	18.70	0.90	1.70	-2.50	9.60	-66.10%	6.60	3.00
may-13	17.90	0.40	2.30	-2.00	5.00	-3.80%	2.60	4.00

jun-13	16.20	-0.60	-5.20	2.20	7.00	438.50%	3.80	5.00
jul-13	16.70	0.20	-4.80	3.20	2.50	24.20%	2.10	4.00
ago-13	17.00	-0.70	-4.70	1.50	7.90	38.60%	3.80	3.00
sep-13	19.20	0.70	-3.80	-0.80	9.60	-43.90%	5.00	5.00

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

En la Tabla 30 obtenemos el máximo valor de precipitación en 24 horas registrada para un periodo considerable de años de medición el cual es igual a **55.4 mm**, correspondiente al día 23 del mes de febrero del 2011. Este dato será necesario para poder calcular el caudal de diseño correspondiente al área de estudio para de esta manera poder realizar el dimensionamiento de las estructuras de drenaje pluvial.

3.4.1 Estudio Hidráulico

3.4.1.1 Cálculo del coeficiente de escorrentía

Para determinar el coeficiente de escorrentía se tiene la tabla 31, del cual obtenemos:

Tabla 31: Cálculo de Coeficiente de Escorrentía Para ser Utilizados en el MÉTODO RACIONAL

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 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 a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, RNE (2009)

De acuerdo a las características del terreno (Concreto/techos); para un periodo de retorno de 20 años el coeficiente de escorrentía a usar es igual **C = 0.855**.

3.4.1.2 Cálculo de la intensidad de precipitación

Para determinar los parámetros a , b , K y E_g , utilizamos la figura 5; y según las Tablas 8 y 9, que muestran los valores de los parámetros buscados para cada Sub Región Hidrológica.

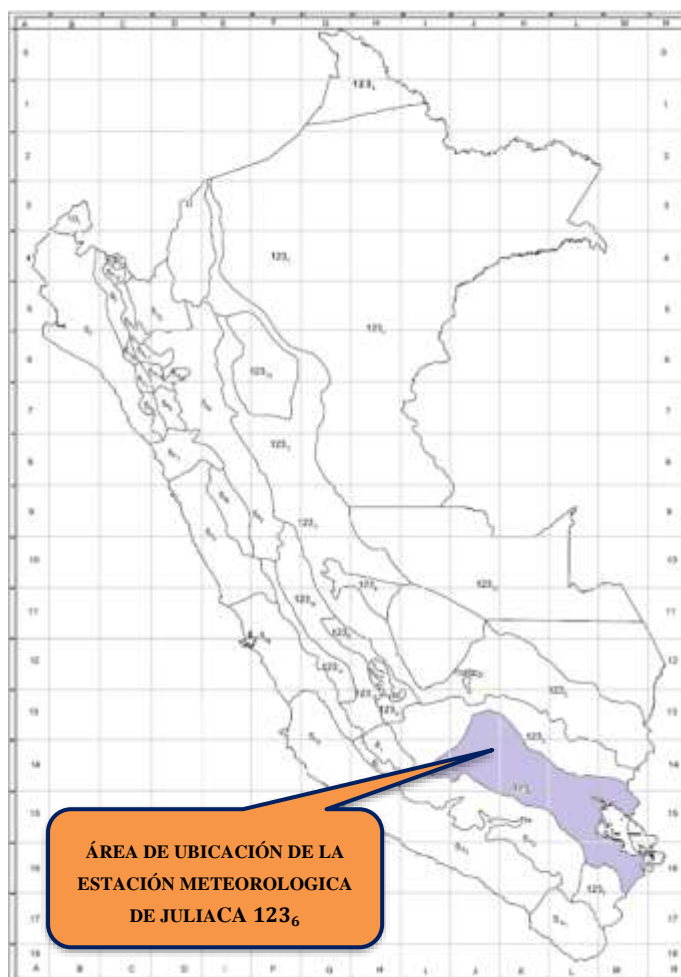


Figura 19: Ubicación de la Estación Meteorológica de Juliaca 123₆
Fuente: Instituto Ítalo Latinoamericano –IILA, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología –SENAMHI (1983)

Para ubicar el área del proyecto de acuerdo a la Figura 19, el área del proyecto se ubica en la subregión hidrológica 123₆, para lo cual se determinó los parámetros como se muestra en las Tablas 32 y 33.

- K : 0.553
- E_g : 30.50

- a : 11.00 mm.
- n : 0.38

Tabla 32: Determinación De Valores De Los Parámetros K Y E_g , para la Zona 123 y Sub Zona 123₆

ZONA	K	SUB ZONA	E_g
123	0.553	123 ₁	85.0
		123 ₂	75.0
		123 ₃	100-0.022*Y
		123 ₄	70-0.019*Y
		123 ₅	24.0
		123 ₆	30.5
		123 ₇	-2+0.06*Y
		123 ₈	26.6
		123 ₉	23.3
		123 ₁₀	6+0.005*Y
		123 ₁₁	1+0.005*Y
		123 ₁₂	75.0
		123 ₁₃	70.0

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, R.N.E. (2009).

Nota: Y = Altitud en m.s.n.m.; D_c = Distancia a la cordillera en Km; D_m = Distancia al mar en Km.

Tabla 33: Determinación Valores de los Parámetros n y a , para la Sub Zona 123₆

SUB ZONA	ESTACION	Nº TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 ₁	321-385	2	0.357	32.2
123 ₃	384-787-805	3	0.405	$a = 37,85 - 0,0083 Y$
123 ₁₃	244-193	2	0.432	
123 ₇	850-903	2	0.353	9.2
123 ₆	840-913-918 958	4	0.380	11.0
123 ₈	654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0.232	14.0
123 ₉	769	1	0.242	12.1
123 ₁₀	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0.254	$a = 3,01 + 0,0025 Y$
123 ₁₁	508-667-719 750-771	5	0.286	$a = 0,46 + 0,0023 Y$
5a ₂	935-968	2	0.301	$a = 14,1 - 0,078 D_c$
5a ₅	559	1	0.303	$a = -2,6 + 0,0031 Y$
5a ₁₀	248	1	0.434	$a = 5,80 + 0,0009 Y$

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento R.N.E., (2009)

De acuerdo a la ubicación de la estación meteorológica de Juliaca, el valor de b y t_g será:

- b : 0.4 horas (sierra)
- t_g : 15.9 para todo el Perú

Finalmente, teniendo todos estos valores, procedemos a reemplazar los valores en la ecuación 2.8 y 2.9 para poder obtener las curvas IDF por el método IIIA:

$$i_{(t,T)} = 11 * (1 + 0.553 * \text{Log } T) * (t + 0.4)^{0.38-1}$$

$$i_{(t,T)} = 11 * (1 + 0.553 * \text{Log } T) * (t + 0.4)^{-0.62}$$

Utilizando la expresión anterior se calcula las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para el área de estudio, para diversos períodos de retorno, tal como se muestra en la Tabla 34, así como las respectivas curvas IDF en la Figura 20.

Tabla 34: Valores de Intensidad de Precipitación

t DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/h)					
	PERIODO DE RETORNO PR (años)					
	5	10	20	50	100	200
15	35.59	39.86	44.13	49.78	54.05	58.32
20	29.86	33.45	37.03	41.77	45.36	48.94
25	26.05	29.18	32.31	36.44	39.57	42.70
30	23.30	26.09	28.89	32.59	35.38	38.18
40	19.52	21.86	24.21	27.31	29.65	31.99
50	17.01	19.06	21.10	23.80	25.84	27.89
60	15.20	17.03	18.86	21.27	23.09	24.92
70	13.82	15.48	17.14	19.34	21.00	22.66
80	12.73	14.26	15.79	17.81	19.34	20.87
90	11.84	13.26	14.68	16.56	17.98	19.40
100	11.09	12.42	13.75	15.51	16.85	18.18
110	10.46	11.71	12.97	14.63	15.88	17.14
120	9.91	11.10	12.29	13.86	15.05	16.24

Fuente: Elaboración propia

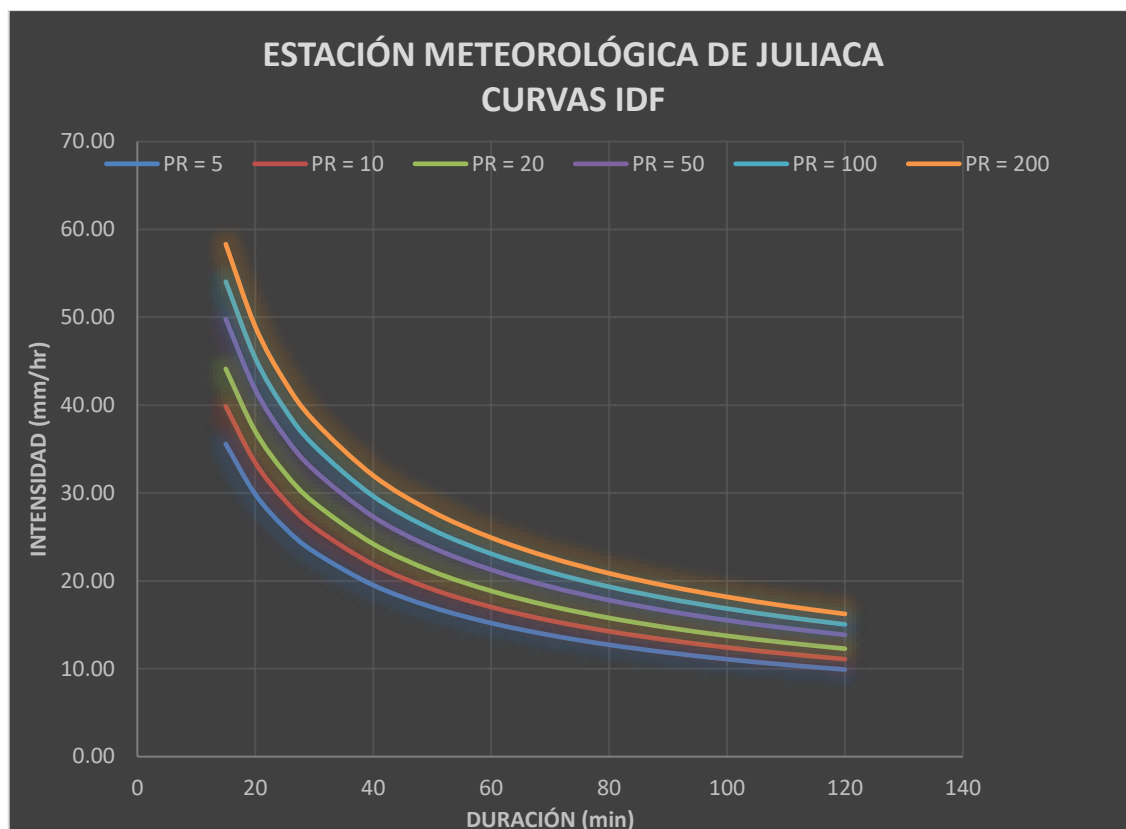


Figura 20: Curva De Intensidad – Duración – Frecuencia Para La Estación De Juliaca, Fuente: Elaboración propia

La Figura 20 muestra las curvas IDF para periodos de retorno y duración de precipitación variables, por ello es necesario calcular cada uno de estos valores.

- **Cálculo del periodo de retorno.**

Para calcular el riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por la ecuación (2.10) del Marco Teórico:

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

Para el cálculo del riesgo admisible se tiene en Marco Teórico la tabla 10, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra.

Tabla 35: Determinación de Riesgo Admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2008)

Nota:

- (*) Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.
- (**) Vida Útil considerado n=25 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Según la Tabla 35, para cunetas, el riesgo admisible es igual a 64% y considerando la vida útil del proyecto igual a 20 años (obtenido dentro del Estudio de Tráfico), considerando la ecuación anterior el periodo de retorno a considerar será:

$$0.64 = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{20}$$

$$T = 20.08 \cong 20 \text{ años}$$

- **Cálculo de la duración de la lluvia**

Para el cálculo de la Duración de la Lluvia se hizo uso de la Ecuación (2.11)

$$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Para poder obtener la longitud hidráulica de la cuenca (L), nos ayudamos del plano PH-01 (Plano Hidrológico), a fin de obtener la mayor trayectoria de flujo de una gota de agua hasta desembocar en las estructuras de drenaje pluvial; de este plano obtenemos que la mayor trayectoria de flujo comprende desde Pasaje hasta el Jr. Francisco Pizarro con una distancia total de 432.70 m.

$$L = 459.60 \text{ metros}$$

Según el Plan Director de Juliaca (2004-2015), la pendiente promedio de la ciudad de Juliaca es de 2.5 %; por lo cual consideramos:

$$S = 0.025$$

Las características del suelo encontrado en el área de estudio determinan que este pertenece al Grupo C, por otro lado teniendo en cuenta la Tabla 35, para pavimentos con cunetas y alcantarillados, el valor para el número de curva CN es igual a 98. Teniendo en cuenta estos valores procedemos a calcular el tiempo de concentración:

$$t_c = \frac{0.0136 * 459.60^{0.8} \left(\frac{1000}{98} - 9\right)^{0.7}}{0.025^{0.5}}$$

$$t_c = 15.92 \text{ minutos}$$

Tabla 36: Determinación del Valor de Intensidad de Precipitación

DESCRIPCION DE USO DE TIERRA		GRUPO HIDROLOGICO			
		A	B	C	D
Tierra Cultivada					
Sin tratamiento de conservación		72	81	88	91
Con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales					
Condiciones pobres		68	79	86	89
Condiciones optimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones optimas		30	58	71	78
Bosques					
Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas		45	66	77	83
Cubierta buena		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en 75% o más.		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
¼ acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
½ acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentos con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: Chow, Maidment, & Mays, (1994)

El cual redondeando al valor más próximo para las duraciones mostradas en la Tabla 36 este será igual a 15 minutos.

Una vez hallado estos dos valores, podemos determinar la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 20 años y una duración de 15 minutos, como se muestra en la tabla 37, de donde se obtiene el siguiente resultado.

$$i = 44.13 \text{ mm/hr}$$

Tabla 37: Determinación de intensidad de Lluvia

t DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/h)					
	PERIODO DE RETORNO PR (años)					
	5	10	20	50	100	200
15	35.59	39.86	44.13	49.78	54.05	58.32
20	29.86	33.45	37.03	41.77	45.36	48.94
25	26.05	29.18	32.31	36.44	39.57	42.70
30	23.30	26.09	28.89	32.59	35.38	38.18
40	19.52	21.86	24.21	27.31	29.65	31.99
50	17.01	19.06	21.10	23.80	25.84	27.89
60	15.20	17.03	18.86	21.27	23.09	24.92
70	13.82	15.48	17.14	19.34	21.00	22.66
80	12.73	14.26	15.79	17.81	19.34	20.87
90	11.84	13.26	14.68	16.56	17.98	19.40
100	11.09	12.42	13.75	15.51	16.85	18.18
110	10.46	11.71	12.97	14.63	15.88	17.14
120	9.91	11.10	12.29	13.86	15.05	16.24

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 Cálculo del caudal de diseño

Para la obtención del área de drenaje se tuvo en cuenta el sentido de los flujos pluviales para cada manzana que aporta las aguas pluviales a la estructura a diseñar, para lo cual fue necesario reconocer estos sentido de drenaje en campo. El resultado de ello se muestra en la Figura 21.

De la figura 21, se obtienen las siguientes áreas tributarias:

Tabla 38: Áreas tributarias

AREAS TRIBUTARIAS	ÁREA DE DRENAJE (m2)
A1	6524.85
A2	8274.29
A3	25468.19
A4	12549.16
A5	5622.14
A6	7664.84

Fuente: Elaboración propia

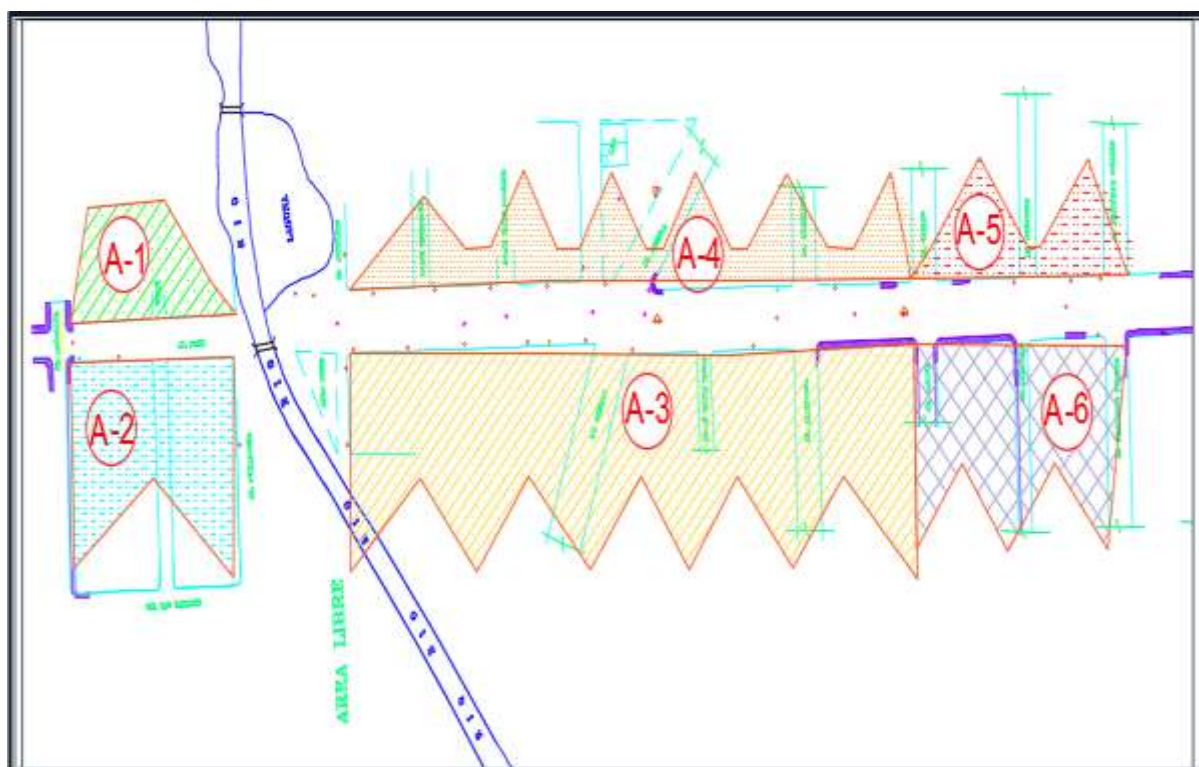


Figura 21: Áreas a Drenar Dentro de la Zona de Estudio

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo los siguientes resultados del título anterior:

- $I = 44.13 \text{ mm/h}$
- $C = 0.855$

Procedemos a calcular los caudales, así mismo teniendo todas las áreas tributarias se ara reemplazo en la ecuación (2.7), la cual es:

$$Q = \frac{10^6 * C * i * A}{3.6}$$

Tomando todo los datos que se tiene, y reemplazando a la ecuación se obtiene los siguientes caudales:

Tabla 39: Áreas tributarias

CUNETETA	ÁREA DE DRENAJE (m2)	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C)	INTENSIDAD (mm/h)	CAUDAL (m³/seg)	CAUDAL (lt/seg)	CAUDAL ACUMULADO (m³/seg)
C1	6524.85	0.855	44.13	0.06838614	68.3861372	0.0683
C2	8274.29	0.855	44.13	0.0867218	86.7217992	00.155
C3	25468.19	0.855	44.13	0.26692892	266.928916	0.4220
C4	12549.16	0.855	44.13	0.13152618	131.526177	00.553
C5	5622.14	0.855	44.13	0.05892495	58.9249466	0.6124
C6	7664.84	0.855	44.13	0.08033423	80.3342299	0.6928

Fuente: Elaboración propia

Los valores de caudal acumulado visibles en la Tabla 39, son los caudales de diseño a considerar para el dimensionamiento de las estructuras de drenaje pluvial.

3.4.2 Diseño de estructuras de drenaje pluvial

Se determinará el caudal para una sección circular, parabólica, trapezoidal, rectangular, triangular y una semi triangular.

La forma que conviene dar a una sección dada para que escurra el mayor caudal posible, es lo que se ha llamado sección de máxima eficiencia hidráulica, entonces el caudal es máximo si el perímetro mojado es mínimo para una sección constante.

Tabla 40: Cálculo de Caudal de la Sección

Datos:	Sección Circular	Sección Parabólica	Sección Trapezoidal	Sección Rectangular	Sección Triangular	Sección Semi Triangular
	$\Theta = 180^\circ$		$z = 0.58$	$z = 0.0$	$z = 3.3$	$z = 2.5$
	$y = 0.15$	$y = 0.15$	$y = 0.20$	$y = 0.20$	$y = 0.12$	$y = 0.20$
	$T = 0.30$	$T = 0.50$	$T = 0.48$	$T = 0.35$	$T = 0.80$	$T = 0.50$
	$n = 0.012$	$n = 0.012$	$n = 0.012$	$n = 0.012$	$n = 0.012$	$n = 0.012$
	$D = 0.30$		$b = 0.25$	$b = 0.35$		
	$p = 0.47$	$p = 0.62$	$p = 0.71$	$p = 0.75$	$p = 0.84$	$p = 0.74$
	$A = 0.04$	$A = 0.05$	$A = 0.07$	$A = 0.07$	$A = 0.05$	$A = 0.03$
$R = 0.08$	$R = 0.08$	$R = 0.11$	$R = 0.09$	$R = 0.06$	$R = 0.05$	
área	CAUDAL					
	Qs (L/s)	Qs (L/s)	Qs (L/s)	Qs (L/s)	Qs (L/s)	Qs (L/s)
A2	40.4	60.0	103.1	110.8	11.26	53.40

Fuente: Propia

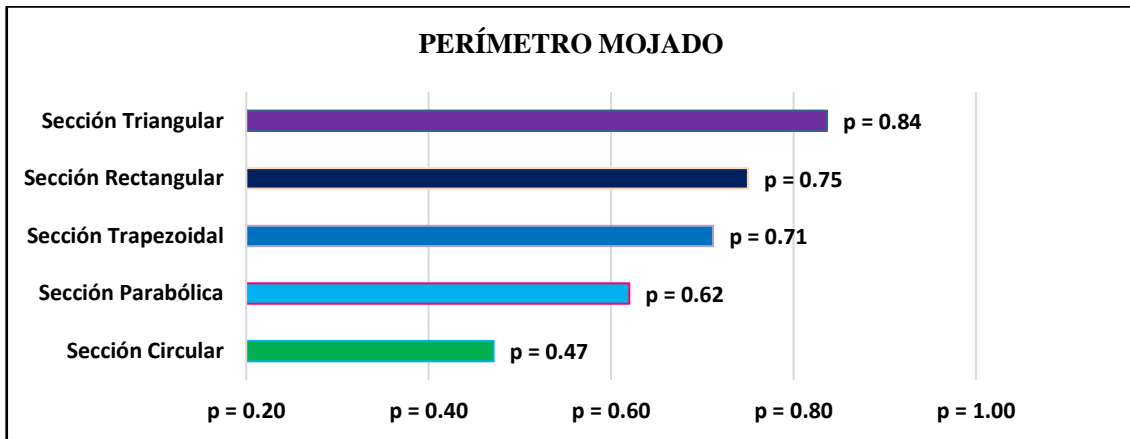


Figura 22: Perímetro mojado

Fuente: Propia

Se puede apreciar que la sección de máxima eficiencia hidráulica es la circular.

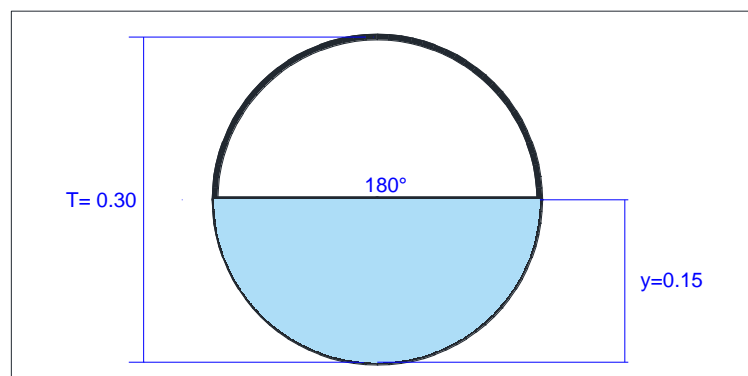


Figura 23: Sección de cuneta circular

Fuente: Propia

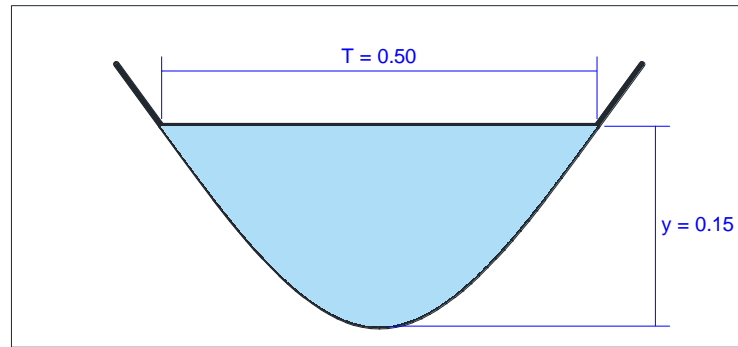


Figura 24: Sección de cuneta parabólica
Fuente: Propia

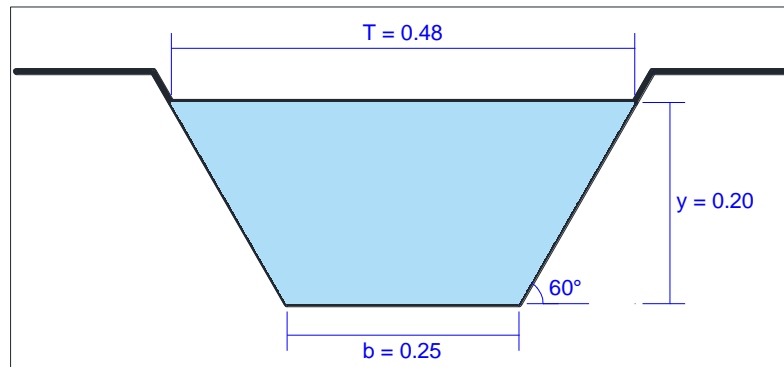


Figura 25: Sección de cuneta trapezoidal
Fuente: Propia

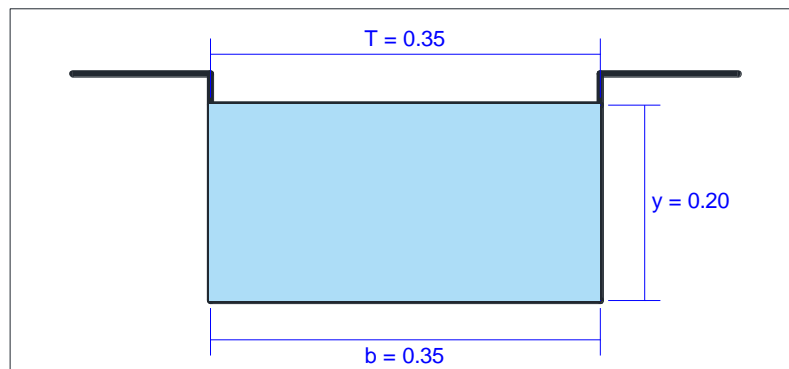


Figura 26: Sección de cuneta rectangular
Fuente: Propia

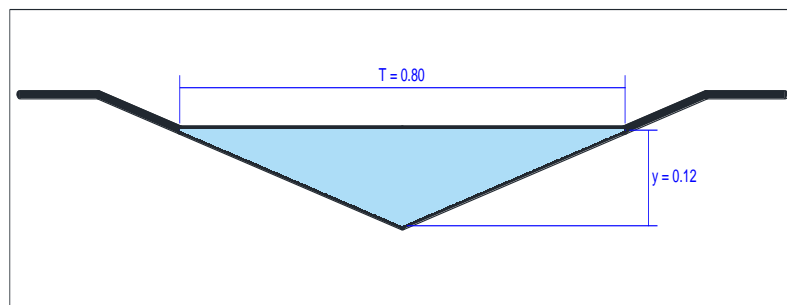


Figura 27: Sección de cuneta triangular
Fuente: Propia

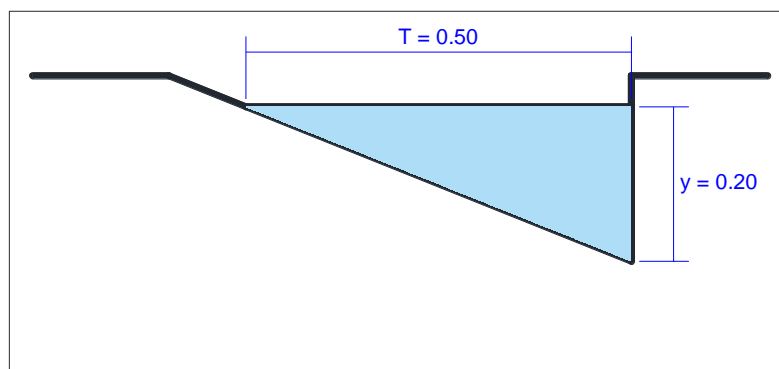


Figura 28: Sección de cuneta semi triangular
Fuente: Propia

Se considerará la sección de tipo triangular y semi triangular para nuestro proyecto por ser las más apropiadas permisible a nivel constructivo.

Tabla 41: Verificación $Q_s > Q_a$

Área	Longitud m	Cota Superior m.s.n.m.	Cota Inferior m.s.n.m.	Pendiente (S) m/m	Sección Triangular (Qs) Lt/seg	Caudal de Aporte (Qa) Lt/seg	Obs. Qs > Qa
A1	163.12125	3839.44	3837.34	0.0128	347.625	68.38	cumple
A2	206.85725	3838.45	3837.23	0.0058	325.406	86.72	cumple
A3	636.70475	3837.84	3837.28	0.0008	346.255	266.92	cumple
A4	313.729	3837.84	3837.42	0.0013	302.487	131.52	cumple
A5	140.5535	3837.84	3836.54	0.0092	284.596	58.92	cumple
A6	191.621	3837.84	3836.54	0.0067	289.258	80.33	cumple

Fuente: Propia

3.5 ESTUDIO DE TRANSITO

3.5.1 Análisis de tránsito.

Para el análisis de tránsito se toma en cuenta la clasificación de vehículos y del Aforo Vehicular: Para obtener información sobre el tránsito vehicular se consideró el conteo visual de vehículos que pasan sobre los puntos de referencia más críticas de la vía en este caso de la Av. Perú, se determina tres estaciones ubicados en los Jr. Mantaro, Jr. Azángaro y Jr. Francisco pizarro que son vías de intersección con la avenida.

Los datos recolectados se realizaron durante una semana y/o siete días, del que se determinaría el Transito Promedia Diario Semanal, que comprende entre los días de 10 de noviembre hasta el 16 de noviembre del año 2014.

Del aforo vehicular para estudio de tráfico, del ANEXO 1: se tiene el siguiente cuadro de resumen:

Tabla 42: resumen de conteo vehicular diario.

TIPO DE VEHICULOS	A	B	C
1er. Día	1280	20	81
2do. Día	1025	16	61
3er. Día	1170	18	60
4to. Día	1048	10	67
5to. Día	1037	20	85
6to. Día	912	22	66
7to. Día	1182	15	69
Total	7654	121	489

Total Acumulado	8,264
------------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro mostrado anteriormente se describe la distribución vehicular de lo siguiente:

- A = Vehículos Livianos (Automóviles, Camionetas, Micros, Combis)
- B = Buses.
- C = Camiones, Semi Trayler, Trayler.

Del estudio de tráfico para el diseño estructural del pavimento no se toma en cuenta los vehículos tipo A, porque se considera que no incide en el Diseño del Pavimento.

Del cual se determina el **Transito Promedio Diario Semanal (TPDS)**, que es un total de 7 de Días;

$$TPDS = \frac{\text{Total Acumulado de Vehiculos}}{7} \tag{3.1}$$

Con la Aplicación de la Ecuación 3.1 se obtiene el valor del tránsito promedio diario semanal.

$$TPDS = (8,264) / 7 = 1,181 \dots\dots\dots(\text{Vehículos / días del aforo vehicular})$$

Para la distribución de vehículos del TPDS según la clasificación de los vehículos se tiene el siguiente cuadro.

Tabla 43: resumen de conteo vehicular diario.

Tipo de Veh.	TPDS	%	Vol. De Veh.
A	1181	93%	1093
B	1181	1%	17
C	1181	6%	70

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Cálculo del tránsito promedia diario anual (TPDA).

Obtenida los datos de la muestra, sujetas a las mismas técnicas de análisis, permiten generalizar el comportamiento de la población. No obstante, antes de que los resultados se puedan generalizar, se debe analizar la variabilidad de la muestra para así estar seguros con cierto nivel de confiabilidad, que esta se puede aplicar a otros números de casos no incluidos, y que forman parte de las características de la población.

$$TPDA = TPDS \pm A \quad (3.2)$$

A: Máxima Diferencia entre el TPDA y el TPDS.

Donde:

$$A = K E \quad (3.3)$$

K: Numero de desviaciones estándar correspondientes al nivel de confiabilidad deseada que son de 90% y 95% y que tienen constantes de $K = 1.64$ y 1.95 respectivamente.

E = Error estándar de la media.

Por lo tanto. También se puede describir mediante la Ecuación 3.4 que:

$$E = \sigma' \quad (3.4)$$

Donde:

σ' = Estimador de la desviación estándar poblacional.

$$\sigma' = \frac{s}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad (3.5)$$

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

n = Tamaño de la muestra en número de días del aforo, 7 días.

N = Tamaño de la población en número de días del año, 365 días.

Si “S” se calcula como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n-1}} \tag{3.6}$$

Donde:

TD: Transito del día “i”.

Se tiene la distribución por días del 1ro al 7mo, para el cálculo de desviación estándar de los volúmenes de tránsito recolectados en los aforamientos, para la determinación de nivel poblacional el transito promedio diario anula a partir de la distribución que se viene a continuación.

Tabla 44: Resumen de vehículos para el cálculo del tránsito promedio diario anual.

TIPO DE VEHICULOS	TD	TPDS	$\Sigma(TD-TPDS)^2$
1er. Día	1381	1,181	40,000
2do. Día	1102	1,181	6,241
3er. Día	1248	1,181	4,489
4to. Día	1125	1,181	3,136
5to. Día	1142	1,181	1,521
6to. Día	1000	1,181	32,761
7to. Día	1266	1,181	7,225
Total (Sumatoria)	8,264	121	95,373

Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación de la Ecuación 3.6 y de la Tabla 3.7 se tiene lo siguiente:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{95,373}{7 - 1}} = 126$$

Se reemplaza el valor de S = 126 a la Ecuación 3.5 se obtiene lo siguiente:

$$\sigma' = \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) = \frac{126}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{365-7}{365-1}} \right) = 47 \text{ vehiculos}$$

Para un nivel de confiabilidad de 95% se tiene un $k = 1.64$ entonces el TPDA según la Ecuación 3.2:

$$TPDA = TPDS \pm A = TPDS \pm K\sigma' = 1,181 + 1.64(47) = 1,158$$

Se tiene que **TPDA = 1,158 Vehículos / día**, a partir de una muestra en este caso un periodo de una semana.

3.5.3 Determinación y distribución de vehículos comerciales.

Vehículos como son los trayler, semi trayler y otros, dicha distribución es para la determinar del Factor Camión, con los Factores de Equivalencias propuesto por el MOPT-INGERROUTE.

El Pronóstico del Volumen de Tránsito Futuro; en un pavimento debe ser diseñado para soportar el transito actual y a aquel que pase durante su vida de servicio. Reconociendo que no es fácil calcular tales cargas, puesto en el transito futuro intervienen factores muy complejos, tales como los cambios en la economía regional, en la población y el uso de la tierra a lo largo de la vía durante el periodo de diseño. Sin embargo, son aproximados para su estimación razonable a partir de datos de transito existente y mediante análisis estadísticos. El estimativo requiere indispensablemente del conocimiento del valor de la tasa anual de crecimiento del tránsito, el cual es indispensable para efectuar proyecciones como son de mediados y largos plazos.

Los Volúmenes de Transito Futuro; Para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual y del incremento del tránsito esperado al final del periodo. Se tiene para el transito actual se compone por tránsito existente y el transito atraído, por otro lado para el incremento de tránsito se tiene compuesto por el incremento normal del tránsito, del tránsito generado y del tránsito desarrollado. Para tal efecto como se había

mencionado son estimaciones razonables también se define el Factor de Proyección, como la relación entre el Tránsito Futuro y el Transito Actual, que son especificados para cada año futuro por lo que comúnmente se tiene para un periodo de diseño de 20 años que varía entre 1.5 a 2.5.

3.5.4 Transito acumulado de vehículos comerciales.

Para el propósito de diseño se debe calcular el número total de vehículos comerciales (camiones y buses) durante un periodo de diseño. Este valor se obtiene de la siguiente manera.

$$T \text{ Acumuldo} = TPDA \times \% \text{ de VC} \times FS \times FP \times FC \times Pd \times 365 \quad (3.7)$$

Donde:

- T Acumulado: Transito Acumulado de Vehículos Comerciales.
- TPDA: Transito Promedio Diario Anual.
- % de VC: Porcentaje de Vehículos Comerciales (camiones, buces y otros)
- FS: Factor de Sentido.
- FP: Factor de Proyección.
- FC: Factor Carril.
- Pd: Periodo de Diseño

3.5.5 Periodo de diseño.

El periodo de diseño es la vida teórica del pavimento, No representa necesariamente la vida real del pavimento, dado que es difícil predecir con suficiente aproximación, comúnmente se toma un lapso de periodo de 20 años para diseños de pavimento rígidos de calles o carreteras resultando en algunos casos económicamente justificado.

3.5.6 Factor de proyección.

Es la relación entre el Tránsito Futuro y el Transito Actual, que son especificados para cada año futuro por lo que comúnmente se tiene para un periodo de diseño de 20 años

que varía entre 1.5 a 2.5, para tal efecto se presenta la Tabla 46, donde el Factor de Proyección se relaciona con la Tasa de Crecimiento Anual, determinado mediante la Tabla 45, que nos proporcionan cantidad de vehículos por departamentos y/o regiones anualmente, del cual determinamos la Tasa de Crecimiento Anual de Transito (r) entre los años de 1998 y 1999.

Tabla 45: Parque automotor del Perú, según departamentos.

Departamento	2008	2009
Total	1 640 970	1 732 834
Amazonas	2 218	2 292
Áncash	21 001	21 309
Apurímac	3 934	3 973
Arequipa	91 674	98 270
Ayacucho	5 404	5 572
Cajamarca	12 383	13 563
Cusco	39 688	42 175
Huancavelica	1 216	1 291
Huánuco	11 255	11 382
Ica	25 498	25 691
Junín	47 769	49 404
La Libertad	155 411	156 646
Lambayeque	41 920	43 689
Lima 1/	1 036 850	1 106 444
Loreto	5 132	5 089
Madre de Dios	913	941
Moquegua	12 202	12 692
Pasco	6 807	7 187
Piura	33 497	34 650
Puno	29 889	31 645
San Martín	9 917	9 977
Tacna	35 911	38 457
Tumbes	3 040	3 054
Ucayali	7 441	7 441

Tasa de Crecimiento Anual de Tránsito (r), r = 5,88

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones oficina general de planificación y presupuesto.

Para este caso como se muestra en cuadro anterior se opta por un valor de $r = 5,88$, (r =tasa de crecimiento anual del tránsito) perteneciente a la región de Puno para ello se

toma como valor de definitivo el $r = 5.5$ y/o $5 \frac{1}{2}$ asumiendo el dicho valor por la irregularidades en zonas respecto al tránsito vehicular, de donde se determina el Factor de Proyección para periodos de 20 años de acuerdo con las recomendaciones del PCA.

Los factores que relacionan a continuación influyen sobre las tasas de crecimiento del tránsito:

- Tránsito Atraído.
- Crecimiento Normal del Tránsito.
- Tránsito Generado.
- Tránsito desarrollado.

Tabla 46: tasa anual de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores.

Tasa anual de Crecimiento del Tráfico, %	Factor de Proyección, 20 años	Factor de Proyección, 30 años
1	1.1	1,2
1 ½	1.2	1,3
2	1.2	1,3
2 ½	1.3	1,4
3	1.3	1,6
3 ½	1.4	1,7
4	1,5	1,8
4 ½	1.6	1,9
5	1.6	2,1
5 ½	1.7	2,2
6	1.8	2,4

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, p 422

Se determina el factor de proyección del tránsito para un periodo de diseño de 20 años que es el Factor de Proyección (FP) = 1.7.

3.5.7 Factor de sentido y factor de carril

El factor de sentido, en la mayoría de casos, se asume que los pesos y volúmenes de vehículos pesados viajando en cada dirección son iguales, por lo que se considera un factor de sentido igual a 0.5, Si la vía será de un solo sentido, el factor será igual a 1.0, siendo dicho ajuste realizado durante el conteo de los vehículos (aforamiento). Se debe

analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril, para lo cual la PCA recomienda utilizar la figura 27.

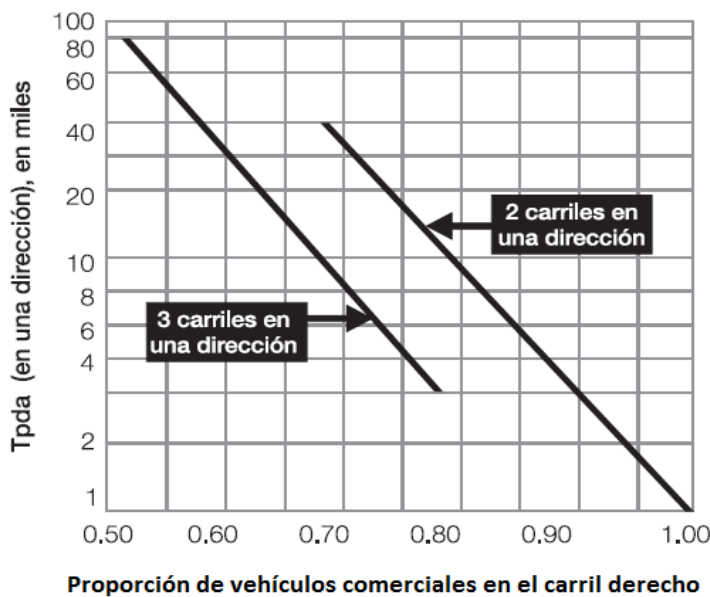


Figura 29: Proporción de vehículos comerciales en el carril derecho de una carretera de carriles múltiples. Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, p. 422.

La vía de la Av. Perú del Tramo (Jr. Azángaro - Jr. Pumacahua) en mención se determina que solo se cuenta con un carril en una dirección y/o sentido, siendo esta la Capacidad de la vía al tránsito vehicular que pasa, entonces el

Factor de Carril (FC) = 1.00.

3.5.8 Cálculo del tránsito acumulado

Se tiene el cuadro distribuido según la Ecuación y por medio de la Tabla 47 se realiza el cálculo del Transito Acumulado:

$$T \text{ Acumulado} = TPDA \times \% \text{ de VC} \times FS \times FP \times FC \times Pd \times 365 \quad (3.7)$$

Tabla 47: Datos para un tránsito acumulado.

Tipo de Veh.	TPDA	%	Factor Sentido (FS)	Factor de Proyección (FP)	Factor Carril (FC)	Periodo de Diseño (Pd)	Días	T Acumulado
A	1,158	93%	50%	1.7	1	20	365	668,2412
B	1,158	1%	50%	1.7	1	20	365	71,853
C	1,158	6%	50%	1.7	1	20	365	431,123

Fuente: Elaboración propia.

Del cual se determina el número de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Transito Acumulado de Vehículos Comerciales = **502,974 vehículos.**

3.5.9 Determinación de numero de ejes equivalentes de 8.2 toneladas

La determinación de numero de ejes equivalentes 8.2 ton. En carril de diseño y durante un periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos comerciales a ejes simples mediante el factor camión.

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

- **Factor Equivalente de Carga (LEF, por sus siglas en ingles)**

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

LEF

$$= \frac{\text{N}^\circ \text{ de ESALs de 80 KN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de Ejes } x \text{ KN que produce la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

- **Factor camión (FC)**

De la distribución realizada anteriormente se tiene lo siguiente: C2 = 63%; C3 = 24%; C4 = 4%, y los vehículos mayores a C4 se tiene un porcentaje de 9%, que para efectos de determinar el factor camión se puede estimar a partir de los factores de equivalencias propuesto por el MOPT-INGEROUTE, para ello se tiene la Tabla 48 donde se presentan estos valores.

Tabla 48: factores de equivalencia propuesto por MOPT-INGERROUTE.

Tipo de Vehículo	Mopt-Ingeroute
C-2 pequeño	1.4 Prom.
C-2 grande	
C-3	2.4
2S1	
C-4	3.67
3S1	
2S2	
3S2	4.67
3S3	
Bus 2E	5.00
Bus >=3E	
	0.20

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos.

Se determina el factor camión (FC) de camiones tomando en cuenta que se tiene: que el 93 % son vehículos de tipo A (automóviles, camionetas), 1% son vehículos de tipo B (Buses) y 6% son vehículos de tipo de C (camiones), mediante el cual se pro sigue su cálculos del Factor Camión.

$$FC (camiones) = \frac{63 * 1.4 + 24 * 2.4 + 4 * 3.67 + 9 * 5}{63 + 24 + 4 + 9} = 2.05$$

Teniendo en cuenta que el facto de equivalencia respecto a los buses es 2.00 entonces el factor camión de los vehículos comerciales (camiones y buses) es como se muestra en la ecuación a continuación.

$$FC (vehiculos comerciales) = \frac{6*2.05+1*2.00}{6+1} = 2.04$$

Factor de Carril.

- **Factor de carril**

El tránsito a tener en cuenta es el que utiliza el carril de diseño, en general se admite que en cada dirección circula el 50% del tránsito total aunque en ocasiones puede variar entre el 30 y 70% y que depende del número de carriles en cada dirección, para efecto se considera la Tabla 37.

Tabla 49: Distribución del tránsito en función del número de carriles.

Nº carriles en una dirección	%ESAL en carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos.

Se tiene que entender que La vía de la Av. Perú del Tramo (Jr. Mantaro - Jr. Pumacahua) en mención, se determina que solo se cuenta con un carril en una dirección y/o sentido, siendo esta la Capacidad de la vía al tránsito vehicular que pasa, entonces el Factor de Carril (F Carril) = 1.00.

- **Cálculo de número de ejes equivalentes ESAL**

Se considera el número de ejes equivalente ESAL durante el periodo de diseño, a partir del conteo vehicular y de las conversiones de factores considerados, para ello se plantea la siguiente Ecuación 3.8.

$$ESALs = TPDA \times \% \text{ de VC} \times FS \times F \text{ Carril} \times 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \times FC \quad (3.8)$$

Donde:

- TPDA: Transito Promedio Diario Anual.
- % de VC: Porcentaje de Vehículos Comerciales (camiones, buces y otros)
- FS: Factor de Sentido.
- F Carril: Factor de Proyección.
- F.C.: Factor Camión.
- n : Periodo de Diseño.
- r : Tasa de Crecimiento Anual del Tránsito, r = 5.5%.

Tabla 50: Calculo de ESALs de diseño.

Tipo de Veh.	TPDA	%	Factor Sentido (FS)	Factor Carril (F Carril)	Periodo de diseño (n)	tasa anual de crecimiento de tránsito (r)	$\frac{((1+r)^n - 1)}{\ln(1+r)}$	Días	Factor camión (F.C.)	ESAL
A	1158	93%	50%	1	20	5.50%	35.82	365.00	0.00	0
B	1158	1%	50%	1	20	5.50%	35.82	365.00	2.04	169864.7955
C	1158	6%	50%	1	20	5.50%	35.82	365.00	2.04	1019188.773
									Σ	1.19E+06

Fuente: Elaboración propia.

Donde el número de ejes equivalentes es; **ESAL = 1.19E+06**

Tabla 51: categorías de tránsito en función de la carga por eje.

Categoría de Carga por Eje	Descripción	Tránsito			Máxima Carga por Eje (KN)	
		TPD (ADT)	TPDC (ADTT)		Ejes Simples	Ejes Tándem
			%	Diario		
1	- Calles Residenciales carreteras rurales y secundarios.	200-800	1 - 3	Hasta 25	98	160
2	- Calles colectoras, carreteras rurales y secundarias (alto). - Calles, arterias y carreteras primarias (bajas).	700-5000	5-18	40-1000	115	195
3	- Calles, arterias y carreteras primarias (medio). - Vías expresas y autopistas urbanas e interestatales (bajo a medio).	3000-12000 (2 carriles) 3000 – 50000 + (4 carriles o más)	8 - 30	500 – 5000+	133	230
4	- Calles, arterias y carreteras primarias y vías expresas (alto). - Autopistas urbanas e interestatales (medio y alto).	3000-20000 (2 carriles) 3000 – 150000 + (4 carriles o más)	8 - 30	1500-8000+	151	267

Las descripciones; alto, medio y bajo se refieren al peso relativo de las cargas por eje para el tipo de calle o carretera.
TPDC: Camiones de dos ejes, camiones de cuatro llantas excluidos.

Fuente: Alonso Montejó Fonseca, Ingeniería de Pavimentos.

Para llegar a un mejor entendimiento de la descripción de las siglas se tiene;

- TPD, tránsito promedio diario en ambas direcciones para todos los tipos de vehículo (ADT “AverageDailyTraffic”).
- TPDC, tránsito promedio diario de camiones en ambas direcciones (ADTT “Average Daily Truck Traffic”). Esta variable puede expresarse como un

porcentaje del tránsito promedio diario o como una cantidad. Incluye los camiones de seis ruedas o más, lo cual descarta las camionetas y otros vehículos de cuatro llantas

- **Determinación de la categoría de tránsito.**

Se puede mostrar que la el estudio de transito realizado en la vía presenta un tránsito promedio diario anual (TPDA) = 1,158 Vehículos/día, y un porcentaje correspondiente de vehículos comerciales de 7% (camiones y buses), por otro se considera que es una vía arterial colectoras. Con los datos obtenidos y de la Tabla 51: se determina la **categoría Nro. 02** que le corresponde al tránsito.

CAPÍTULO IV

4 DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO

4.1 Diseño de pavimento rígido, método de Portland Cement Association (PCA)

Resistencia Del Concreto A La Flexión (Modulo De Rotura, Mr)

La resistencia a flexión, es una medida de la resistencia a la tracción del concreto que tiene por objeto considerar en la estructura del pavimento rígido, se determina mediante los ensayos del módulo de rotura (MR) o correlaciones con el esfuerzo a la compresión simple.

A continuación se presenta algunas correlaciones entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto a los 28 días ($f'c$), para este caso se opta por el uso de una resistencia convencional en la zona que es $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, en consecuencia se determina el Modulo de Rotura por las siguientes correlaciones.

$$0.10 f'c \leq MR \leq 0.17 f'c \quad (4.1)$$

De la Ecuación 3.9 se obtiene los valores de Modulo de Rotura del concreto.

$$0.10 (210 \text{ kg/cm}^2) \leq MR \leq 0.17(210\text{kg/cm}^2)$$

$$21 \text{ kg/cm}^2 \leq MR \leq 35.7\text{kg/cm}^2$$

Se toma la siguiente recomendación en Pavimentos Rígido (Concreto) se exige:

$$MR \geq 40\text{kg/cm}^2 \quad \text{osea } f'c \geq 280\text{kg/cm}^2$$

Aceptándose $f'c \geq 210\text{kg/cm}^2$ para tráficos ligeros.

Por otro lado se considera la figura 30: que relaciona la resistencia a compresión ($f'c$) con el módulo de rotura MR se obtiene el valor correspondiente al $MR = 34 \text{ kg/cm}^2$

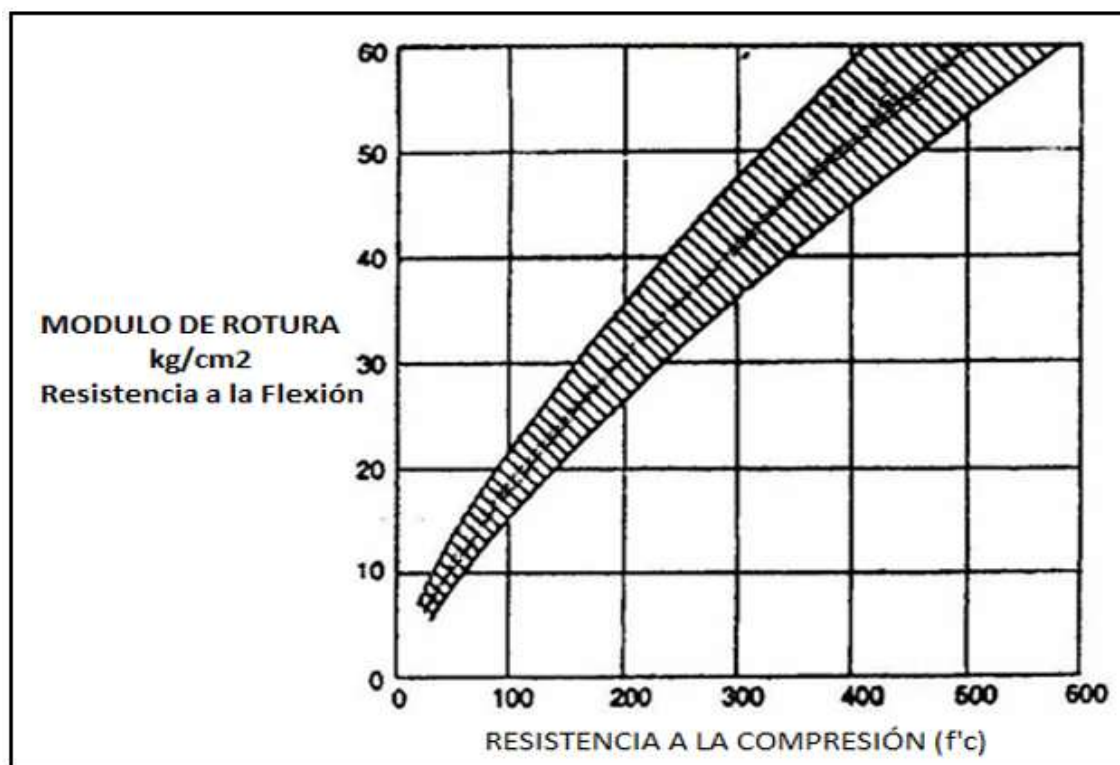


Figura 30: Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión (f_c) a los 28 días.
Fuente: pavimento de concreto hidráulico –Ing. Samuel Mora.

Resistencia de la Sub-rasante o del conjunto de Sub Rasante y Sub base (Modulo K)

El grado de soporte de la sub-rasante en este caso incluido una **sub-base de espesor de 30 cm**, es factor de diseño del pavimento. El valor de k se expresa en Mega Pascal por metro (MPa/m) o en Kg/cm³.

Para se tiene visto el análisis realizado en el estudio geotécnico en el presente trabajo se tiene que Modulo de Reacción de la Sub Rasante, **Modulo K = 90 MPa = 330 pci, = 9.134 kg/cm²**, todos ellos son valores con diferentes unidades.

Estudio de Transito, Tráfico Diario Promedio y distribuciones de Cargas

Uno de los principales factores en el diseño del pavimento es el número y peso de los ejes de los camiones que se espera circulen durante el periodo de diseño. Estos se derivan de Estudios de Transito realizados en la vía.

Obtenidos la información de los aforamientos en los puntos de conteo vehicular, se llega a determinar el transito promedio diario anual, (TPDA) = **1,158 vehículos por día**, del cual se tiene un porcentaje perteneciente a los vehículos comerciales correspondiente a un porcentaje de **7% (camiones y buses)**, y considerando que se tiene un tasa de crecimiento $r = 5.5 \%$ donde se relaciona con el factor de proyección $F_p = 1.7$, de donde resulta el **Transito Acumulado de Vehículos Comerciales = 502,974 Vehículos**, durante un periodo de 20 años.

Se tiene como consideración importante a la clasificación de calles y/o vías se determina a que categoría corresponde el tránsito para la distribución de carga por eje normalmente agrupadas ejes por cada 1,000 camiones, para ello se tiene la tabla siguiente.

Tabla 52: distribución de cargas por eje usadas para preparar las tablas de diseño.

Carga por Eje Kips (KN)	Ejes por cada 1000 Camiones			
	Categoría LR	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Ejes Simples				
4 (18)	846,15	1693,31		
6 (27)	369,97	732,28		
8 (36)	283,13	483,10	233,60	
10 (44)	103,40	204,96	142,70	
12 (53)	39,07	124,00	116,76	182,02
14 (62)	20,87	56,11	47,76	47,73
16 (71)	11,57	15,81	23,88	31,82
18 (80)		4,23	16,61	25,15
20 (89)		0,96	6,63	16,33
22 (98)			2,60	7,85
24 (107)			1,60	5,21
26 (116)			0,07	1,78
28 (125)				0,85
30 (133)				0,45
Ejes Tandem				
4 (18)	15,12	31,90		
8 (36)	39,21	85,59	47,01	
12 (53)	48,34	139,30	91,15	
16 (71)	72,69	75,02	59,25	99,34
20 (89)	64,33	57,10	45,00	85,94
24 (107)	42,24	39,18	30,74	72,54
28 (125)	38,55	68,48	44,43	121,22
32 (142)	27,82	19,59	54,76	103,63
36 (160)	14,22	4,19	38,79	52,25
40 (178)			7,76	21,31
44 (196)			1,16	8,01
48 (214)				2,91
52 (231)				1,91

- Excluyendo camiones de dos ejes y cuatro llantas.

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones – norma técnica CE-10, p.49.

Para fines calculo y aplicación de las tablas y/o graficas de diseño se determina la Categoría transito correspondiente es **Nro. 02**, se tiene distribuciones tanto para ejes Simples como para ejes Tándem.

4.1.1 Consideraciones para el Diseño por el Método PCA)

Factor de seguridad para las cargas.

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (FSC), según la PCA se recomienda el siguiente valor:

Se considera una vía arterial principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, determinándose el valor del **factor de seguridad (FSC) = 1.1**.

Esfuerzo equivalente (carga equivalente) y Factor de erosión

Para cálculo de valores de esfuerzo equivalente y el factor de erosión es según las características y condiciones que se toman para la estructura vial como por ejemplo la consideración de refuerzos, bermas de concreto y sistemas de transferencia de cargas (dovelas), los valores resultantes por el análisis de las tablas de correlación que se toman en cuenta, son representados en la Tablas de Diseño.

$$\text{Factor de Relación de Esfuerzos} = \frac{\text{Esfuerzo Equivalente}}{MR} \quad (4.2)$$

Proceso de cálculo

- Se ordenan los pesos por eje de la distribución vehicular determinados tomados en cuenta la categorización del tráfico en función de a la carga por eje, por miles de ejes comprendidos en el rango de una tonelada. Si a partir de un rango de carga el número de pasadas es ilimitado, no es necesario obtener el porcentaje de daño en las columnas 5 y 7.
- En la columna 2 se registran los pesos por eje corregidos por el factor de seguridad FSC, considerando el mayor valor del rango, toma en cuenta que la distribución es en forma decreciente.
- Las repeticiones esperadas para cada rango de carga ya fueron obtenidas en la Tabla 52: datos sobre la distribución de cargas de tránsito que los valores de columna 3 se obtiene de la siguiente manera:

$$Columna\ 3 = \left(\frac{\text{Numero de ejes por cada 1000 vehiculos comerciales} \times \text{Transito Acumulado de Vehiculos comerciales}}{1000} \right)$$

- Las repeticiones permisibles se obtienen utilizando la figura 7, con condiciones de juntas con pasa juntas y con berma de concreto con consideración del Factor de Relación de Esfuerzos (columna 9 y 12) para ejes sencillos, y para ejes dobles respectivamente los valores se anotan en la columna 4.
- Los porcentajes de Fatiga de la columna 5 se obtienen dividiendo los valores de la columna 3 entre los valores de la columna 4, en porcentajes. Al final se suman los valores los daños parciales y se anotan al pie de la columna 5.
- Las repeticiones permisibles por Erosión de la columna 6, se obtienen utilizando la figura 5. Según las condiciones que se presenten en la estructura del pavimento, al que se ingresa con los Factores de Erosión de la Tabla 9, por la condiciones del pavimento (para ejes sencillos y ejes dobles).
- Los porcentajes de erosión de la columna 7 se obtienen dividiendo los valores de la columna 3 entre los valores de la columna 6, que se presentan en porcentajes. Al igual que en el análisis por fatiga, se suman los porcentajes de los daños parciales y se anotan al pie de la columna 7.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el espesor asumido para las losas de concreto, resulta adecuado y prevalece el criterio de análisis de fatiga y erosión.

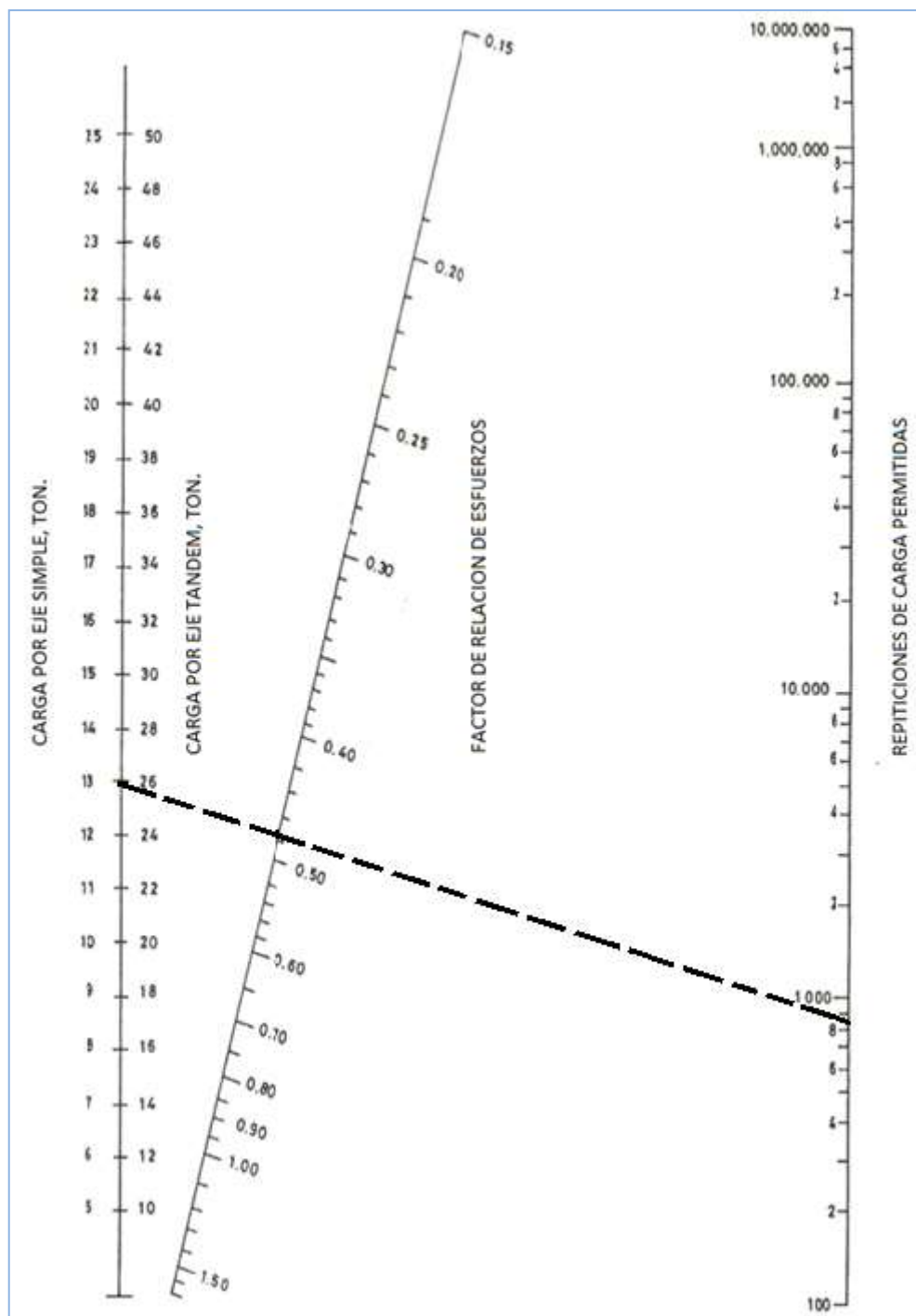


Figura 31: análisis por fatiga, repeticiones de cargas permitidas basadas en el factor de relación de esfuerzos (con y sin bermas de concreto).

Fuente: PCA, (1984)

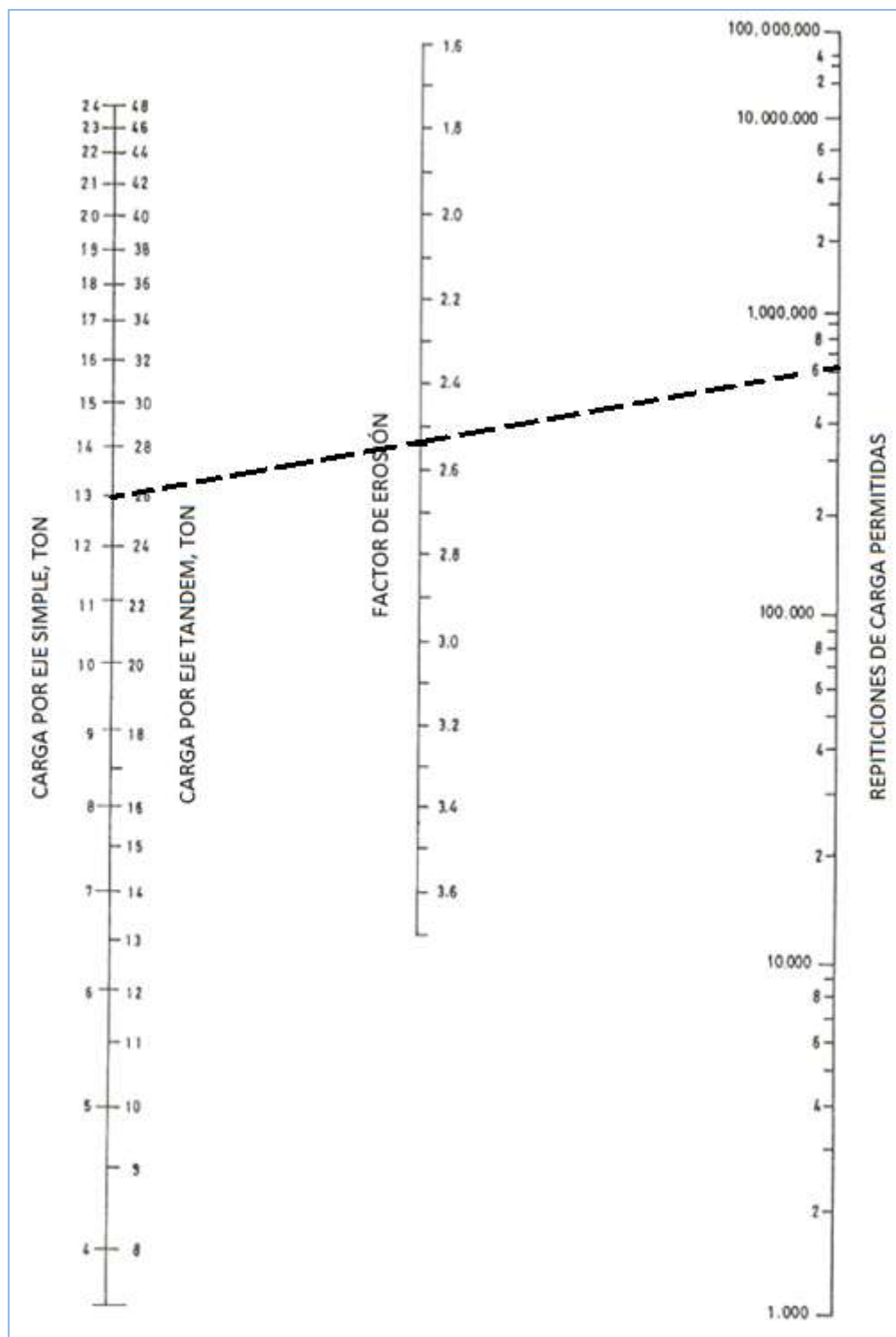


Figura 32: Cálculo de las Repeticiones Permisibles por Erosión para el Eje Sencillo de 24.2 Kips en el Ejemplo de Diseño de PCA,

Fuente: PCA, (1984)

Tabla 53: Análisis por fatiga para un espesor de E=16cm.

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO, PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - PCA

PROYECTO: Construcción de La Infraestructura Vial en la Av. Perú Tramo I :Jr.Mantaro - Jr.Francisco Pizarro

Espesor Tentativo Propuesto: 16.00 cm. Juntas con pasa juntas: SI NO
 K de la Sub Rasante y Sub Base: 9.134 kg/cm3 Bermas de concreto: SI NO
 Modulo de Rotura (MR): 34 kg/cm2 Periodo de Diseño: 20 años.
 Factor de Seguridad (FSC): 1.1
 Distribución de Carga por Eje (Categoría): Categoría Nro 2
 Trafico de Diseño (Vehículos Comerciales): 502,974

Carga por Eje (Ton-Kips)	Multiplicar por FSC	Repeticiones Esperadas	Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
			Repeticiones Permisibles	Porcentaje de Fatiga %	Repeticiones Permisibles	porcentaje de Daño %
1	2	3	4	5	6	7

8. Esfuerzo Equivalente (kg/cm2): 17.6 10. Factor de Erosión: 2.61
 9. Factor de Relación de Esfuerzos: 0.518

EJE SIMPLES

13.62	30	14.98	-	1	0.00%	140,000	0.00%
12.71	28	13.98	-	30	0.00%	207,200	0.00%
11.80	26	12.98	35.21	130	27.08%	335,300	0.01%
10.90	24	11.99	804.76	650	123.81%	580,000	0.14%
9.99	22	10.99	1,307.73	3,200	40.87%	1,120,000	0.12%
9.08	20	9.99	3,334.72	16,400	20.33%	2,600,000	0.13%
8.17	18	8.99	8,354.40	84,300	9.91%	8,800,000	0.09%
7.26	16	7.99	12,011.02	607,300	1.98%	162,800,000	0.01%
6.36	14	6.99	24,022.04	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.45	12	5.99	58,727.24	Ilimitadas		Ilimitadas	
4.54	10	4.99	71,774.39	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.63	8	4.00	117,494.73	Ilimitadas		Ilimitadas	
2.72	6	3.00	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.82	4	2.00	-	Ilimitadas		Ilimitadas	

11. Esfuerzo Equivalente (kg/cm2): 14.81 13. Factor de Erosión: 2.61
 12. Factor de Relación de Esfuerzos: 0.436

EJE TANDEM

23.61	52	25.97	-	5,000	0.00%	415,300	0.00%
21.79	48	23.97	-	19,180	0.00%	735,000	0.00%
19.98	44	21.97	583.45	73,800	0.79%	1,400,000	0.04%
18.16	40	19.98	3,903.08	326,000	1.20%	3,610,000	0.11%
16.34	36	17.98	19,510.36	4,780,000	0.41%	14,550,000	0.13%
14.53	32	15.98	27,542.86	Ilimitadas		Ilimitadas	
12.71	28	13.98	22,347.13	Ilimitadas		Ilimitadas	
10.90	24	11.99	15,461.42	Ilimitadas		Ilimitadas	
9.08	20	9.99	22,633.83	Ilimitadas		Ilimitadas	
7.26	16	7.99	29,801.21	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.45	12	5.99	45,846.08	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.63	8	4.00	23,644.81	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.816	4	2.00	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
				Total por Fatiga	226.38%	Total por Erosión	0.78%

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen de resultados obtenidos**

Como se muestra en las tablas de diseño calculados para espesores propuestos o asumidos $E = 16, 17$ y 18 cm se tiene las figuras 31 y 32 de análisis tanto por fatiga como por erosión que se muestran a continuación.

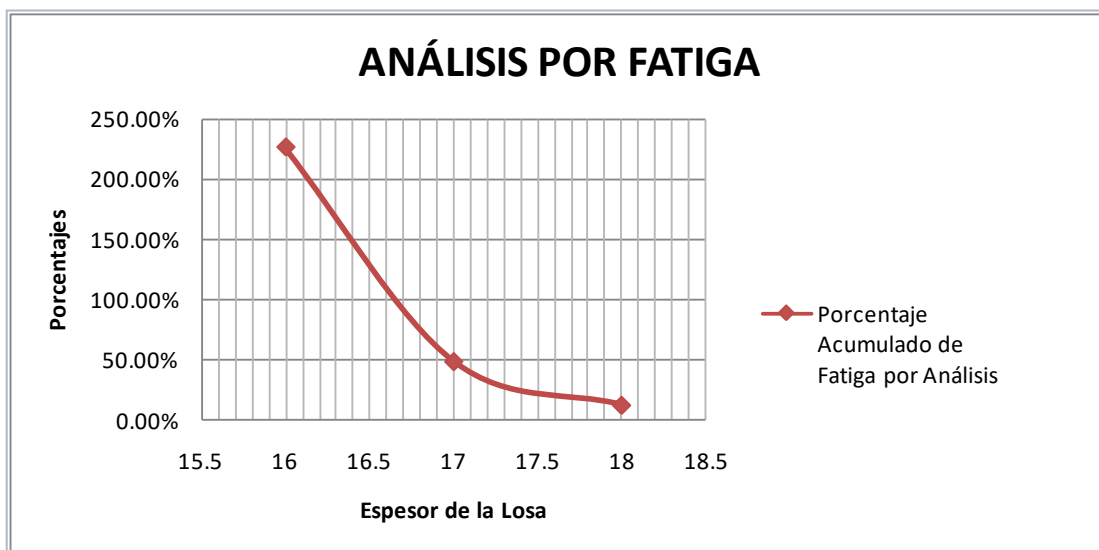


Figura 33: relación entre análisis por fatiga y los espesores estimados.
Fuente: Elaboración Propia

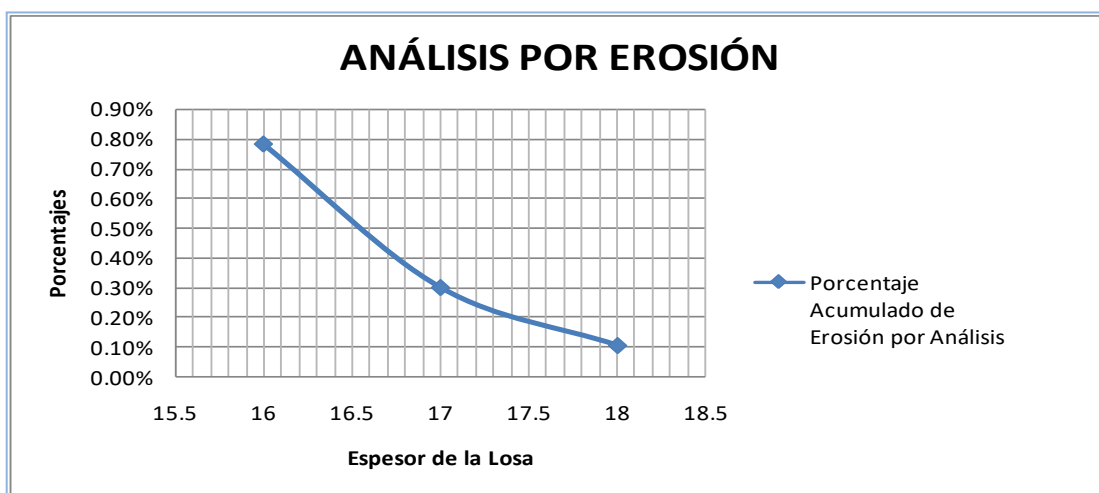


Figura 34: relación entre análisis por erosión y los espesores estimados.
Fuente: Elaboración Propia

Del Análisis realizado de las sumatorias efectuadas tanto por fatiga como por erosión se determina el espesor de la losa de concreto, se considera sobre dimensionado cuando se aproxima a cero la sumatoria de porcentajes de los análisis y cuando supera el 100% son considerados inadecuados el diseño, es cuanto se tiene dos opciones próximos a tomar los valores de los espesores de la losa de concreto que son **E = 17 y 18 cm**, de donde se toma el espesor de **E = 18 cm** con equivalencia inmediata a **20 cm**.

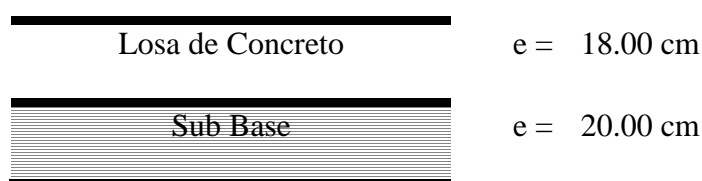


Figura 35: Espesores determinados por método de la PCA
Fuente: Propia

4.2 Diseño de pavimento rígido, Metodo AASHTO 93

- **Resistencia del concreto a la flexión (Modulo de Rotura, Mr)**

La resistencia a la flexión, es una medida de la resistencia a la tracción del concreto que tiene por objeto considerar en la estructura del pavimento rígido, se determina mediante los ensayos del módulo de rotura (Mr) o correlaciones con el esfuerzo a la compresión simple.

A continuación se presenta algunas correlaciones entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto a los 28 días ($f'c$), para este caso se opta por el uso de una resistencia convencional en la zona que es $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, en consecuencia se determina el Modulo de Rotura por las siguientes correlaciones.

$$0.10 f'c \leq MR \leq 0.17 f'c$$

$$0.10 (210 \text{ kg/cm}^2) \leq MR \leq 0.17(210\text{kg/cm}^2)$$

$$21 \text{ kg/cm}^2 \leq MR \leq 35.7\text{kg/cm}^2$$

Se toma la siguiente recomendación en Pavimentos Rígido (Concreto) se exige:

$$MR \geq 40kg/cm^2 \text{ o sea } f'c \geq 280kg/cm^2$$

Aceptándose $f'c \geq 210kg/cm^2$ para tráfico ligeros.

La resistencia a compresión ($f'c$) con el modulo de rotura MR se obtiene el valor correspondiente al **MR = 34 kg/cm² = 483.58 psi.**

4.2.1 Módulo de elasticidad del concreto (Ec).

La AASHTO precisa que el módulo de elasticidad puede ser estimado, usando una correlación para el concreto recomendada por el ACI, según la Ecuación 2.3.

- $E = 57,000 \times (f'c)^{0.5}$

Dónde: **$f'c = 210kg/cm^2 = 2,986.83 \text{ psi}$** , resistencia a la compresión simple del concreto.

- $E = 57,000 \times (2,986.83)^{0.5} = \mathbf{3'115,158.21 \text{ psi}}$

Tránsito (ESALs)

Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80kN) ó ESAL, durante el **periodo de diseño de 20 años y con una tasa de crecimiento anual de 5.5%**, determinados a partir del conteo vehicular, dicho valor estimado se muestra en el Estudio de Transito, de donde se tiene lo siguiente:

El número de ejes equivalentes es; **ESAL = 1.19E+06**

Resistencia de la sub-rasante o del conjunto de sub rasante y sub base (Modulo K).

El grado de soporte de la sub-rasante en este caso incluido una **sub-base de espesor de 30 cm**, es factor de diseño del pavimento. El valor de k se expresa en Mega Pascal por metro (MPa/m) o en Kg/cm³.

Para se tiene visto el análisis realizado en el estudio geotécnico en el presente trabajo se tiene que Modulo de Reacción de la Sub Rasante, **Modulo K = 90 MPa = 330 pci, = 9.134 kg/cm²**, todos ellos son valores con diferentes unidades.

- **Confiabilidad (R,%) y Error estándar cambiando (So)**

La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño. Por considerarse clasificado una vía arteria primaria se considera un valor de Confiabilidad (R) = 80% para su cálculo se toma la Tabla 44.

Tabla 56: Niveles de confiabilidad recomendados por la ASSHTO.

Confiabilidad		
Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopista	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteria primaria	80 - 99	75 - 95
Secundaria o colectora	80 - 95	75 - 95
Local o vecinal	50 - 80	50 - 80

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, P.472.

Se tiene ya definido el valor de **Error estándar combinado (So) = 0.35**

- **Desviación normal estándar (Zr)**

Tabla 57: Valores de Zr en función de la confiabilidad.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, P.471.

Como se muestra se tiene el Valor determinado de **Zr = - 0.841**.

- **Índice de servicio final (Pt) y Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)**

Dependiendo de la importancia de la vialidad y de su categoría, pueden considerarse los valores Índice de Servicio Final (Pt), recomendados por la AASHTO 93 se determina de la siguiente manera:

Pt = 2.5 para caminos principales o mayor tránsito.

La pérdida de serviciabilidad (ΔPSI): se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal o final se tiene según la Ecuación 2.3

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

De donde: **Po = 4.5**

Del cual se tiene: $\Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2.00$

- **Coefficiente de drenaje (Cd)**

El valor del mismo se determina en función del tiempo que tardan las aguas de lluvia en ser evacuadas del pavimento como de la calidad de drenaje. Mientras que el coeficiente de drenaje está relacionado con el porcentaje de tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, para inicial el cálculo del coeficiente procedemos a determinar la calidad drenaje mediante las cualidades de drenaje como se muestra a continuación, que tiene visualmente que el tiempo tarda el agua en ser evacuada es en un día.

Tabla 58: Calidad de drenaje.

Calidad De Drenaje	Tiempo Que Tarda El Agua En Ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	No drena

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, P.474.

Por otro lado se procede a determinar que durante un año se tiene expuesto a niveles húmedos la vía, es el 25% durante un año normal de precipitaciones, de ello se determina el valor de coeficiente de drenaje Cd en correlación de la tabla siguiente.

Tabla 59: valores de coeficientes de drenaje Cd.

Coeficiente de drenaje				
Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra en niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menos que 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, P.474.

Coefficiente de transferencia de carga (J)

Se establece valores de coeficiente de transferencia de carga mediante la tabla siguiente:

Tabla 60: valores de coeficientes de transmisión de cargas, J.

Berma	De Asfáltico		De Concreto	
	Si	No	Si	No
Dispositivo (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	-----

Fuente: Alonso Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos, P.474.

De donde el valor de **Coefficiente de transferencia de carga (J) = 3.1**

Proceso de cálculo de espesor de losa por el Método de la AASHTO 93

Se determina resolviendo la ecuación fundamental propuesto por este método AASHTO 93, que se muestra a continuación:

Ecuación general de la AASHTO 93

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

Donde:

$W_{18} = 1.19E+06$

$Z_r = -0.841$

$S_0 = 0.35$

D = Espesor de la losa estimado en pulg.

$\Delta\text{PSI} = 2.00$

$P_t = 2.5$

$$M_r = 483.58 \text{ psi.}$$

$$J = 3.$$

$$C_d = 1.00.$$

$$E_c = 3'115,158.21 \text{ psi.}$$

$$K = 330 \text{ pci; (psi/pulg).}$$

De donde se va a optar por un espesor tentativo en pulg. Hasta llegar a un equilibrio entre estas dos valores, entre las ecuaciones I y II, que se proponen de la siguiente manera:

Para una primera ecuación denominamos "I"

Y para una segunda ecuación denominado "II";

$$\text{Log}_{10} (W18) - Z_r \times S_o + 0.06 = \boxed{6.465} \dots\dots \text{Ec. I}$$

$$1.35 \times \text{Log}_{10} (D + 1) + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \text{Log}_{10} \left[\frac{215.63 \times S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right] = \boxed{6.465} \dots \text{Ec. II}$$

Estimando los valores de espesores se llega a un equilibrio entre estas dos valores de A = B = 6.430, cuando el Espesor de la Losa de concreto es E = 6.87 pulg = 17.45 cm, de donde por motivos de proceso constructivo se opta por un espesor redondeado que es **E = 20 cm.**

Cálculo del espesor de la Sub base, se calculará con la ayuda de un monograma. Para lo cual se cuenta con datos. CBR = 12.8, vehículo más pesado que transita por la vía; del estudio de tráfico se tiene el vehículo "C3"

Tabla 61: Cargas por eje del Camión C3

TIPO	EJE	CARGA POR EJE (lb)	CARGA POR LLANTA
C3	1	15 418.50	17 709.25
	2	39 647.58	41 911.89

Fuente: Propia

Se tomará el mayor = 39647.58 lb ≈ 40 000 lb

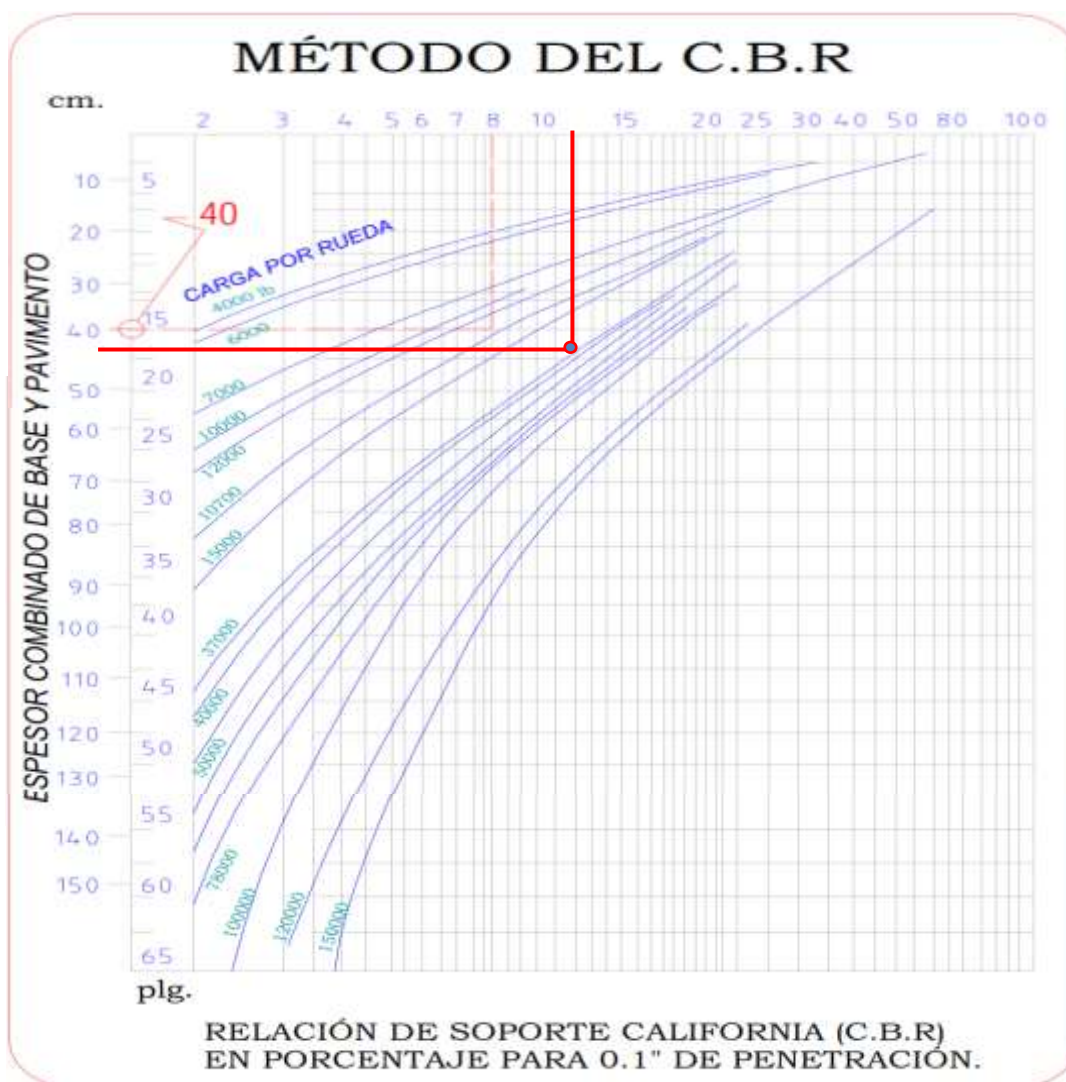


Figura 36: Cálculo de espesor de pavimento método CBR, Fuente: Propia

Con los datos de diseño y utilizando el gráfico adjunto se obtiene un espesor combinado total de Sub base y pavimento de **40 cm**, por lo tanto la sub base es de 20.55cm.

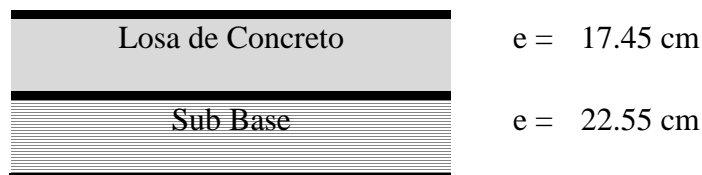


Figura 37: Espesores determinados por método AASHTO

Fuente: Propia.

Tabla 62: Espesores determinados por los métodos AASHTO y PCA.

	PCA	AASHTO
	cm.	cm.
Losas de concreto	18.00	17.45
Sub base	20.00	22.55
Sub rasante	30.00	30.00

Fuente: Elaboración propia

4.3 ESPESORES FINALES ADOPTADOS.

Según la norma CE.010 *Pavimentos Urbanos*, en su capítulo 4, diseño estructural de Pavimentos Urbanos, en la tabla 30 muestra los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos, donde el espesor de la sub rasante para un pavimento rígido debe ser mayor o igual a 250 mm. En Vías Locales y Colectoras, por lo que asumimos un espesor de 30 cm, como el espesor de la sub rasante, con la finalidad de mejorar y rigidizar la rasante, así mismo elevar la calidad del suelo de CBR 12.8%, Sub rasante regular, y poder llegar a una subrasante de calidad “muy buena” y que el CBR este comprendido entre 20 - 30%. Para lo cual se ha optado añadir esta capa a los espesores ya calculados, así mismo esta capa tendrá la funcionalidad de una capa de drenaje, ya que el material propuesto es un suelo granular proveniente de la Cantera Taparachi.

Espesores calculados:

- **Método AASHTO 1993.**

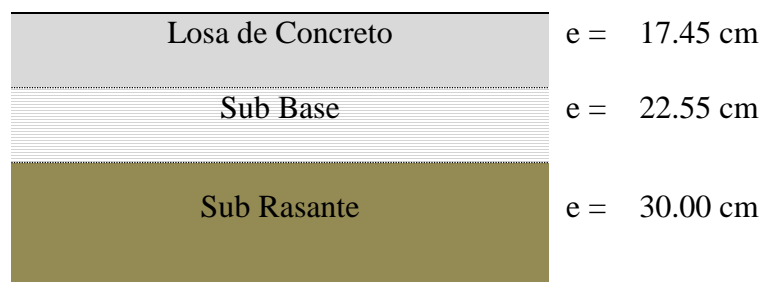


Figura 38: Espesores determinados por el método AASHTO 1993

Fuente: Propia

- **Método PCA 1984.**



Figura 39: Espesores determinados por el método PCA 1984

Fuente: Propia

- **Espesores finales asumidos.**

Asumimos los siguientes valores como espesores finales de la estructura del pavimento rígido, para el presente proyecto, losa de concreto 20.00 cm. Que es el promedio de los resultados calculados por los dos métodos de diseño AASHTO 1993 y PCA 1984, una Sub base de 20.00 cm. Y un Sub Rasante de 30.00 cm.

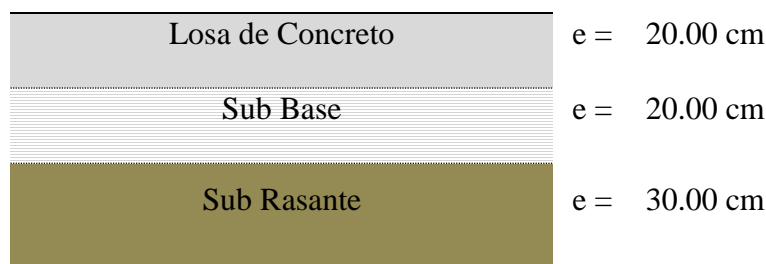


Figura 40: Espesores finales adoptados

Fuente: Propia

CAPÍTULO V

5 CONTRASTACION DE LOS OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto de tesis, parte de los objetivos específicos como una forma de concretizar el ESTUDIO y Diseño del Pavimento Rígido en la Av. Perú. Para ello se cuenta con los métodos recomendados para la determinación y diseñar la estructura del pavimento según el AASHTO 1993 y PCA 1984, se identifica factores que inciden y/o intervienen en el diseño para su aplicación de estos métodos mencionados.

Se realiza la contratación de objetivos con la fines de comparación y relacionar los valores de parámetros obtenidos de los factores de diseño que contempla cada uno de estos métodos el AASHTO 93 y la PCA.

CONTRASTACIÓN DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Se muestra mediante un esquema la contratación de los objetivos que son orientados y lograr definirla mediante los parámetros de los factores de diseño de la siguiente manera.

Tabla 63: Espesores determinados por los métodos AASHTO y PCA.

FACTORES DE DISEÑO	Método PCA	Método AASHTO 93
Resistencia a la Flexión del Concreto	Módulo de Rotura del Concreto (M_r) = 34 kg/cm ² , 483.58 psi.	Módulo de Rotura del Concreto (M_r) = 34 kg/cm ² , 483.58 psi.
Módulo de Elasticidad del Concreto.	Módulo de elasticidad uniforme del concreto	Módulo de Elasticidad (E) = 3'115,158.21 psi
Módulo de Reacción de la Sub Rasante.	Módulo de reacción de la sub rasante – sub base (K) =330 pci (psi/ pulg)	Módulo de reacción de la sub rasante – sub base (K) =330 pci, (psi/ pulg)
Periodo de Diseño.	Para el periodo de análisis de tráfico principalmente contemplado 20 años	Para el periodo de análisis de tráfico principalmente contemplado 20 años
Estudio de Transito.	Contempla el crecimiento del tráfico de la tasa de crecimiento anual $r = 5.5$ y de periodo de diseño de 20 años, mediante el factor de proyección (FP) = 1.7. Solamente vehículos de tráfico pesado. Factor de sentido 0.5 (dos sentido). Cargas repeticiones esperadas con vehículos comerciales ADTT = 502,974 vehículos.	Contempla el crecimiento del tráfico de la tasa de crecimiento anual $r = 5.5$ y de periodo de diseño de 20 años. Solamente vehículos de con cuatro llantas o más. Factor de sentido 0.5 (dos sentido). Factores de equivalencia propuesto por MOPT-INGEROUTE se convierte en pesos según cada eje de los vehículos de pesos de 18 kips mediante el factor de camión $FC = 2.04$. Cargas equivalentes en ejes simples $ESAL_s = 1.19E+06$
Error Estándar Combinado	-	$S_o = 0.35$.
Perdida de Serviciabilidad	-	$\Delta PSI = P_o - P_t = 2.00$
Desviación Normal Estándar	-	$Z_r = -0.841$
Factor de Seguridad.	Dependiendo de la importancia de la vía clasificada $F_s = 1.1$	Se obtiene a partir del coeficiente de confiabilidad (R) = 80% y su respectiva $Z_r = -0.841$
Transferencia de Cargas.	Toma en cuenta si toma o no los dispositivos de transferencia de cargas, para en este caso SI	Coefficiente de transferencia de cargas (J) = 3.1
Factores Climáticos.	No considera directamente en el diseño	Efecto de Humedad considerado a través del coeficiente de drenaje (C_d) = 1.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El diseño del pavimento por las dos metodologías nos permite ver los diferentes espesores de la losa de concreto.
- Con el estudio Geotécnico se determinó el CBR de la sub rasante con el cual determinamos el espesor de la losa de pavimento rígido.
- El estudio de Tráfico nos permitió obtener un ESAL de diseño para poder calcular el espesor del pavimento rígido por ambas metodologías.
- La elaboración del Estudio Definitivo permite tener la viabilidad de la ejecución del proyecto el cual permitirá mejorar la transitabilidad, un adecuado drenaje y la vialidad urbana en su conjunto contribuirán al ordenamiento y seguridad de los vecinos de la urbanización Villa San Jacinto y Los Rosales, principalmente los moradores en la avenida Perú, tramo (Jr. Mantaro – Jr. Francisco Pizarro) y la población en general de la ciudad de Juliaca.

RECOMENDACIONES

- Para obtener los resultados más próximos del diseño estructural del pavimento rígido reforzado, es conveniente realizar estimaciones de estudio de tránsito vehicular con periodos de estudios más prolongados y garantizar que la estructura del pavimento diseñado que cumpla con el periodo de diseño de 20 años y con el comportamiento proyectado frente a las solicitaciones externas durante su prestación del servicio.
- Respecto a los métodos de diseño de la estructura del pavimento, como son los materiales que se utilice y de los elementos que son parte de la estructura del pavimento, se recomienda realizar estudios directos (contenido de humedad, Granulometría, Proctor y CBR) de laboratorio para determinar su comportamiento y características del suelo, para tener un aproximado más real en los resultados obtenidos por los métodos de la PCA y AASHTO 93, que son métodos utilizados para este estudio.
- El estudio definitivo (expediente técnico) planteado, se recomienda que durante su ejecución y puesta en servicio se diera mantenimiento al sistema de drenaje pluvial, al inicio y al final de cada invierno, puesto que influye en el deterioro precipitado de la infraestructura vial, y para garantizar el buen funcionamiento de la estructura del pavimento frente a las solicitaciones externas durante período de vida proyectado. La construcción del proyecto, se debe contar con una estricta y profesional supervisión que verifique que se cumplan las especificaciones técnicas planteados en los estudios definitivos de la obra y conforme a los planos detallados.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO, MONTEJO FONSECA, (2006), *Ingeniería de Pavimento, Fundamentos Estudios Básicos y Diseño, Tercera Edición, Colombia*, Universidad Católica de Colombia.
- BARRIGA DALL'ORTO S.A. (2011), *Sección de Suelos y Pavimento del Manual de Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos, Tercera Versión, Perú – MTC*.
- CRESPO VILLALAZ, C, 1981, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, México, Editorial Limusa.
- FLAVIO ABANTO CASTILLO, (2002), *Tecnología Del Concreto, Perú*, Editorial San Marcos.
- GERMAM, VIVAR., (1995), *Diseño y Construcción de Pavimentos, Segunda Edición, Perú, Ediciones, Capitulo de Ingeniería Civil*, Consejo Departamental, Colegio de Ingenieros del Perú.
- JUÁREZ BADILLO, E y RICO, R. A, (1975), *Mecánica De Suelos*, México, Editorial LIMUSA Tomos I Y II.
- MANUAL DE CONSTRUCCIONES, (2011), *Decima edición, Perú*, Fondo Editorial ICG.
- LUIS RICARDO, VAZQUEZ VALERA ,(2002), *Curso de actualización de Pavimentos*, Alfaomega Grupo Editor S. A.
- RAFAEL, CAL Y MAYOR,(2007), *Ingeniería de Transito, Fundamentos y Aplicación, Octava Edición, México*, Alfaomega Grupo Editor S. A.
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, (2006), *Norma Técnica CE, 010 – PAVIMENTO URBANOS*, Diario Oficial, El Peruano.
- SAMUEL MORA Q,(2005) *Pavimentos de Concreto Hidráulico, FIC – UNI – ASOCEM, Perú, MTC, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, III Seminario Nacional de Gestión y Normatividad Nacional*.

VCHI S.A. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas - VCHI* (2da Edición).
Lima, Perú: I.C.G.

Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología*. Lima, Perú: Esitorial Villón.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

EXPEDIENTE TECNICO.....