



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**"DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA
VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO
DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD"**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany (ORCID: 0000-0001-5557-2688)

VITTERI DAGA, Ebert Humberto (ORCID: 0000-0003-0098-1315)

ASESOR:

Dr. HERRERA VILOCHE, Alex Arquímedes (ORCID: 0000-0001-9560-6846)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Infraestructura Vial

TRUJILLO – PERÚ.

2021

DEDICATORIA.

Esto va dedicado al que hizo posible el haber logrado esta meta, Dios, otorgándome la fortaleza el conocimiento sabiduría y Fe para salir adelante a mi padre que estuvo en los momentos más difíciles durante los años que estuve estudiando, a mi madre y a mis hermanos quién y quiénes me dieron todo su apoyo que necesitaba y fueron los estuvieron a mi lado, en cada paso de esta carrera de la cual hoy llegó a la meta con grandes logros y después de haber pasado muchas dificultades y a la cual me abren las puertas para poder cumplir todas las metas que me he trazado.

SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany.

A Dios por haberme dado la fortaleza para llegar a la meta, a mis padres porque siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, por haberme entendido, por haber sido mi ejemplo de lucha y perseverancia, a mis hijos, a mi esposa, a mis abuelos, a mi hermano, a mis sobrinos que me dieron ese amor único y a toda mi familia que siempre confío en mí y me dieron el aliento para seguir adelante.

VITTERI DAGA, Ebert Humberto.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ingeniería y a la Escuela de Ingeniería Civil dirigida por nuestro Decano, por haber sido parte de nuestra formación académica acogiéndonos en sus aulas y laboratorios a los cuales le recomendamos con mucho afecto.

Un singular agradecimiento a nuestro asesor el Ing. HERRERA VILOCHE, Alex A. por su asesoramiento y orientación oportuna para el desarrollo de nuestro presente trabajo de investigación.

A los todos los docentes de Escuela de Ingeniería Civil, que nos han apoyado y transmitido todo su conocimiento, de una manera u otra manera a lograr desarrollar nuestra tesis.

Agradecemos a Dios por su gran bendición y por habernos guiado por el camino de la sabiduría y superación.

Los Autores

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.4. HIPÓTESIS.....	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	12
2.3. ASPECTOS GENERALES.....	14
2.3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA.....	14
2.3.2. CLIMA.....	17
2.4. ASPECTOS BÁSICOS.....	17
2.4.1. POBLACIÓN.....	17
2.4.2. AGRICULTURA.....	17
2.4.3. VÍA DE ACCESO.....	17
2.5. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS.....	17
2.5.1. SALUD.....	17
2.5.2. EDUCACIÓN.....	18
2.5.3. VIVIENDAS.....	18
2.5.4. SERVICIOS BÁSICOS.....	18
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	19
3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	19
3.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	19
3.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	19
3.3. DATOS CONSIDERADOS.....	21
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	21
3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	22

3.6. ASPECTOS ÉTICOS.....	22
IV. RESULTADOS.....	23
4.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	23
4.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	23
4.1.2. PUNTOS DE GEORREFERENCIACIÓN.....	23
4.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	25
4.2.1. GENERALIDADES.....	25
4.2.2. OBJETIVO.....	25
4.2.2.1. Objetivo principal.....	25
4.2.2.2. Objetivos específicos.....	25
4.2.2.3. Reglamentos y normas.....	25
4.2.3. TRABAJOS DE CAMPO.....	26
4.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	27
4.2.4.1. Ensayo estándares.....	27
4.2.4.2. Análisis granulométrico por tamizado.....	27
4.2.4.3. Contenido de humedad.....	28
4.2.4.4. Límites de Atterberg.....	28
4.2.4.5. Peso específico.....	29
4.2.4.6. Compactación Proctor Modificado.....	29
4.2.4.7. Capacidad de soporte del suelo.....	30
4.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	31
4.2.5.1. Clasificación SUCS.....	31
4.2.5.2. Clasificación AASHTO.....	32
4.2.6. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.....	33
4.2.7. CANTERA.....	33
4.2.8. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	34
4.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	35
4.3.1. HIDROLOGÍA.....	35
4.3.2. ESTUDIO HIDROGRÁFICO DE CUENCAS.....	36
4.3.2.1. Hidrografía y Geomorfología.....	36
4.3.3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	36
4.3.3.1. Estación meteorológica.....	36
4.3.3.2. Información pluviométrica.....	37
4.3.4. PERÍODO DE RETORNO.....	37
4.3.5. MODELOS ESTADÍSTICOS DE DISTRIBUCIONES.....	38
4.3.5.1. Distribución Normal.....	39
4.3.5.2. Distribución Log Normal.....	39
4.3.5.3. Distribución Log Normal 3 parámetros.....	40
4.3.5.4. Distribución Gamma.....	41
4.3.5.5. Distribución Gamma 3 parámetros (Pearson III).....	41

4.3.5.6.	Distribución Log Pearson Tipo III.	42
4.3.5.7.	Distribución Gumbel.	43
4.3.5.8.	Distribución Log Gumbel.	44
4.3.5.9.	Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov.	45
4.3.6.	TORMENTA DE DISEÑO.	46
4.3.6.1.	Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.	46
4.3.6.2.	Tiempo de concentración.	47
4.3.6.3.	Coeficientes de escorrentía.	48
4.3.7.	ESTUDIO HIDROGRÁFICO DE CUENCAS.	49
4.3.7.1.	Estudio Hidrográfico y geomorfológico.	49
4.3.7.2.	Delimitaciones de áreas.	49
4.3.7.3.	Parámetros geomorfológicos.	49
4.3.8.	CAUDALES MÁXIMOS TEÓRICOS.	55
4.3.8.1.	Método racional.	55
4.3.9.	CÁLCULO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICO.	56
4.3.9.1.	Análisis de datos hidrológico.	56
4.3.9.2.	Estimación de precipitaciones probables.	57
4.3.9.3.	Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.	67
4.3.9.4.	Intensidades.	69
4.3.9.5.	Cálculos geomorfológicos de cuencas.	71
4.3.9.6.	Estimación de caudales de aporte.	76
4.4.	DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA.	77
4.4.1.	GENERALIDADES.	77
4.4.2.	PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL DISEÑO.	77
4.4.3.	CLASIFICACIÓN DE CARRETERA.	78
4.4.3.1.	Clasificación por demanda.	78
4.4.3.2.	Clasificación por orografía.	78
4.4.4.	CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS.	79
4.4.4.1.	Estudios preliminares.	79
4.4.4.2.	Vehículos de diseño.	79
4.4.4.3.	Velocidad de diseño.	79
4.4.4.4.	Sección transversal de diseño.	81
4.4.4.5.	Distancia de Visibilidad.	81
4.4.5.	DISEÑO EN PLANTA.	83
4.4.5.1.	Consideraciones de diseño.	83
4.4.5.2.	Tramos en tangente.	83
4.4.5.3.	Curvas circulares.	84
4.4.5.4.	Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño.	85
4.4.5.5.	Coordinación entre curvas circulares.	86
4.4.5.6.	Radio mínimos excepcionales.	87

4.4.5.7.	Espirales.....	88
4.4.5.8.	Transición de peralte.....	89
4.4.5.9.	Sobre ancho.....	91
4.4.6.	DISEÑO EN PERFIL.....	93
4.4.6.1.	Generalidades.....	93
4.4.6.2.	Pendiente.....	93
4.4.6.3.	Curvas verticales.....	94
4.4.6.4.	Coordinación entre el diseño horizontal y el diseño vertical.....	98
4.4.7.	SECCIÓN TRANSVERSAL.....	99
4.4.7.1.	Calzada.....	99
4.4.7.2.	Bermas.....	99
4.4.7.3.	Bombeo.....	101
4.4.7.4.	Peralte.....	101
4.4.7.5.	Taludes.....	102
4.4.8.	CÁLCULO DE DISEÑO GEOMÉTRICO.....	104
4.4.8.1.	Criterios y controles básicos.....	104
4.4.8.2.	Diseño geométrico en planta.....	107
4.4.8.3.	Cálculo geométrico en perfil.....	115
4.4.8.4.	Cálculo geométrico en secciones transversales.....	117
4.5.	DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE.....	118
4.5.1.	GENERALIDADES.....	118
4.5.1.1.	Drenaje superficial.....	118
4.5.1.2.	Parámetros hidráulicos.....	118
4.5.2.	DISEÑO CUNETAS.....	120
4.5.2.1.	Cálculo de diseño de cunetas.....	122
4.5.3.	DISEÑO DE ALIVIADEROS.....	125
4.5.3.1.	Consideraciones básicas.....	125
4.5.4.	DISEÑO DE BADENES.....	127
4.5.4.1.	Criterios de diseño.....	127
4.5.4.2.	Juntas de Contracción.....	127
4.5.4.3.	Barras de unión.....	127
4.5.4.4.	Cálculo de diseño de badenes.....	128
4.6.	ESTUDIO DE TRÁFICO VIAL.....	131
4.6.1.	CONTEO VEHICULAR.....	131
4.6.2.	FACTORES DE CORRECCIÓN ESTACIONAL f_c	132
4.6.3.	TRANSITO PROYECTADO.....	132
4.6.4.	NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES.....	133
4.6.4.1.	Clasificación de número de repeticiones.....	137
4.6.5.	CÁLCULO DE ESTUDIO DE TRÁFICO.....	138
4.7.	DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.....	144

4.7.1.	METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	144
4.7.1.1.	Carga vehicular.....	144
4.7.1.2.	Características de la sub rasante.....	144
4.7.2.	MÉTODO AASHTO 93.....	144
4.7.2.1.	Variables independientes.....	144
4.7.2.2.	Secciones de estructuras de pavimento flexible.....	149
4.7.2.3.	Cálculo de diseño de pavimento flexible según método AAASHTO. ...	150
4.8.	SEÑALIZACIÓN VIAL.....	152
4.8.1.	GENERALIDADES.....	152
4.8.1.1.	Requisitos:.....	152
4.8.1.2.	Consideraciones.....	152
4.8.2.	SEÑALES VERTICALES.....	153
4.8.2.1.	Generalidades.....	153
4.8.3.	SEÑALES REGULADORAS O DE REGLAMENTACIÓN.....	156
4.8.3.1.	Clasificación.....	156
4.8.4.	SEÑALES DE PREVENCIÓN.....	159
4.8.4.1.	Características.....	159
4.8.4.2.	Clasificación.....	159
4.8.5.	SEÑALES DE INFORMACIÓN.....	164
4.8.5.1.	Características.....	164
4.8.5.2.	Clasificación.....	166
4.8.6.	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.....	169
4.8.6.1.	Generalidades.....	169
4.8.6.2.	Marcas planas en el pavimento.....	169
4.8.6.3.	Delineadores elevados.....	171
V.	DISCUSIÓN.....	174
VI.	CONCLUSIONES.....	175
VII.	RECOMENDACIONES.....	176
VIII.	REFERENCIAS.....	177

SUBÍNDICE (Figuras)

Ilustraciones

Ilustración 2.3.1 – Ubicación del proyecto a nivel mundial y nacional	14
Ilustración 2.3.2 – Ubicación del proyecto a nivel departamental	15
Ilustración 2.3.3 – Ubicación del proyecto a nivel provincial.....	15
Ilustración 2.3.4 – Ubicación del proyecto a nivel distrital	16
Ilustración 4.3.1 – Áreas parciales para rectángulo equivalente.....	51
Ilustración 4.3.2 – Áreas parciales.....	72
Ilustración 4.3.3 – Valores de áreas parciales para rectángulo equivalente	75
Ilustración 4.4.1 – Elementos de curva circular	84
Ilustración 4.4.2 – Desvanecimiento de bombeo y transición del peralte	90
Ilustración 4.4.3 – Distribución de transición de sobre ancho.....	92
Ilustración 4.4.4 – Tipos de curvas verticales	94
Ilustración 4.4.5 – Simetría de curvas verticales	94
Ilustración 4.4.6 – Geometría de la curva vertical simétrica	95
Ilustración 4.4.7 – Geometría de la curva vertical asimétrica	96
Ilustración 4.4.8 – Longitud mínima de curva vertical convexa con D_p	97
Ilustración 4.4.9 – Longitud mínima de curvas verticales convexas con D_a	97
Ilustración 4.4.10 – Long. mínimas de curvas verticales cóncavas	98
Ilustración 4.4.10 – Detalle de sección transversal.....	99
Ilustración 4.4.11 – Casos de bombeo	101
Ilustración 4.4.12 – Sección transversal típica en tangente.....	102
Ilustración 4.4.13 – Vehículo ligero.....	104
Ilustración 4.4.14 – Vehículo de diseño para volteo	105
Ilustración 4.4.15 – Giro mínimo del vehículo de diseño	106
Ilustración 4.5.1 – Diseño de cuenta rectangular.....	120
Ilustración 4.5.2 – Dimensiones de cuneta triangular (Tipo I).....	123
Ilustración 4.5.3 – Relaciones geométricas para cuneta triangular (Tipo I)	123
Ilustración 4.5.4 – Forma y sección de alcantarilla TMC	125
Ilustración 4.5.5 – Dimensiones de la corruga.....	126
Ilustración 4.5.6 – Sección transversal de alcantarilla TMC	126
Ilustración 4.5.7 – Forma de Badén en tramo recto.....	127
Ilustración 4.5.8 – Diseño en planta de Badén en tramo recto	129
Ilustración 4.5.9 – Diseño en perfil de Badén en tramo recto	129
Ilustración 4.8.1 – Ubicación longitudinal en planta y perfil de señales	154
Ilustración 4.8.2 – Ubicación longitudinal en sección de señales	154
Ilustración 4.8.3 – Orientación de las señales	156
Ilustración 4.8.4 – Medidas del soporte de las señales	156
Ilustración 4.8.5 – Señales informativas de dirección.....	166
Ilustración 4.8.6 – Señales informativas de confirmación.....	166
Ilustración 4.8.7 – Señales informativas de identificación	167
Ilustración 4.8.8 – Señales informativas de identificación de ruta	167
Ilustración 4.8.9 – Señales informativas de localización.....	167
Ilustración 4.8.10 – Postes kilométricos (1-2a)	168
Ilustración 4.8.11 – Tipo de líneas borde de calzada	170
Ilustración 4.8.12 – Tipo de líneas centrales proyectadas.....	170
Ilustración 4.8.13 – Tipos de sección de postes delineadores.....	171

Ilustración 4.8.14 – Ubicación en sección de postes delineadores.....	172
Ilustración 4.8.15 – Ubicación en planta de postes delineadores	172
Ilustración 4.8.16 – Vista de postes delineadores "CHEVRON"	173

Imágenes

Imagen 2.3.1 – Vista satelital del lugar de estudio.....	16
Imagen 4.3.1 – Ubicación de la estación pluviométrica LAREDO	36
Imagen 4.3.2 – Delimitación de cuenca	71
Imagen 4.5.1 – Ubicación de proyección de badén	128
Imagen 9.1.1 – Solicitud: Solicitud de autorización	1
Imagen 9.1.2 – Solicitud: Solicitud de información técnica.....	1
Imagen 9.2.1 – Estado situacional de la vía pavimentada.....	3
Imagen 9.2.2 – Estado situacional de la vía no pavimentada.....	4
Imagen 9.2.3 – Reconocimiento preliminar de la zona.	5
Imagen 9.2.4 – Levantamiento topográfico.....	6
Imagen 9.2.5 – Calicatas	6

Gráficos

Gráfico 4.2.1 – Carta de plasticidad para la clasificación de suelos.....	31
Gráfico 4.3.1 – Precipitaciones máxima $P_{m\acute{a}x}$ diarias anuales	57
Gráfico 4.3.2 – Precipitaciones máxima $P_{m\acute{a}x}$ en 24 horas	57
Gráfico 4.3.3 – Distribución de funciones de densidad f_x según frecuencias	60
Gráfico 4.3.4 – Función de distribución acumulada F_x	61
Gráfico 4.3.5 – Función de densidad f_x y distribución acumulada F_x	63
Gráfico 4.3.6 – Ajustes de precipitaciones máximas	65
Gráfico 4.3.7 – Regresiones.....	68
Gráfico 4.3.8 – Precipitaciones proyectadas	69
Gráfico 4.3.9 – Curva Intensidad – Duración – Periodo de retorno	70
Gráfico 4.3.10 – Curvas hipsométrica	73
Gráfico 4.4.1 – Peralte p en Área rural (Plano u ondulada).....	109
Gráfico 4.6.1 – Tráfico vehicular actual t_o y proyectado t_n	141

SUBÍNDICE (Tablas – cuadros)

Tablas

Tabla 3.2.1 – Espesor mínimo de capa superficial y espesor de base granular ..	20
Tabla 4.1.1 – Puntos de referencia	23
Tabla 4.1.2 – Puntos de estación.....	24
Tabla 4.2.1 – Número mínimo de calicatas nc	26
Tabla 4.2.2 – Elección de número de ensayo de Cbr y Mr	26
Tabla 4.2.3 – Descripción de calicatas excavadas	27
Tabla 4.2.4 – Comparativa de métodos de ensayo.....	30
Tabla 4.2.5 – Criterios de clasificación SUCS.....	32
Tabla 4.2.6 – Criterios de clasificación AASHTO	33
Tabla 4.2.7 – Resumen de resultados de ensayos físicos	34
Tabla 4.2.8 – Resumen de resultados de ensayos mecánicos	34
Tabla 4.3.1 – Serie histórica de precipitaciones máximas diarias $Pmáx$	37
Tabla 4.3.2 – Riesgo admisible $Rmáx$ y vida útil n de obras de drenaje	37
Tabla 4.3.3 – Períodos de retorno T	37
Tabla 4.3.4 – Valores críticos de Kolmogorov - Smirnov	45
Tabla 4.3.5 – Coeficientes de duración de lluvias f	46
Tabla 4.3.6 – Coeficientes de escorrentía C para método racional.....	48
Tabla 4.3.7 – Clasificación de terreno según la pendiente	53
Tabla 4.3.8 – Precipitaciones máximas en 24 horas.....	56
Tabla 4.3.9 – Análisis de precipitaciones máximas $Pmáx$	57
Tabla 4.3.10 – Probabilidad empírica o Weibull Pe	58
Tabla 4.3.11 – Función de densidades f_x	59
Tabla 4.3.12 – Funciones de distribuciones acumuladas F_x	61
Tabla 4.3.13 – Bondad de ajustes de funciones	62
Tabla 4.3.14 – Función de densidad f_x y distribución acumulada F_x	63
Tabla 4.3.15 – Probabilidades de weibull	64
Tabla 4.3.16 – Probabilidades futuras de precipitaciones máximas	65
Tabla 4.3.17 – Períodos de retorno T para diseñar obras de drenaje.....	65
Tabla 4.3.18 – Precipitaciones máximas $Pmáx$ por horas	66
Tabla 4.3.19 – Intensidades máximas probables $Imáx$ por horas.....	66
Tabla 4.3.20 – Regresión potencial	67
Tabla 4.3.21 – Análisis de parámetros de regresión potencial.....	68
Tabla 4.3.22 – Cálculo Intensidades I	69
Tabla 4.3.23 – Áreas parciales y acumulados	72
Tabla 4.3.24 – Análisis de altitudes para curvas hipsométricas.....	73
Tabla 4.3.25 – Longitudes parciales para rectángulo equivalente	74
Tabla 4.4.1 – Clasificación por demanda de tráfico de vías.....	78
Tabla 4.4.2 – Características de vías.....	78
Tabla 4.4.3 – Clasificación por orografía de terreno.	78
Tabla 4.4.4 – Datos básicos de los vehículos de tipo M	79
Tabla 4.4.5 – Velocidades de diseño en tramos homogéneos VTR	80
Tabla 4.4.6 – Distancia de visibilidad de parada Dp	82
Tabla 4.4.7 – Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento.....	82
Tabla 4.4.8 – Ángulos de inflexión máx. para abstenerse de la curva horizontal.	83
Tabla 4.4.9 – Longitudes de tramos en tangente.....	83

Tabla 4.4.10	– Radios mínimos $R_{mín}$ y Peraltes máximos $p_{máx}$	85
Tabla 4.4.11	– Resumen de gráficos de para determinar peraltes en curvas	86
Tabla 4.4.12	– Fricción transversal máxima en curvas $f_{máx}$	86
Tabla 4.4.13	– Radios mínimos $R_{mín}$	86
Tabla 4.4.14	– Relación entre radios consecutivos – grupo 2	87
Tabla 4.4.15	– Radios mínimos excepcionales	87
Tabla 4.4.16	– Variación de la aceleración transversal J	88
Tabla 4.4.17	– Radios para prescindir de curva de transición.	89
Tabla 4.4.18	– Pendientes máximas $S_{máx}$ en carretera	93
Tabla 4.4.19	– Anchos mínimos de calzada en tangente de carretera	99
Tabla 4.4.20	– Anchos mínimos de calzada	100
Tabla 4.4.21	– Pendientes transversales mínimas S_{lmin} de las bermas	100
Tabla 4.4.22	– Bombeo B	101
Tabla 4.4.23	– Peralte máximo $p_{máx}$	101
Tabla 4.4.24	– Proporción del peralte (p)	102
Tabla 4.4.25	– Valores referenciales para taludes en corte	102
Tabla 4.4.26	– Taludes referenciales en zonas de relleno	103
Tabla 4.4.27	– Radios y ángulos del vehículo de diseño	105
Tabla 4.4.28	– Datos básicos de los vehículos de tipo M	106
Tabla 4.4.29	– Pesos y medidas máximas permitidas	106
Tabla 4.4.30	– Geometría de vértices de poligonal base	107
Tabla 4.4.31	– Geometría de lados y orientacion de poligonal base	108
Tabla 4.4.32	– Longitudes consideradas de tramos en tangente	109
Tabla 4.4.33	– Radios mínimos $R_{mín}$ consideradas	110
Tabla 4.4.34	– Calculo de inclinación y longitud de transición de peraltes	110
Tabla 4.4.35	– Cálculo de espirales	112
Tabla 4.4.36	– Cálculo de espirales	113
Tabla 4.4.37	– Cálculo de sobreebanco y longitudes de transición	114
Tabla 4.4.38	– Anchos mínimos $a_{mín}$ de calzadas y bermas	117
Tabla 4.5.1	– Coeficiente de rugosidad de Manning n	118
Tabla 4.5.2	– Velocidad máxima $v_{máx}$	119
Tabla 4.5.3	– Inclinación máxima de talud interior de cuneta	121
Tabla 4.5.4	– Dimensiones mínimas de cunetas de sección triangular	121
Tabla 4.5.5	– Caudales de aporte	122
Tabla 4.5.6	– Resumen de relaciones geométricas de cunetas	124
Tabla 4.5.7	– Diámetros y espesores de alcantarilla TMC	125
Tabla 4.5.8	– Propiedades de alcantarillas TMC	126
Tabla 4.5.9	– Resumen de valores de diseño	130
Tabla 4.6.1	– Factores de corrección estacional f_c	132
Tabla 4.6.2	– Tasa de crecimiento de vehículos ligeros rl y pesados rp	133
Tabla 4.6.3	– Pesos P y medidas máximas permitidas	134
Tabla 4.6.4	– Factores de distribución	136
Tabla 4.6.5	– Factores de ajuste f_{pn}	136
Tabla 4.6.6	– Repeticiones acumuladas de ejes equivalentes E_e	137
Tabla 4.6.7	– Conteo vehicular	138
Tabla 4.6.8	– Índice medio diario IMD o Conteo vehicular actual to	139
Tabla 4.6.9	– Conteo vehicular actual to	140
Tabla 4.6.10	– Transito proyectado tn	141
Tabla 4.6.11	– Combinación de pesos P por ejes	142

Tabla 4.6.12 – Factores de carga de tráfico anual (<i>fct</i>)	143
Tabla 4.7.1 – Repeticiones acumuladas de ejes equivalentes.....	144
Tabla 4.7.2 – Categorías de Sub rasante	144
Tabla 4.7.3 – Nivel de confiabilidad <i>r</i>	145
Tabla 4.7.4 – Coeficiente estadístico de la desviación estándar normal <i>Zr</i>	145
Tabla 4.7.5 – Índice de serviciabilidad presente <i>Psi</i>	146
Tabla 4.7.6 – Coeficientes estructurales de las capas del pavimento.....	147
Tabla 4.7.7 – Tiempo de evacuación de agua <i>te</i>	148
Tabla 4.7.8 – Coeficiente de drenaje <i>m</i>	148
Tabla 4.7.9 – Número estructural requerido <i>Snr</i> para pavimentos flexibles	149
Tabla 4.7.10 – Espesores mínimos de capa superficial y base granular	149
Tabla 4.8.1 – Señales reglamentarias por prioridad	157
Tabla 4.8.2 – Señales reglamentarias de prohibición giros	157
Tabla 4.8.3 – Señales reglamentarias de restricción	158
Tabla 4.8.4 – Señales reglamentarias de obligación	158
Tabla 4.8.5 – Distancia de ubicación anticipada.....	159
Tabla 4.8.6 – Señales preventivas por curvaturas horizontales.....	160
Tabla 4.8.7 – Señales preventivas por pendientes longitudinales	162
Tabla 4.8.8 – Señales preventivas según superficie de rodadura.....	162
Tabla 4.8.9 – Señales preventivas de intercesiones con otras vías.....	163
Tabla 4.8.10 – Señales preventivas por características de operación de la vía	164
Tabla 4.8.11 – Altura mínima <i>h</i> de letras	165
Tabla 4.8.12 – Dimensiones de flechas de destino.....	165
Tabla 4.8.13 – tipo de flechas	165
Tabla 4.8.14 – Espaciamiento de postes delineadores.....	172
Tabla 4.8.15 – Espaciamiento de postes delineadores "CHEVRON"	173

Cuadros

Cuadro 4.6.1 – Vehículos ligeros de diseño	131
Cuadro 4.6.2 – Vehículos pesados de diseño	131
Cuadro 4.6.3 – Cargas por tipo de ejes.....	135

RESUMEN

En el país la población va adquiriendo vehículos motorizados, el cual la construcción de carreteras es muy importante para el crecimiento socio económico, por el cual facilita el transporte de vehículos pesados o livianos, ya sea públicos o privados.

Este proyecto de "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", tiene 2 tramos sin asfaltar (0+000 Km al 0+700 Km y 4+700 Km al 10+270 Km) y un tramo de asfaltado en mal estado (0+700 Km al 4+700 Km), por el cual se ha determinado realizar la vía de pavimento flexible, él estudio se inició con la inspección al lugar para realizar los trabajos de topografía utilizando una estación total, para luego procesar la data y determinar la geometría, pendientes, orografía entre otros. Se realizó el estudio de suelo de 3 calicatas y los resultados de las 6 complementarias se obtuvieron de la Municipalidad Distrital de Laredo. Para el Estudio de Hidrología nos brindaron las precipitaciones con el expediente de "REHABILITACIÓN DEL CAMINO VECINAL LI 178: EMP. PE-10 A (CERRO BLANCO) – POROTO (LA TRANCA) – LA LIBERTAD, y con la cuenca delimitada se determinó el caudal teórico, lo cual se necesita hacer contar con un Badén. Se realizó el Diseño Geométrico teniendo una longitud de 10 270 m, con calzada de 7.80 m y berma de 0.60 m, con un bombeo de carril de 2% ya que se encuentra en una zona de bajas precipitaciones.

Palabras clave: pavimento flexible, diseño de carretera.

ABSTRACT

In the country, the population is acquiring motorized vehicles, which the construction of roads is very important for socio-economic growth, by which it facilitates the transport of heavy or light vehicles, whether public or private.

This project of "FLEXIBLE PAVING DESIGN OF THE ROAD INFRASTRUCTURE SECTION LAREDO - CERRO BLANCO, ROUTE LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", has 2 unpaved sections (0 + 000 Km to 0 + 700 Km and 4 +700 Km to 10 + 270 Km) and a stretch of asphalt in poor condition (0 + 700 Km to 4 + 700 Km), for which it has been determined to make the flexible pavement road, he studied began with the inspection at the place to carry out the surveying works using a total station, to later process the data and determine the geometry, slopes, orography among others. The soil study of 3 pits was carried out and the results of the 6 complementarities were obtained from the District Municipality of Laredo. For the Hydrology Study they provided us with the rainfall with the file of "REHABILITATION OF THE NEIGHBORHOOD ROAD LI 178: EMP. PE-10 A (CERRO BLANCO) - POROTO (LA TRANCA) - LA LIBERTAD, and with the delimited basin the theoretical flow was determined, which is necessary to have a Baden. The Geometric Design was carried out having a length of 10,270 m, with a 7.80 m road and a 0.60 m berm, with a 2% pumping lane since it is located in an area of low rainfall.

Keywords: flexible pavement, road design.

I. INTRODUCCIÓN.

Nuestra tesis de "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", tiene como objetivo hacer el mejoramiento del diseño de la vía, ya que esta presenta deficiencias en la geometría, capa de rodadura que se encuentra en pésimas condiciones, no presenta obras de drenaje, tampoco señalización entre otros.

Este trabajo describirá la composición de la infraestructura vial, los conceptos de la vía y aquellas necesarias para su entendimiento del pavimento flexible, sus propiedades y métodos del diseño, también sus especificaciones técnicas necesarias como requisitos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, se tendrá en cuenta las consideraciones económicas, sociales, geográficas y físicas para el diseño, las características varían según el suelo, condiciones climatológicas y lugar.

Como contexto se toma el manual de carreteras (DG-2018), estas carreteras son muy importantes en el desarrollo de la población. En este trabajo está todo lo necesario para llevar a cabo el diseño de la carretera de pavimento flexible.

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.

En la actualidad la infraestructura vial de LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, se comunica con el centro poblado GALINDO, el cual consta de 2 tramos: LAREDO – GALINDO, cuenta con una vía pavimentada en mal estado y GALINDO – CERRO BLANCO, solo con camino vecinal, por lo que esta vía no cuenta con los requisitos básicos para el servicio de Transporte, la capa de rodadura se encuentra en pésimas condiciones y no cuenta con obras de arte tanto de pase como de drenaje.

Es necesario perfeccionar las condiciones de la vía para que permita el transporte público, privado, carga, agrícolas, reduciendo los costos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Qué características debe comprender el proyecto denominado "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD"?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Para efectuar el estudio se dio conforme a los puntos de vista:

■ Punto de vista técnico:

En el distrito de Laredo la municipalidad necesita mejorar sus vías vecinales, el diseño de esta carretera ayuda a progresar el desarrollo económico y social del distrito y la provincia. El tramo en investigación no cuenta con criterios del DG – 2018, para lograr el diseño de la vía se necesita usar equipos e instrumentos y programas de software.

■ Punto de vista teórico.

El estudio se efectúa para proporcionar los criterios de diseño de las vías de tercera clase, para que sea de acuerdo a las normas y eficaz para el usuario de esta carretera vecinal.

■ Punto de vista metodológico.

Al estudio es aplicado la norma de la DG 2018 para efectuar el diseño geométrico de la carretera, es necesario usar las vigentes normas, las condiciones muestran el modelo a continuar y parámetros de diseño para lograr una vía que cumpla con los términos para la transitabilidad.

■ Punto de vista práctico.

Se soluciona la problemática actual del lugar, por no tener los criterios de diseño adecuado para la circulación, mediante estrategias y métodos, se logrará resultados dentro del margen y criterios normativos según la DG-2018.

1.4. HIPÓTESIS.

Las características del "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", se determinará con los resultados con los estudios realizados.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar el "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD"

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Hacer la topografía para proyectar el trazo geométrico de la vía.
- Determinar el tipo de suelos y las propiedades del terreno.
- Hacer el estudio hidrológico para encontrar los caudales y diseñar las obras de drenaje.
- Realizar el diseño geométrico con las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES.

- **CÁRDENAS, Bryan 2017: "DISEÑO DE LA CARRETERA DE PAMPA LAGUNAS – JOLLUCO, CASCAS, GRAN CHIMÚ, LA LIBERTAD"**, Su investigación lo realiza con el fin de diseñar la carretera, Inicia primero visitando la zona en estudio para recolectar datos pertinentes para su estudio, para luego hacer su levantamiento topográfico con juntamente con el conteo vehicular, Clasificando la carretera como carretera de 3 clase. Efectuó 4 calicatas para el correspondiente análisis de suelos y planteo un diseño de pavimento superficial de bicapa de 2.5 cm, con una sub base de afirmado con 15 cm y la base granular con 18 cm. Se consideró obras de drenaje superficial: 5 aliviaderos, 3 alcantarillas y cunetas.
- **PEÑA, Rubén 2017: "DISEÑO DE LA CARRETERA TRAMOS: ALTO HUAYATAN - CAUCHALDA - RAYAMBARA - SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD"**, por el deterioro de la carretera y la necesidad de mejorarla, se hizo el levantamiento topográfico de 7.018 km de carretera, clasificándola según su orografía como carretera como 3 clase. Se excavaron seis calicatas para la observación de los estudios de suelos, en obras de arte se obtuvo cunetas, 9 aliviaderos y 4 badenes. El proyecto está presupuestado a S/. 9'602,467.19 soles con un cronograma de ejecución de obra de 6 meses.
- **AGUILAR, Luis 2016: "DISEÑO GEOMÉTRICO Y PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR ACCESIBILIDAD VIAL ENTRE TRES CP. POMALCA, LAMBAYEQUE"**, Su investigación lo realiza con el fin de diseñar el pavimento para mejorar la accesibilidad del camino, por lo que se trabajó el levantamiento topográfico de 2,60 km de camino vecinal de los centros poblados, para ello realizó 6 calicatas para el análisis de suelos, cuyos resultados de CBR de la sub rasante al 95% del Proctor Modificado con el que se ha diseñado, es recomendable remplazar el material de relleno y agregar una capa de Over de máximo 6 pulgadas, el presupuesto es de S/. 2179,633.32.

- **MOSCOL, Jorge y RODRÍGUEZ, Fernando 2016: “DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO QUINTA ALTA, CUMUMBAMBA, PEÑA BLANCA Y SANTA CRUZ, HUAMACHUCO, SÁNCHEZ CARRIÓN, LA LIBERTAD”**, Su estudio lo hizo con el fin de diseñar dicho tramo de vía, replanteando el diseño para planta consecuentemente con el perfil, con el análisis de mecánica de suelos se excavaron varias calicatas con una profundidad de 1.50 m extrayendo muestras para analizarlas en laboratorio para su estudio correspondiente. El resultado del análisis de suelos reporta que el CBR de la sub rasante al 95% del Proctor Modificado con el que se ha diseñado se necesita quitar material de relleno y remplazarlo por otra. Se utilizaron softwares como: Civil 3D, AutoCAD y presupuesto en S10, entre otros los cuales ayudaron a la realización del presente proyecto. Según los criterios de la norma DG-2014, pudo determinarse que es una carretera de tercera clase, pendiente máxima de 10% y la velocidad en tramos homogéneos es de 30km/h, el afirmado tendrá un espesor de 25 cm y el proyecto tendrá un gasto de S/. 7'011,066.95.
- **CAJO, José 2014: “DISEÑO DEFINITIVO A NIVEL DE CARPETA ASFÁLTICA DE LA CARRETERA FERREÑAFE – MAMAPE (L=3.96KM), MANUEL ANTONIO MESONES MURO, FERREÑAFE, LAMBAYEQUE”**, se comenzó con el levantamiento topográfico, determinando una observación de las áreas colindantes a la vía a estudiar, reconocer las rutas y variantes, que pueda aplicarse de acuerdo a la DG – 2013 y se trata de minimizar los cortes de volumen y relleno para así poder hacer un menor movimiento de tierra y economizar en dicha partida. Se determinó con un tipo de Vehículo de Diseño C3 denominado por la DG – 2013, obtenido de los resultados de un estudio de tráfico en distintas estaciones de trabajo. Se realizó el diseño encontrando un sobre ancho y peraltes en curvas de transición de vía, se realizó el diseño de 9 alcantarillas con su respectivo diseño de Hidráulica y obras de arte.
- **ESQUIVEL, Segundo y QUIÑONES, James 2014: “ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL AFIRMADO ENTRE LAS LOCALIDADES DE SURUVARA Y LA CUCHILLA, SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD”**, en su investigación para realizar el diseño del mejoramiento de

la vía a nivel de afirmado, se realizó primeramente el trazo de la vía, luego el análisis de suelos, y obteniendo estos análisis se comienza a efectuar el diseño de la vía, también hicieron la investigación del Impacto Ambiental que ocurriría, analizaron los Costos y Presupuestos y con todo estos datos poder realizar el estudio y dar solución a las dificultades que tiene la vía y poder ser segura y transitable.

- **VÁSQUEZ, José 2014: “MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ENTRE EL CRUCE EMBARCADERO C.P DE PORCÓN ALTO Y EL CRUCE CAMPANARIO CARRETERA A SAN PABLO, CAJAMARCA”**, en su estudio se realizó el trazo de una trocha carrozable, en el análisis de suelos, el resultado a la distancia de toda trocha es suelo A - 6(7) y el C.B.R para diseñar es de 8.9%, se diseñó con una pendiente media de 2.42%, con una velocidad directriz de 20km/hora, su longitud es de 6.074 km y un radio mínimo de 10 m, acordaron diseñar con el espesor de 30 cm de afirmado, el sistema de drenaje superficial se realizó 02 alcantarillas, 6960 ml de cunetas y 32 aliviaderos, se colocaron 18 señales reglamentarias, 02 señales informativas, 06 hitos kilométricos y 33 señales preventivas en la señalización, el costo del mejoramiento es de S/.1660245.60 y se programó en 4 meses que durará su ejecución (120 días).
- **PINO, Cené y QUISPE, Betty 2018: "DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO C.P. MARIPOSA LEIVA – MOLINO CHOCOPE, ASCOPE, LA LIBERTAD”**, se hizo el estudio del levantamiento topográfico el cual es una topografía plana con pendiente longitudinal menor al 3% y pendiente transversal menor al 10%, consideraron la pendiente máxima de 8%, se estableció el ensayo de CBR; el diseño al 95% de subrasante, en el análisis Hidrológico diseñaron las obras de arte; cunetas y 20 alcantarillas de 32” de diámetro, se efectuó el diseño geométrico con la normativa DG – 2018, con una velocidad de 40 Km/h, se clasificó como carretera de tercera clase, los costos y presupuestos del proyecto tienen el monto de S/ 10'318,993.02.
- **CABALLERO, Víctor 2018: “DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO HITO KM119 – CASERÍO HIGOSBAMBA, CAJABAMBA, CAJABAMBA, CAJAMARCA”**, se

clasifico una vía de tercera clase con un IMDA menor a 400 veh/día. el terreno es ondulado (tipo 2), en el análisis de mecánica de suelos, se ha clasificado según SUCS, las arenas arcillosas, teniendo un CBR al 95 % de 12.62% considerado un suelo bueno para la sub rasante. Del EMS de la cantera se determinó un suelo con grava limosa y arcillosa, teniendo un CBR al 100% de 63.58%, para el estudio hidrológico se identificó 7 cuencas dentro de la zona, y determino los caudales y obras de drenaje como: cunetas triangulares, 20 alcantarillas circulares de 24" Ø y 4 alcantarillas de paso, 2 de 24" y 2 de 32" Ø, y 2 badenes, para diseñar la vía se adoptó la velocidad de 40km/h, y el pavimento comprende 0.05m de pavimento flexible en frio y una base granular de 0.26m. En el tramo que el CBR de la sub rasante no cumple se reemplazó el suelo con material propio de los otros tramos. El presupuesto del proyecto es de: S/. 4,354,866.64.

- **CASTILLO, Antony y NOLASCO Herminia 2019: “EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DE LA INTERSECCIÓN AVENIDAS MANSICHE Y PABLO CASALS”**, se llevó a cabo el trazo definiendo la pendiente de la carretera de 2.55%, la clasificación por orografía es de terreno plano, para la investigación del tráfico vehicular y peatonal se usó el formato del MTC, es muy transitable y la que genera congestión de vehículos, se elaboró el diseño geométrico sin considerar la creación de lugares públicos, por lo que ahora la Av. Pablo Casals es la que genera congestionamiento.

Se propuso la implementación de semáforos, señales informativas y señales preventivas; mediante los semáforos pueden respetar el pase de otros y circulen por ciclos, la implementación de una nueva rodadura para disminuir la velocidad con giro a la izquierda, en la Av. Pablo Casal con sentido del Ovalo Mochica a la intersección, el objetivo es de optimizar el tráfico en la vía.

- **OLIVARES, Mayra y PISCOYA Andy 2020: “DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL ENTRE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE CON CARRETERA DE ACCESO AL PUERTO SALAVERRY – TRUJILLO”**, se inició el levantamiento topográfico de la

carretera panamericana norte y un tramo en la intersección a la salida del puerto de Salaverry, en el análisis de suelos se obtuvo el tipo de arenas mal graduadas, teniendo un porcentaje de húmedas del 8.64%, se obtuvo un CBR al 95% de 15, el diseño geométrico se realizará con un diseño tipo trompeta el cual permitirá que el tránsito de salida de vehículos del puerto de Salaverry se a más fluido, en la señalización tanto de información como preventivas, así como también de reglamentación, pero no se consideró el semáforo por ser una autopista de primera clase.

- **PAZ, Rogelio 2018: “DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO CASMA – MOJEQUE, CASMA, CASMA, ANCASH”**, iniciaron el levantamiento topográfico y se pudo establecer la orografía de la carretera con un terreno ondulado (tipo 2), en el análisis de suelos se estableció que hay un suelo CH y CL y el CBR que no cumple, el material de la cantera se utilizara porque tiene 63.58% de CBR; de la estación pluviométrica de Cajabamba (SENAMHI) se obtuvieron los resultados y diseñaron las obras de arte, como: cunetas triangulares y cunetas, alcantarilla de paso (1), alcantarillas (22) y badenes (2), es una carretera de tercera clase, diseñándose la velocidad de 40 km/h y 9% de pendiente máxima. El impacto negativo tuvo que ser prevenido y el impacto positivo tienen que generar el progreso socio económico, calidad de vida, el costo del proyecto tiene un total de 5,158,256.91.
- **JULON, Yosseline 2020: “DISEÑO DE LA CARRETERA PARQUE INDUSTRIAL HASTA LA INTERSECCIÓN CON LA VÍA DE EVITAMIENTO EN EL SECTOR EL MILAGRO”**, se efectuó el levantamiento topográfico, tiene un terreno plano y la autopista es de primera clase, diseñándose la velocidad de 80 km/h, la pendiente transversal es menor a 10%, y la pendiente máxima de 5%, en el análisis de mecánica de suelos de 20 calicatas, se ha determinado el tipo de suelo, no hay nivel freático, se realizó el CBR y como resultado se tiene de 13.46%, 29.94%, 23.29% y 79.42%. para el estudio hidrológico se adquirió un caudal hidráulico de 304.75 m³/s, en el diseño geométrico, fue considerado 4 vías, teniendo 2 vías por sentido, en algunos lugares hay terrenos o

construcciones que no se adecuan al diseño, por lo tanto, se plantea realizar tratos con los propietarios.

- **KANNO, José y QUIROZ, Christian 2020: "DISEÑO DE LA CICLOVÍA COSTANERA ECOAMIGABLE, TRAMO VÍCTOR LARCO HERRERA – HUANCHAQUITO, TRUJILLO, LA LIBERTAD"**, Para el diseño de la ciclovia costanera ecoamigable, se considera que la velocidad más adecuada es 40 km/h y calzada de 2.50m de ancho, se realizó el estudio topográfico, el terreno es plano o llano; al realizarse 3 calicatas, se obtuvo valores de CBR de: 8.00 %, 7.50 % y 8.50 % el valor obtenido de la cantera de CBR es 95%, al realizarse el estudio hidrológico, se diseñó: una alcantarilla de paso de 36" de diámetro, 2 badenes de concreto de 24 m; se obtuvieron 26 curvas horizontales y 23 curvas verticales en el perfil. En el pavimento indica una superficie de rodadura de asfalto de 4cm de espesor, de 15cm la base granular.

- **BRICEÑO Torres y NARCIZO, Willy 2019: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE LAS METODOLOGÍAS DE LA AASHTO-93 Y LA DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL CAMINO VECINAL TAMO JULCÁN – CP. CHUAN PARTE BAJA, JULCÁN, LA LIBERTAD"**, en el levantamiento topográfico su longitud es de 7,554 Km, se verificaron que el tramo de Chuan un solo carril y del tramo Oromalqui – Julcán dos carriles, el análisis de suelos, se hicieron siete calicatas, se encontraron los CBR por calicatas C1: 9.1%, C2: 9.6%, C3: 9.0%, C4: 8.5%, C5: 53.5%, C6: 57.0%, C7: 62.0%, del estudio vehicular, para el diseño de pavimento flexible con 122 vehículos mixtos/día la metodología del AASHTO, y con 549.38 vehículos pesados la metodología del Instituto del Asfalto por año. El número de ejes para la metodología de la AASHTO es de 83,225.52 y la metodología del Instituto del Asfalto de 45,200.00. el número de ejes.

- **ANTÓN, Cristian y YANGUA, María 2020: "EVALUACIÓN DE CANTERA KM. 0+860 Y CARABAMBA EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRAMO DV.LI119: CP. ANCUSH, PROVINCIA DE JULCÁN, LA LIBERTAD"**, del diseño de un pavimento se extrajeron calicatas a una profundidad de 1.5 m, las calicatas exploradas no

presentaron altos porcentajes de humedad, en cuanto a los valores de CBR se obtuvieron valores al 95% con una penetración de 0.1", el número estructural fue considerado a lo logrado en el programa AASHTO-93 y el estimado resultado es de 1.88. Con el valor de número estructural que se consideran para el diseño, se finaliza con una carpeta de 15 cm sub base de espesor, una carpeta con espesor de 20 cm en la base y una rodadura de 2.5 cm de espesor.

- **MANAYAY, Lenin y MUDARRA, Robert 2018: "ESTUDIO DE TRANSITABILIDAD VIAL EN LA AVENIDA AEROPUERTO DISTRITO DE HUANCHACO, TRUJILLO - LA LIBERTAD, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO 93"**, se realiza su clasificación por el AASHTO y SUCS, utilizaron la malla número 40 y 200 para el porcentaje de partículas, para saber el Límite plástico, el límite líquido, mediante análisis granulométrico por lavado, en las estudios de campo y de laboratorio, la estratigrafía del proyecto está formado por grava deficientemente gradada con finos limosos (GP-GM), en las características de los suelos, se logró establecer las cargas en los estratos con el soporte de la sub rasante, se obtuvo la máxima densidad seca y C.B.R., se obtuvo el contenido de humedad (OCH), presentan un CBR promedio al 100%, afectaran su comportamiento cuando haya cargas. Los espesores son: la carpeta asfáltica de 5 cm, base de 20 cm (Afirmado) y sub base 20 cm (Hormigón).
- **BERMUDEZ, Carlos y RAMOS, Yuvickza 2019: "DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN LA PROLONGACIÓN AV. UNO Y LA PROLONGACIÓN SINCHI ROCA, EN EL CP. ALTO TRUJILLO, TRUJILLO, LA LIBERTAD"**, En el proyecto, las horas con más congestiónamiento vehicular en las principales avenidas durante la semana es de 7:00am a 2:00pm, por lo que hay asistencia al centro de salud, colegios y entidades públicas, en el análisis de Mecánica de Suelos, las calicatas estudiadas permiten la clasificación del suelo si es de buena calidad, las calles no están pavimentadas, esto dificulta el desplazamiento de vehículos y peatones, la accesibilidad es pésima a la falta de pavimentaciones ya que restringe el transporte de carga y de pasajeros, con esto tiene que recurrir a tramos más largos a pie, para acceder a las vías centrales, en el Centro Poblado de Alto Trujillo no existe señalizaciones, esto puede causar accidentes de

tránsito en los centros públicos o privados, el proyecto en las vías se ha complementado con Señalización Vial, que informan los carriles vehiculares, los pasos peatonales, etc.

- **FLORES, Orlando y VALVERDE, Gerson 2019: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL, TRAMO DESVÍO DE MARKAHUAMACHUCO – SANAGORÁN, SÁNCHEZ CARRIÓN - LA LIBERTAD”**, se concluye que en el IMDA en el tramo es de 260 veh/día de M1, es el tipo de vehículo que más circula por esta zona, realizaron el levantamiento topográfico, su topografía va de ondulada a accidentada, en una longitud de 11.403 km, no hay muchas plazoletas de cruce siendo un solo carril, la superficie es afirmado en mal estado de conservación y señalización, en el análisis de suelos, se trabajó con un CBR (8.29%), debido a la similitud de CBR, el número de repeticiones de ejes equivalentes para el pavimento rígido es 1,338,424.96 y el pavimento flexible es 1,182,888.63, el estudio referenciado entre los pavimentos usando el método AASHTO 93, se concluye que el pavimento flexible el más óptimo, se debe tener más señalización informativa y preventivas.

2.2. BASES TEÓRICAS.

Al realizar un estudio de diseño vial, tuvimos presente los siguientes pasos: el levantamiento topográfico, mecánica de suelos, estudio hidrológico, estudio de diseño geométrico.

■ Estudio Topográfico.

Está definido como una ciencia, se realiza mediante métodos y con las herramientas adecuadas para graficar las diferentes siluetas de una parte de la faz de la tierra, a la ilustración gráfica (levantamiento topográfico) y al resultado se denomina plano, que comprende un conjunto de puntos en el terreno sobre un plano horizontal, mostrándose una vista en planta del sitio levantado (Jiménez, 2007, p. 11). El método a utilizar es el taquimétrico ya que es el medio topográfico que precisa las coordenadas del Norte, Este y cota de puntos sobre el terreno; el método taquimétrico con estación total tiene grandes ventajas porque toma y registra datos instantáneamente, descartando errores de lectura, anotaciones, transcripción y cálculo; con este método se toman datos automáticamente y los cálculos de coordenadas se efectúan por medio de software integrados a dichas estaciones (Casanova, 2002, p. 208).

■ Estudio de mecánica de suelos.

Se realizará el reconocimiento del tramo a tratar para luego sacar las muestras del suelo y llevarlas al laboratorio y clasificar según AASTHO y el SUCS y así saber con qué suelo se está trabajando, luego de clasificar los suelos se realizará un perfil estratigráfico para los tramos en estudio, se establecerá el CBR para ver la resistencia del suelo, señalado al 95% de la máxima densidad seca (MDS), posteriormente se procesará los datos y se verificará que el suelo de la zona sea óptimo a las capas de la vía, si el suelo no es apto se hace el análisis de la cantera para reemplazar el suelo y estar conforme al criterio establecido por el Manual de Carreteras.

■ **Estudio Hidrológico.**

Lo primero que se debe considerar son los datos de la cuenca, el caudal aportado será la que este en función a la condición fisiográfica, climática topográfica, cobertura vegetal, capacidad de almacenamiento y tipo de suelo (Fattorelli y Fernández, 2011, p.20). En el estudio estadístico de datos se utilizará modelos de partición y para ello se realizará con el programa HidroEsta el cual nos procesa todos los modelos de distribución y nos proporciona el modelo adecuado. La estimación del caudal se usará para el método racional que se considera el caudal máximo, incluyendo un coeficiente “c” (Anexo 2) estimando las de características de la cuenca.

■ **Estudio del Diseño Geométrico.**

Se clasifica la vía por la demanda y su orografía, se analizará el vehículo, la velocidad, características del tránsito, y la distancia de visibilidad; así mismo se tendrá en cuenta criterios para el diseño geométrico en planta donde se halla los tramos tangentes, el sobre ancho, las curvas circulares, compuestas y de vuelta; como también el diseño geométrico en perfil que cuenta de pendientes máximas y mínimas y curvas verticales; y por último el modelo de la sección transversal en el cual está la calzada, bombeo, bermas, peralte, taludes y cunetas. Los alineamientos y dimensiones su capacidad resultante sea la óptima para la demanda del estudio (Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, DG-2018).

2.3. ASPECTOS GENERALES.

2.3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA.

LAREDO forma parte de la provincia de TRUJILLO, LA LIBERTAD, Geográficamente se localiza al Sur de la Línea Ecuatorial en $8^{\circ} 05' 45''$ Latitud Sur y $78^{\circ} 57' 30''$ Longitud Oeste.

Ilustración 2.3.1 – Ubicación del proyecto a nivel mundial y nacional

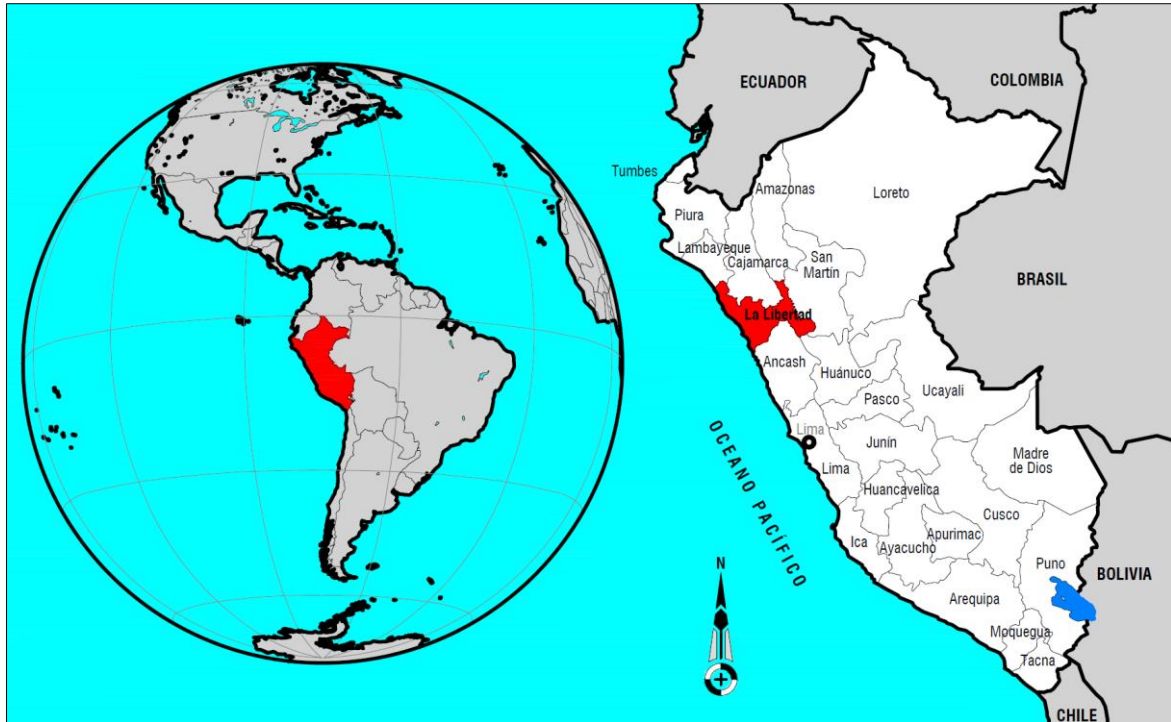


Ilustración 2.3.2 – Ubicación del proyecto a nivel departamental



Ilustración 2.3.3 – Ubicación del proyecto a nivel provincial

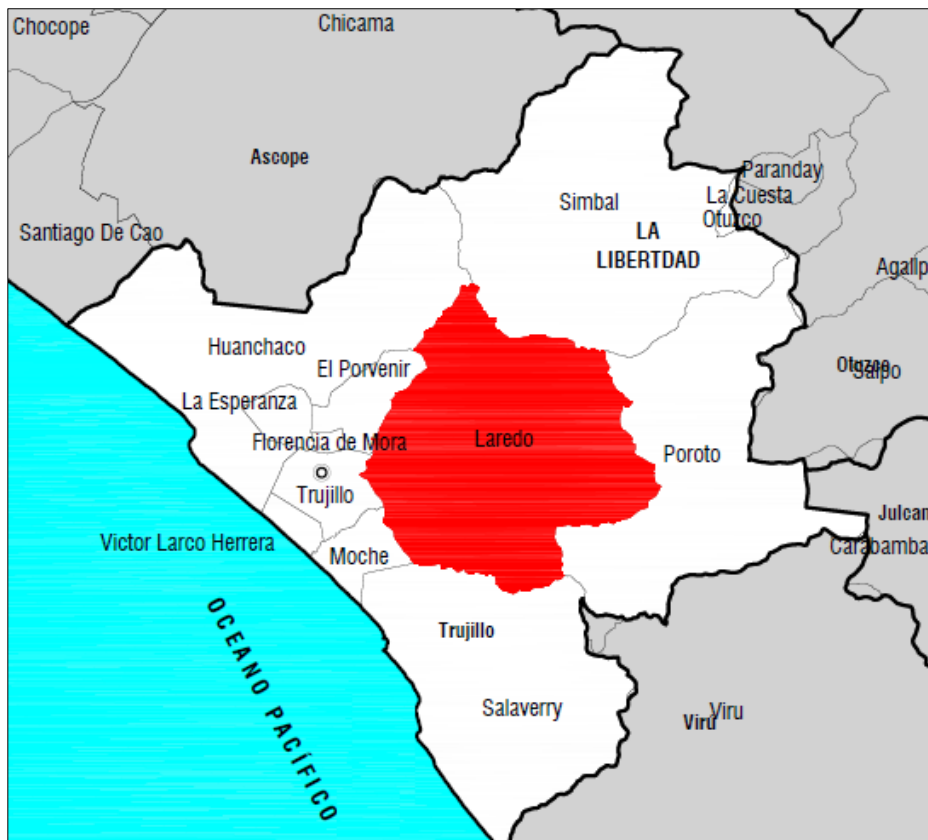


Ilustración 2.3.4 – Ubicación del proyecto a nivel distrital

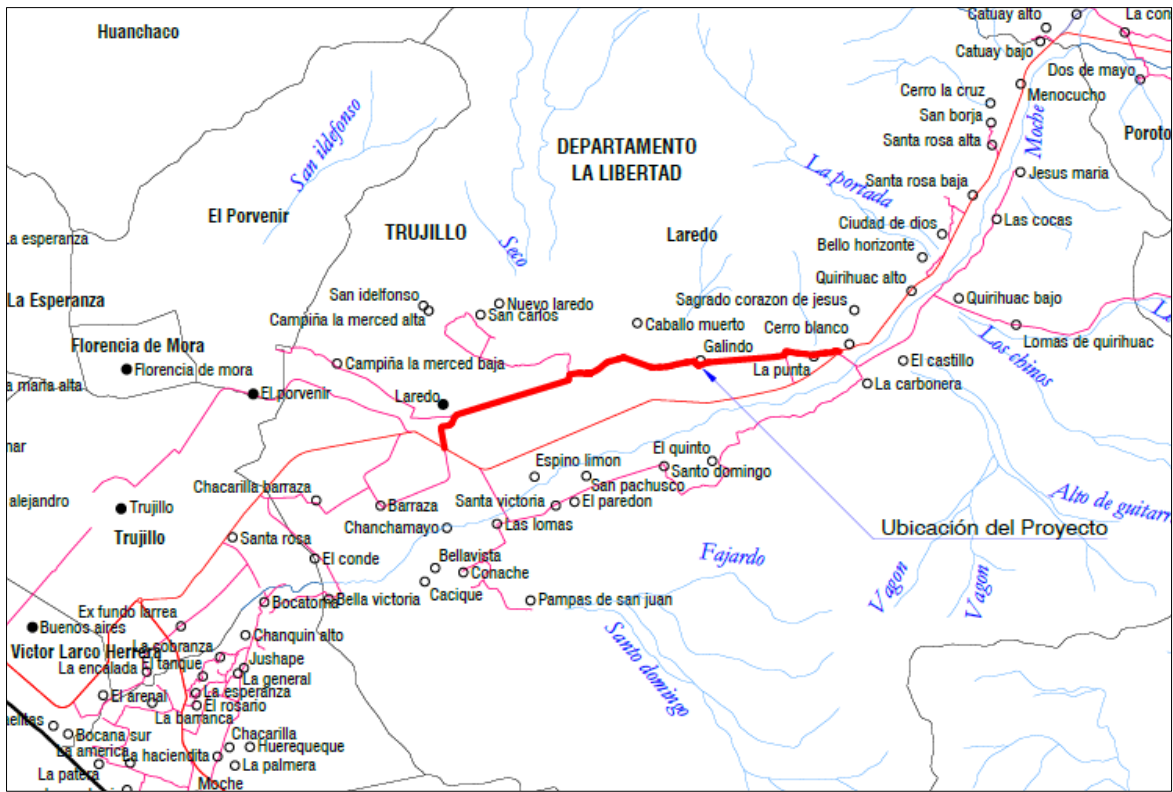


Imagen 2.3.1 – Vista satelital del lugar de estudio



Fuente: Imagen satelital de GOOGLE EARTH

■ Zona de estudio:

Es proyecto está ubicado en el distrito de LAREDO de la provincia de TRUJILLO del departamento LA LIBERTAD, el tramo de la vía, está con dirección del distrito de LAREDO al Cp. CERRO BLANCO.

2.3.2. CLIMA.

Presenta un clima semi cálido, con temperaturas de 20° C, en invierno de 11° C y en verano de 30° C.

2.4. ASPECTOS BÁSICOS.

2.4.1. POBLACIÓN.

La población del distrito de Laredo cuenta 40036 habitantes según el último censo del 2017.

Se tiene acceso a servicios de comunicación como los periódicos, la radio y la televisión.

La industria azucarera impulsada por la empresa Agroindustrial Laredo provee de trabajos a los pobladores de la zona.

2.4.2. AGRICULTURA.

La agricultura de la zona se siembra principalmente caña de azúcar, maíz, camotes, espárragos y frutas (guanábana, piña y fresas que se encuentran en los caseríos) entre muchas más especies.

2.4.3. VÍA DE ACCESO.

El acceso es directo en transporte público o particular.

2.5. INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS.

2.5.1. SALUD.

En Galindo no cuenta con centro de salud, tampoco puesto de salud, los pobladores acuden al Distrito de Laredo donde si hay hospital.

2.5.2. EDUCACIÓN.

En el centro poblado Galindo existe una institución educativa de nivel primario 80835 y nivel inicial Las Semillitas, las instituciones de nivel secundario o superiores se encuentran en el Distrito de Laredo y Trujillo.

2.5.3. VIVIENDAS.

Las casas en el centro poblado Galindo son construidas de material rústico como: techo de calamina, madera, barro y adobe, como otras de material noble.

2.5.4. SERVICIOS BÁSICOS.

El servicio de alcantarillado, agua potable y energía eléctrica todavía no se populariza en las localidades de Laredo, la gran parte se suministra de pozos. Con el INEI, en el censo del 2007 en las zonas rurales el 58% se suministra mediante pozos, el 24% cuenta con servicio de agua potable otorgada por la red pública y el 18% restante se suministra de agua mediante ríos o acequias.

III. METODOLOGÍA.

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El estudio constará con el diseño descriptivo.

$$M \rightarrow O \quad \text{[Ecu. 3.1.1]}$$

Dónde: Área de influencia del proyecto vial *M*

Datos topográficos, Geológicos y hidrológicos *O*

3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.

3.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE.

Diseño de la vía TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734.

3.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.

Hechos que sirven para hacer el diseño de la vía, los indicadores están normados.

Tabla 3.2.1 – Espesor mínimo de capa superficial y espesor de base granular

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Diseño de la vía TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734	Diseño de geometría en planta y perfil de la carretera, relacionadas con el ancho de calzada, el peralte, la pendiente longitudinal y transversal, la velocidad de diseño mínimos en curvas y la construcción de obras de drenaje pluvial. El diseño geométrico vial, se hará estableciendo características de acuerdo a las normas vigentes, aplicándose en base a la topografía del terreno y el diseño de la infraestructura de rodadura se hará de acuerdo a los resultados del estudio de mecánica de suelos y estudio de tráfico.		Levantamiento Topográfico	Levantamiento	msnm
				Equidistancias	m
				Pendiente del terreno	%
				Vista en planta y perfil	m
			Estudio de Mecánica de Suelos	Granulometría.	%
				Humedad	%
				Peso Específico.	gr/cm ³
				Límites de Atterberg	%
				Proctor Modificado	%
				CBR.	%
			Estudio Hidrológico	Área de cuenca	m ²
				Precipitaciones	mm/día
				Caudales	m ³ /s
				Cunetas	m
				Badenes	u
				Alcantarillas	u
			Diseño Geométrico	Tráfico vehicular	veh/día
				Espesor de capas	cm
				Velocidad de diseño	Km/h
				Distancia de Visibilidad	m
Pendientes	%				
Peralte	%				
Radios	m				
Movimiento de tierras	m ³				
Señalización	u				

3.3. DATOS CONSIDERADOS.

Población : La vía en estudio y su área de influencia.

Muestra : Dimensiones consideradas a lo largo de toda la vía

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

■ Técnicas:

- Levantamiento topográfico.
- Estudio de suelos (capacidad portante).
- Análisis visual de suelos
- Trazo y diseño geométrico
- Recolección y clasificación estadística de datos hidrológicos.
- Métodos de estudio hidrológica para el diseño hidráulico.
- Procesamiento estadístico de datos.

■ Instrumentos:

- Estación total
- Horno
- Prisma - cucharas
- Calculadora
- Balanza
- Tamices
- Molde de CBR
- Calibrador dial
- Trípode
- Software.

■ Fuentes:

- Archivos de la municipalidad distrital de LAREDO.
- Manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2018 - MTC)
- Instituto nacional de estadística e informática (INEI).
- Tesis relacionadas a la creación de carreteras.

■ Informantes:

- Docentes, asesores, autoridades, población.

3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.

Se utilizarán tablas, manuales, gráficos, y programas tales como: Word, Excel, AutoCAD, CIVIL 3D, Hidroesta, Global Mapper, ArcGIS, Google Earth.

3.6. ASPECTOS ÉTICOS.

Para Iniciar cualquier trabajo referente a la presente investigación fue necesario presentar una solicitud a la Municipalidad Distrital de Laredo (Anexo 1) con el fin de que se nos autorice a realizar cualquier actividad a realizar en la zona, ante ello fuimos autorizados satisfactoriamente por la entidad correspondiente mediante una carta (Anexo 2).

Estando autorizados, se hizo del conocimiento a las autoridades de la zona, los cual aceptaron sin ningún inconveniente.

IV. RESULTADOS.

4.1. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

4.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Se realizó los trabajos de levantamiento topográfico del área de estudio utilizando los equipos correspondientes (Estación total, prismas, GPS, Wincha, Automóvil) y Materiales (Estacas, marcadores). Se realizó este trabajo con el fin de determinar las características y formas del terreno donde se encuentra el proyecto efectuándose en 5 días calendarios, con la información recogida en campo se prosiguió a procesar la información o data en gabinete a través del software AutoCAD CIVIL 3D.

4.1.2. PUNTOS DE GEORREFERENCIACIÓN.

■ Puntos de referencia.

Hacen referencia a los puntos obligatorios tales como inicio y fin de la vía, Zonas particulares de paso, lugares, obras proyectadas importantes, entre otros.

Tabla 4.1.1 – Puntos de referencia

Punto	E	N	Observación
Inicio de vía	724,921.32	9,104,792.40	Intersección
Final de vía	734,192.71	9,106,444.85	Intersección
Desvío a Laredo	725,227.88	9,104,896.19	Intersección
Cp. Galindo	730,816.61	9,106,249.47	Plaza de armas

■ **Puntos de estación.**

Hace referencia a los puntos enmarcados en el levantamiento topográfico, y que tiene como función tener una referencia para el replanteo topográfico al momento de la ejecución del proyecto.

Tabla 4.1.2 – Puntos de estación

Ítem	Código	Coordenadas		Altitud (msnm)	Descripción
		E	N		
1	Bm-1	725,014.067	9,104,246.766	73.326	Parte interior el intersección de tridente
2	Bm-2	724,965.428	9,104,511.862	73.919	Lado derecha en esquina de muro
3	Bm-3	725,236.617	9,104,877.188	75.127	Lado derecho de la vía
4	Bm-4	726,193.019	9,105,257.576	77.674	Lado izquierdo de la vía
5	Bm-5	726,881.084	9,105,465.520	78.885	Lado izquierdo de la vía
6	Bm-6	727,601.800	9,105,682.717	80.049	Lado derecho de la vía, pavimento
7	Bm-7	727,863.568	9,105,888.299	80.485	Lado izquierdo de la vía, en roca
8	Bm-8	728,361.846	9,105,924.198	82.147	Lado derecho de la vía, en roca
9	Bm-9	728,937.521	9,106,226.112	83.032	Esquina de losa deportiva
10	Bm-10	729,269.887	9,106,222.816	83.578	Lado derecho de la vía, junto a muro
11	Bm-11	729,706.973	9,106,061.726	84.323	Lado derecho de la vía, junto a muro
12	Bm-12	730,019.612	9,106,061.641	85.614	Lado derecho de la vía, sardinell
13	Bm-13	730,467.233	9,106,156.173	87.555	Lado izquierdo de la vía, esquina vereda
14	Bm-14	730,736.188	9,106,205.230	89.154	Lado izquierdo de la vía, esquina vereda
15	Bm-15	730,776.726	9,106,108.259	86.597	Esquina de losa deportiva
16	Bm-16	731,036.280	9,106,173.519	85.817	Lado izquierdo de la vía
17	Bm-17	731,499.937	9,106,202.014	87.166	Lado derecho de la vía
18	Bm-18	732,250.776	9,106,263.545	89.303	Lado derecho de la vía
19	Bm-19	732,786.726	9,106,323.287	92.385	Lado derecho de la vía
20	Bm-20	732,916.044	9,106,409.505	95.314	Lado izquierdo de la vía, frente a vivienda
21	Bm-21	733,195.906	9,106,367.166	98.934	Lado izquierdo de la vía, frente a vivienda
22	Bm-22	733,454.978	9,106,335.639	101.225	Lado derecho de la vía
23	Bm-23	733,802.483	9,106,397.047	104.875	Lado izquierdo de la vía, esquina de muro
24	Bm-24	733,980.532	9,106,441.474	104.515	Lado izquierdo de la vía

4.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

4.2.1. GENERALIDADES.

El informe tiene los resultados de los ensayos de laboratorio con el fin de precisar las propiedades geotécnicas del terreno, base y sub base de la estructura vial del proyecto "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", para lo cual se debe determinar y proveer la siguiente:

- El análisis de suelos tiene como finalidad determinar el comportamiento y la capacidad de carga del terreno.
- El análisis se hizo con el fin de analizar y precisar las propiedades físicas, donde se proyectará la capa de rodadura vehicular.
- Si material de cantera cumple con las condiciones mínimas usarse a base y la sub base de la estructura vial.

4.2.2. OBJETIVO.

El objetivo de este informe de MECANICA DE SUELOS realizado en lo largo de carretera tramo LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, tiene como finalidad determinar y proveer la siguiente:

4.2.2.1. Objetivo principal.

Determinar las condiciones geotécnicas de los suelos y parámetros de resistencia que permitirá la construcción de la estructura vial.

4.2.2.2. Objetivos específicos.

- El análisis de suelos tiene como finalidad determinar el comportamiento y la capacidad de carga del terreno.
- Realizar las pruebas básicas de laboratorio necesarios para definir las propiedades geotécnicas.
- Determinar el nivel freático

4.2.2.3. Reglamentos y normas.

El presente informe ha tomado la guía del reglamento nacional de edificaciones: E-50 (suelos y cimentaciones)

4.2.3. TRABAJOS DE CAMPO

Según el posicionamiento estratégico se realizó la excavación de calicatas, tomando muestras representativas de los suelos que conforman el perfil estratigráfico y ensayos de laboratorio.

■ Número de calicatas.

Tabla 4.2.1 – Número mínimo de calicatas (n_c)

Tipo de vía		Trafico $\langle IMDa \rangle$ (veh/día)	Profun. $\langle h \rangle$ (m)	Carriles por sentido	$\langle n_c \rangle$	Observación
Autopistas	1° clase	> 6,000	$\langle h \rangle = 1.5$ m respecto al nivel de sub rasante	2	4	Se ubican longitudinalmente y en forma alternada
	2° clase	4,000 – 6,000		3	4	
Carreteras	1° clase	2,000 – 4,000		4	6	
	2° clase	400 – 2,000		1	4	
	3° clase	200 – 400		1	3	
Trochas		<200		-	1	

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Cuadro 4.1

■ Registros de excavaciones.

Se extrae las muestras de la sub rasante para hacer las pruebas de $\langle Cbr \rangle$ y ensayo de módulo de resiliencia $\langle M_r \rangle$ para correlacionarlos con la ecuación de $\langle M_r \rangle$.

Tabla 4.2.2 – Elección de número de ensayo de $\langle Cbr \rangle$ y $\langle M_r \rangle$

Tipo de vía		$\langle IMDa \rangle$ (veh/día)	Carriles por sentido	Numero de ensayos	
				$\langle Cbr \rangle$	$\langle M_r \rangle$
Autopistas	1° clase	> 6,000	2	1 por 1 km	1 por 3 km
	2° clase	4,000 – 6,000	3	1 por 1 km	1 por 2 km
Carreteras	1° clase	2,000 – 4,000	4	1 por 1 km	1 por 1 km
	2° clase	400 – 2,000	1	1 por 1.5 km	Sustentado
	3° clase	200 – 400	1	1 por 2 km	Sustentado
Trochas		<200	-	1 por 3 km	-

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Cuadro 4.2

■ Descripción de calatas.

Se excavaron las 3 calicatas adicionales, con $\langle l \rangle = 1 \cdot 1$ m aproximadamente para que pueda caber una persona y logre maniobrar en la recolección de muestras, que se realizó en forma manual.

La exploración se realizó en lugares estratégicos en el terreno a investigar (1 km).

Las excavaciones se hicieron a una profundidad $\langle h = 1.2 \rangle$ m, permitiéndonos observar directamente la estratigrafía.

Tabla 4.2.3 – Descripción de calicatas excavadas

Nº	E	N	Ubicación
C-1	724,942	9,104,658	Lado derecho de la vía
C-2	725,843	9,105,136	Lado derecho de la vía
C-3	727,432	9,105,627	Lado derecho de la vía
C-4	727,871	9,105,894	Lado izquierdo, intersección con desvío
C-5	728,927	9,106,219	Lado derecho, al costado de losa deportiva
C-6	730,188	9,106,093	Lado derecho, frente al portón de acceso
C-7	731,060	9,106,177	Lado izquierdo de la vía
C-8	731,608	9,106,219	Lado izquierdo de la vía
C-9	732,496	9,106,286	Lado derecho de la vía

4.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.

4.2.4.1. Ensayo estándares.

Las muestras conseguidas en el campo fueron analizadas en laboratorio para realizar los ensayos respectivos con la finalidad de establecer sus características mecánicas y físicas, considerando normativas tales como ASTM.

4.2.4.2. Análisis granulométrico por tamizado.

Este análisis basado en (ASTM-D-422) se hace para conocer la variedad de tamaño de partículas. Se utiliza en suelos areno gravosos, en el caso que el material sea granular contiene finos se realizara un lavado previo de la muestra para perder la mayor cantidad de finos posibles antes del tamizado.

$$\%P_r = \frac{P_r}{\sum P_r} \cdot 100 \quad [\text{Ecu. 4.2.1}]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \%P_{ra_1} = \%P_{r_1} \\ \%P_{ra_2} = \%P_{ra_1} + \%P_{r_2} \\ \vdots \\ \%P_{ra_n} = \%P_{ra_{(n-1)}} + \%P_{r_n} \end{array} \right\} \quad [\text{Ecu. 4.2.2}]$$

$$\%P_{rap} = 100 \% - \%P_{ra} \quad [\text{Ecu. 4.2.3}]$$

Dónde: Peso retenido (gr) P_r

Porcentaje de peso retenido $\%P_r$

Porcentaje de pesos acumulados: Retenido $\%P_{ra}$; $\%P_{rap}$
 Pasante $\%P_{ra}$; $\%P_{rap}$

■ **Coeficientes de Allen Hazen.**

Coeficientes de Allen Hazen deben estar en los rangos de $(4 < L_p < 7)$:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad [\text{Ecu. 4.2.4}]$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad [\text{Ecu. 4.2.5}]$$

Dónde: Coeficientes: Uniformidad C_u
 Gradación o curvatura C_c
 Diámetros de porcentaje que pasan D_{10} ; D_{30} ; D_{60}

4.2.4.3. Contenido de humedad.

Según (ASTM-D-2216) encuentra la cantidad de agua que tiene la muestra del suelo.

$$W = \frac{P_a}{m_s} \cdot 100 \quad [\text{Ecu. 4.2.6}]$$

Dónde: Contenido de humedad (%) W
 Pesos (gr): Tara t
 Tara + muestra húmeda P_h
 Tara + muestra seca P_s
 Muestra seca $m_s = P_s - t$
 Agua $P_a = P_h - P_s$

4.2.4.4. Límites de Atterberg:

■ **Límite Líquido.**

ASTM-D-423, es el límite arbitrario entre el estado semilíquido y estado plástico de un suelo.

■ **Límite Plástico.**

ASTM-D-424, es el límite entre el estado de consistencia plástico y consistencia semisólida de un suelo.

■ **Índices derivados de los límites de Atterberg.**

Índice de plasticidad

Es el rango el cual el suelo tiene un comportamiento plástico.

$$I_p = L_l - L_p \quad \text{[Ecu. 4.2.7]}$$

Nota: El (I_p) no puede ser negativo, si da negativo, es decir ($L_p > L_l$) se tomará como un ($I_p = 0$) por lo que se informará el índice de plasticidad como no plástico (NP). En el caso que el porcentaje que quede en el plato luego de la granulometría no sea mayor al 12 % no será necesario realizar el ensayo para obtener el (I_p) de la muestra.

4.2.4.5. Peso específico.

■ **Método sumergido.**

Según (ASTMD854, NTP 339.2131, MTC E-113), es una porción de la muestra que traspasa por el tamiz N° 4.

$$\gamma = \frac{m_s}{m_s + (P_{pa} - P_{pam})} \quad \text{[Ecu. 4.2.8]}$$

Dónde: Pesos específico (gr/cm³) γ

Pesos (gr):	Picnómetro	P_p
	Picnómetro + Agua	P_{pa}
	Picnómetro + Agua + Muestra	P_{pam}
	Tara	t
	Tara + muestra seca	P_s
	Muestra seca	$m_s = P_s - t$

4.2.4.6. Compactación Proctor Modificado.

Según (ASTM D1557), es el progreso artificial de las características del suelo por los medios mecánicos aumentado la capacidad de deformación, se disminuye los vacíos, incrementa la resistencia y disminuye la capacidad de deformación. Al compactarse el suelo de forma adecuada con una humedad óptima, habrá una buena lubricación, si hay ausencia de agua no tendrá buena lubricación y si hay exceso de agua las fuerzas hidrostáticas separaran las partículas.

La compactación del suelo aumenta la densidad del material granular adicionalmente reduce la compresibilidad, permeabilidad y aumenta la resistencia al corte.

■ **Método.**

Tabla 4.2.4 – Comparativa de métodos de ensayo

Parámetros	Métodos		
	Método "A"	Método "B"	Método "C"
Diámetro del molde	4" – 101,6 mm	4" – 101,6 mm	6" – 152,4 mm
Material usado	Suelo que pasa por el tamiz N° 4	Suelo que pasa por el tamiz 3/8"	Suelo que pasa por el tamiz 3/4"
Número de capas	5	5	5
Golpes por capa	25 golpes	25 golpes	56 golpes
Uso	$\langle P \leq 20\% \rangle$ es retenido en el tamiz N° 4	$\langle P > 20\% \rangle$ es retenido en el tamiz N° 4 y $\langle P \leq 20\% \rangle$ es retenido en el tamiz 3/8"	$\langle P > 20\% \rangle$ se retiene en el tamiz 3/8" y $\langle P < 30\% \rangle$ es retenido en el tamiz 3/4"
Otros usos	(*) Método B ó C.	Método C	-
Otros	-	-	El molde de 6" no usarlo en los métodos A ó B

(*): Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando

4.2.4.7. Capacidad de soporte del suelo.

Cocido, como $\langle Cbr \rangle$, se hace con el fin de determinar el índice de resistencia del suelo donde se hará el proyecto, se utilizándolo para estimar la capacidad de soporte de los materiales que componen la estructura vial de rodadura.

■ **Compactación.**

Se hace tres ensayos de Proctor modificado con diferentes números de golpes por cada capa.

■ **Expansión.**

$$E = \frac{L_{d(f)} - L_{d(i)}}{h} \cdot 100 \quad \text{[Ecu. 4.2.9]}$$

Dónde: Expansión (mm, %) E
 Lectura dial: Final ; inicial $L_{d(f)} ; L_{d(i)}$
 Altura del material dentro del molde (mm) h

■ **Penetración.**

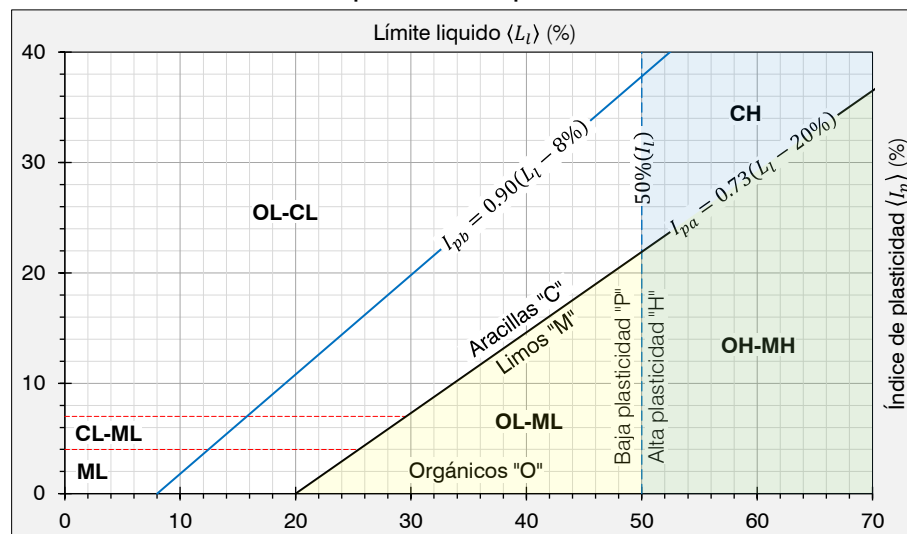
Al aplicarle un sobre peso lo suficientemente para que la muestra pueda resistir a una intensidad de carga igual al peso del pavimento ($P_p = \pm 2.27$) kg.

4.2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

4.2.5.1. Clasificación SUCS.

■ Carta de plasticidad para suelos finos.

Gráfico 4.2.1 – Carta de plasticidad para la clasificación de suelos



Fuente: Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, Braja A. Das – figura 1.5

■ **Criterios de clasificación.**

Tabla 4.2.5 – Criterios de clasificación SUCS

Divisiones mayores		Código	Criterios de clasificación
Suelos gruesos	Gravas "G"	Limpias (Poco o sin finos)	GW $\langle C_u > 4 \rangle$; $\langle 1 < C_c < 3 \rangle$
		Con finos (Más cantidad de finos)	GP Incumple los requisitos de graduación para GW
	Arenas "S"	Limpias (Poco o sin finos)	GM (*)
		Con finos (Más cantidad de finos)	GC (**) (***)
			Materiales sobre la línea A con $\langle 4 < L_p < 7 \rangle$
Suelos finos	Arcillas "C"	Limpias (Poco o sin finos)	SW $\langle C_u > 6 \rangle$; $\langle 1 < C_c < 3 \rangle$
		Con finos (Más cantidad de finos)	SP Incumple los requisitos de graduación para SW
	Limos "M"	Limpias (Poco o sin finos)	SM (*)
		Con finos (Más cantidad de finos)	SC (**) $\langle 4 < L_p < 7 \rangle$ (***)
			Si está en la zona sombreada con
		ML	Determinar el porcentaje de arenas y gravas.
		CL	En función del % de finos puede ser: [$< 5\%$):
		OL	GW, GP, SW, SP] ó [$> 12\%$): GM, GC, SM, SC]
			ó [$5-12\%$): (***)]
Altamente orgánicos "O"		Pt	Se codifican como: MH, CH, OH y no tienen criterios de clasificación
			Sin criterios de clasificación

(*) Límites Atteberg por debajo de la línea A ó $\langle L_p < 4 \rangle$; (**) Límites A. por encima de la línea A ó $\langle L_p > 7 \rangle$
 (***) : Se considera de frontera y se les asigna doble símbolo

4.2.5.2. Clasificación AASHTO.

■ **Criterios.**

Suelos granulares 35 % o menos del total que cruza por el tamiz N° 200

Suelos limo – arcillosos Más de 35 % del total que cruza por el tamiz N° 200

■ **Índice de grupo**

$$I_g = (F_{200} - 35)(0.2 + 0.005(L_l - 40)) + 0.01(F_{200} - 15)(I_p - 10) \quad [\text{Ecu. 4.2.10}]$$

Dónde: Índice de grupo I_g

Porcentaje que pasa por la malla N° 200 F_{200}

límite líquido (%) L_l

índice de plasticidad (%) I_p

Índice de grupo para suelos A-2-6 al A-2-7

$$I_g = 0.01(F_{200} - 15)(I_p - 10) \quad [\text{Ecu. 4.2.11}]$$

■ Resumen de clasificación.

Tabla 4.2.6 – Criterios de clasificación AASHTO

Clasificación	Suelos		Granulares						Limo – arcillosos				
	Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Peso retenido en Tamiz (gr)	Nº 10	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nº 40	≤ 30	≤ 50	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nº 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Limite líquido $\langle L_l \rangle$		-	-	-	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 41
Indicé	Plasticidad $\langle I_p \rangle$	≤ 6	≤ 6	-	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11
	Grupo $\langle I_g \rangle$	-	-	-	-	-	≤ 4	-	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	≤ 20
Tipología de suelo		(¹)	(²)		(³)				Limosos		Arcillosos		
Calidad		Excelente a buena				-	-		Aceptable a mala				

(¹) Fragmento de piedra, grava y arena; (²) Arena fina ; (³)Gravas y arena limosas y arcillosas

4.2.6. PERFIL ESTRATIGRÁFICO.

De acuerdo con el estudio en el campo y el resultado de las pruebas de laboratorio, es imposible introducir el perfil estratigráfico del área y dentro de la profundidad de explotación.

En los anexos respectivos se muestra el perfil estratigráfico detalles del lugar de estudio.

4.2.7. CANTERA.

Los materiales usados para base y sub base para la plataforma de rodadura, será usado de la cantera El milagro, de propiedad privada ubicada a 28 km desde el distrito de Laredo, la capacidad de soporte del suelo ($0.95C_{br} = 80.97\%$) por lo que el material es de buena calidad como base y sub base.

4.2.8. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

■ Ensayos físicos.

Límites de consistencia: Límite líquido (%) L_l
 Límite plástico (%) L_p
 Contenido de humedad (%) W
 Peso específico del suelo (gr/cm²) γ
 Nivel freático (m) N_f

Tabla 4.2.7 – Resumen de resultados de ensayos físicos

N°	$\langle W \rangle$ (%)	Límites		$\langle I_p \rangle$ (%)	Clasificación		$\langle \gamma \rangle$	$\langle N_f \rangle$	Calidad
		$\langle L_l \rangle$	$\langle L_p \rangle$		SUCS	AAHTO			
C-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-7	9.41	21.50	14.11	7.39	ML	A-1-a (0)	2.70	2.0	Regular
C-8	11.94	24.00	13.09	10.91	ML	A-1-a (0)	-	-	Regular
C-9	8.22	19.50	15.31	4.19	ML	A-1-a (0)	-	-	Regular

■ Ensayos mecánicos.

Máxima densidad seca (%) $\rho_{s(máx)}$
 Optimo contenido de humedad (%) W_o
 Relación de rodamiento California (%) Cbr

Tabla 4.2.8 – Resumen de resultados de ensayos mecánicos

N°	$\langle \rho_{s(máx)} \rangle$ (gr/cm ³)	$\langle W_o \rangle$ (%)	$\langle Cbr \rangle$ (%)	
			100%	95%
C-1	-	-	24.50	12.30
C-2	-	-	24.57	12.55
C-3	-	-	17.55	12.51
C-4	-	-	24.30	12.32
C-5	-	-	24.65	12.73
C-6	-	-	17.51	12.55
C-7	1.782	10.50	24.00	12.00
-	-	-	22.44	12.42

4.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.3.1. HIDROLOGÍA.

Investiga el agua en la corteza terrestre, sus recorridos, sus características físicas y químicas, estudia las precipitaciones, la humedad del suelo, su transformación; el contacto con los seres vivos. Siempre se estudiará para cualquier tipo de proyecto de ingeniería. Para tener sus precipitaciones, se ejecutan obras de arte para no ser obstáculo por un cauce artificial o natural.

■ GENERALIDADES.

La finalidad de las obras de drenajes es vaciar las aguas de origen superficial. Para lo cual es necesario colocar cunetas, alcantarillas, badenes, etc., se estudiarán los datos de precipitaciones y escorrentía con el uso de la Hidrología y la Estadística comenzar con los registros meteorológicos de estaciones cercanas al lugar.

En el proyecto es importante porque nos permite estimar los escurrimientos superficiales producto de las precipitaciones en quebradas y puntos en que la vía cruza los cauces. La probabilidad de ocurrencia debe conocer el comportamiento futuro por lo que es diseñado la vía. Con la hidrología calculamos y estimamos los escurrimientos de las lluvias de la plataforma en la vía.

El objetivo final es diseñar el sistema de drenaje de la vía, teniendo dos finalidades: conservar la firmeza del terreno; y reponer las características del transporte de aguas, natural del terreno o construidas previamente, sería cambiado por la construcción del camino; y que, sin prevenir el cuidado del proyecto, causarían daños en el medio ambiente.

Para diseñar las obras de arte se realizó un estudio del lugar.

■ Objetivo del estudio.

- Establecer las precipitaciones máximas.
- Consideración de los caudales para el diseño de obras de drenaje.
- Determinar las dimensiones de obras de drenaje.

4.3.2. ESTUDIO HIDROGRÁFICO DE CUENCAS.

4.3.2.1. Hidrografía y Geomorfología.

Se tomaron los datos de la cuenca más cercana del distrito de Laredo para realizar el estudio.

La estación LAREDO está ubicada con $8^{\circ} 34' 0''$ de latitud y $77^{\circ} 39' 0''$ de longitud con 85.5 msnm.

4.3.3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.

4.3.3.1. Estación meteorológica.

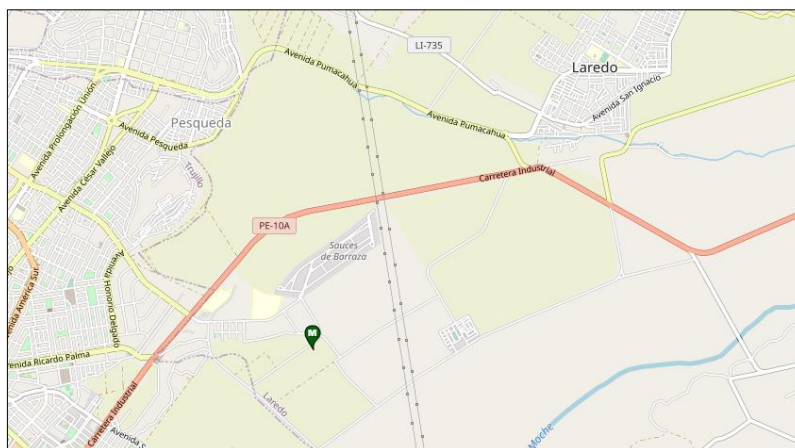
Las dimensiones del drenaje superficial son constituidas por los métodos teóricos de acuerdo a los criterios hidrológicos del lugar por donde pasa la vía teniendo presente la información pluviométrica complementaria proporcionada por el SENAMHI.

La información meteorológica de la estación LAREDO es la que se aproxima al lugar de estudio.

Ubicación de la estación pluviométrica:

- Departamento : LA LIBERTAD
- Provincia : TRUJILLO
- Distrito : LAREDO
- Referencia : Latitud: $8^{\circ} 34' 0''$; Longitud: $77^{\circ} 39' 0''$
- Coordenadas : UTM E 224585 N 9451525
- Altitud : 85.5 m

Imagen 4.3.1 – Ubicación de la estación pluviométrica LAREDO



Fuente: Imagen satelital de SENAMHI

4.3.3.2. Información pluviométrica.

Tabla 4.3.1 – Serie histórica de precipitaciones máximas diarias $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$

Años	Precipitaciones máximas (mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May.	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic
2007	34.6	24.0	10.7	16.9	7.6	2.1	0.0	8.8	3.4	14.3	25.1	23.5
2008	24.7	20.1	14.5	23.3	8.0	0.4	9.8	0.6	15.1	9.4	10.3	26.2
2009	21.7	20.1	16.4	15.1	19.6	3.8	8.5	6.8	4.8	19.2	10.5	16.6
2010	26.1	33.8	35.1	20.0	14.7	0.6	22.1	1.8	26.1	13.2	8.4	16.7
2011	17.3	14.8	24.1	19.1	17.4	1.4	9.8	0.2	5.2	8.0	11.3	15.8
2012	14.5	20.9	16.4	11.3	3.4	4.2	9.9	4.2	5.2	13.2	10.1	19.7
2013	11.3	21.6	17.1	10.0	6.1	5.6	4.5	8.0	8.0	13.4	11.3	10.0
2014	8.6	18.2	14.5	11.2	11.8	7.2	1.8	0.0	7.0	12.5	9.2	18.2
2015	24.2	14.2	25.1	11.3	17.5	0.0	3.1	7.3	6.0	10.0	10.2	20.0
2016	23.1	14.3	11.3	11.2	3.4	3.5	0.0	4.1	7.1	18.2	5.8	21.0

Fuente: Datos meteorológicos de SENAMHI

4.3.4. PERÍODO DE RETORNO.

Tabla 4.3.2 – Riesgo admisible $\langle R_{m\acute{a}x} \rangle$ y vida útil $\langle n \rangle$ de obras de drenaje

Tipo de obra	$\langle R_{m\acute{a}x} \rangle$ (%)	$\langle n \rangle$ (años)
Puentes y pontones	25	40
Alcantarillas de paso y badenes	30	25
Alcantarilla de alivio y cunetas	35	15
Drenaje de la plataforma	40	15
Sub drenes	40	15
Defensas ribereñas	25	40

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje – tabla 2

Tabla 4.3.3 – Períodos de retorno $\langle T \rangle$

$\langle n \rangle$	5	10	15	20	25	35	40	50	75	100	200
$\langle R \rangle$ (%)	Períodos de retorno $\langle T \rangle$ (años)										
1	498	995	1,493	1,990	2,488	3,483	3,980	4,975	7,463	9,950	19,900
2	248	495	743	990	1238	1,733	1,980	2,475	3,713	4,950	9,900
5	98	195	293	390	488	683	780	975	1,463	1,950	3,900
10	48	95	143	190	238	333	380	475	713	950	1,899
20	23	45	68	90	113	158	180	225	337	449	897
25	18	35	53	70	87	122	139	174	261	348	695
30	16	31	47	62	77	108	123	154	232	309	614
35	14	27	41	54	67	94	107	134	202	270	533
40	12	23	34	45	57	79	91	113	173	232	451
50	8.0	15	22	29	37	51	59	73	114	154	289
75	4.1	7.7	11	15	18	26	29	37	55	73	144
99	1.7	2.7	3.9	5.0	5.9	7.9	9.0	11	17	22	44

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje – tabla 1

4.3.5. MODELOS ESTADÍSTICOS DE DISTRIBUCIONES.

■ Parámetros probabilísticos.

Media aritmética.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) \quad [\text{Ecu. 4.3.1}]$$

Dónde: Media aritmética \bar{x}

Número de datos n

Muestra parcial x_i

Mediana.

La mediana (\bar{x}_m) Valor de la información en el 50 o percentil.

Desviación Estándar:

Es una dimensión de la variabilidad, ya que es la raíz cuadrada y su valor estimado se denota por:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad [\text{Ecu. 4.3.2}]$$

Mientras mayor es el valor de la desviación estándar, mayor será dispersión de los datos.

Coefficiente de variación.

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad [\text{Ecu. 4.3.3}]$$

Asimetría.

El coeficiente de asimetría (C_s) o oblicuidad se determina a partir de:

$$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2)(S^3)} \quad [\text{Ecu. 4.3.4}]$$

4.3.5.1. Distribución Normal.

■ **Parámetros:**

Media [Ecu. 4.3.1] $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x)$

Desviación estándar [Ecu. 4.3.2] $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x-\bar{x})^2}{n}}$

■ **Funciones:**

Función densidad $\langle f_{(x)1} \rangle$:

$$f_{(x)1} = \frac{1}{S_x \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{S_x} \right)^2} \quad \text{[Ecu. 4.3.5]}$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)1} \rangle$:

$$F_{(x)1} = \frac{1}{S_x \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{S_x} \right)^2} dx \quad \text{[Ecu. 4.3.6]}$$

4.3.5.2. Distribución Log Normal.

■ **Parámetros según método de máxima verosimilitud:**

Parámetro de escala o Media transformada $\langle \mu \rangle$:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x}{n} \quad \text{[Ecu. 4.3.7]}$$

Parámetro de forma o Desviación estándar transformada $\langle \sigma \rangle$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x - \mu)^2}{n}} \quad \text{[Ecu. 4.3.8]}$$

Coficiente de oblicuidad $\langle C_s \rangle$:

$$C_s = \frac{a}{(\sigma)^3} = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (\ln x - \mu)^2}{(\sigma)^3} \quad \text{[Ecu. 4.3.9]}$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)2} \rangle$:

$$f_{(x)2} = \frac{1}{(x)\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad \text{[Ecu. 4.3.10]}$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)2} \rangle$:

$$F_{(x)2} = \frac{1}{(x)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad [\text{Ecu. 4.3.11}]$$

4.3.5.3. Distribución Log Normal 3 parámetros.

■ **Parámetros:**

Método simplificado:

Mediana m

Parámetro de posición $\langle x_0 \rangle$:

$$x_0 = \frac{(x_{\text{mín}} \cdot x_{\text{máx}}) - m^2}{(x_{\text{mín}} + x_{\text{máx}}) - 2m} \quad [\text{Ecu. 4.3.12}]$$

Método de máxima verosimilitud:

Parámetro de escala o Media transformada $\langle \mu \rangle$:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(x - x_0)}{n} \quad [\text{Ecu. 4.3.13}]$$

Parámetro de forma o Desviación estándar transformada $\langle \sigma_y \rangle$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x - x_0) - \mu)^2}{n}} \quad [\text{Ecu. 4.3.14}]$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)3} \rangle$:

$$f_{(x)3} = \frac{1}{(x - x_0)\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu}{\sigma}\right)^2} \Rightarrow \{x_0 \leq x < \infty\} \quad [\text{Ecu. 4.3.15}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(z)3} \rangle$:

$$F_{(z)3} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad [\text{Ecu. 4.3.16}]$$

4.3.5.4. Distribución Gamma.

■ Parámetros según método de máxima verosimilitud:

Parámetro $\langle \gamma \rangle$:

$$\gamma = \ln(\bar{x}) - \overline{\ln x} \quad [\text{Ecu. 4.3.17}]$$

Parámetro de forma $\langle \gamma \rangle$:

$$\gamma = \frac{0.5000876+0.1648852(\gamma)-0.0544274(\gamma^2)}{0.5000876+0.1648852(\gamma)-0.0544274(\gamma^2)} \Rightarrow \{0 \leq \gamma \leq 0.5772\} \quad [\text{Ecu. 4.3.18}]$$

$$\gamma = \frac{8.898919+9.05995(\gamma)+0.9775373(\gamma^2)}{17.79728+11.968477(\gamma)+(\gamma^2)} \Rightarrow \{5 < \gamma \leq 17\} \quad [\text{Ecu. 4.3.19}]$$

Parámetro de escala $\langle \beta \rangle$:

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\gamma} \quad [\text{Ecu. 4.3.20}]$$

■ Funciones:

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)4} \rangle$:

$$f_{(x)4} = \frac{(x^{\gamma-1}) \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)} \Rightarrow \begin{cases} 0 \leq x < \infty \\ 0 < \beta < \infty \\ 0 < \gamma < \infty \end{cases} \quad [\text{Ecu. 4.3.21}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)5} \rangle$:

$$F_{(x)4} = \int_0^x \frac{(x^{\gamma-1}) \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)} dx \quad [\text{Ecu. 4.3.22}]$$

4.3.5.5. Distribución Gamma 3 parámetros (Pearson III).

■ Parámetros:

Media $\langle \bar{x} \rangle$:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x}{n} \quad [\text{Ecu. 4.3.23}]$$

Desviación estándar $\langle S_x \rangle$:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad [\text{Ecu. 4.3.24}]$$

Parámetro de sesgo $\langle C_s \rangle$:

$$C_s = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(S_x)^3} \quad [\text{Ecu. 4.3.25}]$$

Método de momentos:

Parámetro de forma $\langle \gamma \rangle$:

$$\gamma = \frac{4}{(C_s)^2} \quad [\text{Ecu. 4.3.26}]$$

Parámetro de escala $\langle \beta \rangle$:

$$\beta = \sqrt{\frac{(S_x)^2}{\gamma}} \quad [\text{Ecu. 4.3.27}]$$

Parámetro de posición $\langle x_0 \rangle$:

$$x_0 = \bar{x} - \sqrt{\gamma(S_x)^2} \quad [\text{Ecu. 4.3.28}]$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)5} \rangle$:

$$f_{(x)5} = \frac{(x - x_0)^{(\gamma-1)} \cdot e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}}{\beta^\gamma \cdot \Gamma(\gamma)} \Rightarrow \begin{cases} x_0 \leq x < \infty \\ -\infty < x_0 < \infty \\ 0 < \beta, \gamma < \infty \end{cases} \quad [\text{Ecu. 4.3.29}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)5} \rangle$:

$$F_{(x)5} = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{(\gamma-1)} \cdot e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)}}{\beta^\gamma \cdot \Gamma(\gamma)} dx \quad [\text{Ecu. 4.3.30}]$$

4.3.5.6. Distribución Log Pearson Tipo III.

■ **Parámetros:**

Media $\langle \bar{x} \rangle$:

$$\bar{x}_{(\ln x)} = \sum \frac{\ln x}{n} \quad [\text{Ecu. 4.3.31}]$$

Desviación estándar $\langle S_x \rangle$:

$$S_{(\ln x)} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{x}_{(\ln x)})^2}{n-1}} \quad [\text{Ecu. 4.3.32}]$$

Parámetro de sesgo $\langle C_s \rangle$:

$$C_{s(\ln x)} = \frac{n \sum (\ln x - \bar{x}(\ln x))^3}{(n-1)(n-2)(S(\ln x))^3} \quad [\text{Ecu. 4.3.33}]$$

Método de momentos:

Parámetro de forma ó Gamma $\langle \gamma \rangle$:

$$\gamma = \frac{4}{(C_{s(\ln x)})^2} \quad [\text{Ecu. 4.3.34}]$$

Parámetro de escala ó Beta $\langle \beta \rangle$:

$$\beta = \frac{C_{s(\ln x)} \cdot S(\ln x)}{2} \quad [\text{Ecu. 4.3.35}]$$

Parámetro de posición $\langle x_0 \rangle$:

$$x_0 = \bar{x}(\ln x) - 2 \frac{S(\ln x)}{C_{s(\ln x)}} \quad [\text{Ecu. 4.3.36}]$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)_6} \rangle$:

$$f_{(x)_6} = \frac{(\ln x - x_0)^{(\gamma-1)} \cdot e^{-\left(\frac{\ln x - x_0}{\beta}\right)}}{(x)\beta^\gamma \cdot \Gamma(\gamma)} \Rightarrow \begin{cases} x_0 \leq x < \infty \\ -\infty < x_0 < \infty \\ 0 < \beta, \gamma < \infty \end{cases} \quad [\text{Ecu. 4.3.37}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)_6} \rangle$:

$$F_{(x)_6} = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{(\gamma-1)} \cdot e^{-\left(\frac{\ln x - x_0}{\beta}\right)}}{(x)\beta^\gamma \cdot \Gamma(\gamma)} dx \quad [\text{Ecu. 4.3.38}]$$

4.3.5.7. Distribución Gumbel.

También llamado análisis de valores extremos (AVE) evaluar la probabilidad de eventos o valores más extremos que lo observado previamente.

■ **Parámetros:**

Media [Ecu. 4.3.1] $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x)$

Desviación estándar [Ecu. 4.3.2] $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n}}$

Método de momentos:

Parámetro de escala $\langle \alpha \rangle$:

$$\alpha = \frac{(S_x)\sqrt{6}}{\pi} \quad [\text{Ecu. 4.3.39}]$$

Moda ó Parámetro de posición $\langle \mu \rangle$ considerando la Constante de Euler – Mascheroni $\langle \gamma = 0.5772 \rangle$:

$$\mu = \bar{x} - \gamma \cdot \alpha \quad [\text{Ecu. 4.3.40}]$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)7} \rangle$:

$$f_{(x)7} = \frac{1}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)} \cdot e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)} \Rightarrow \{-\infty \leq x \leq \infty\} \quad [\text{Ecu. 4.3.41}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)7} \rangle$:

$$F_{(x)7} = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \Rightarrow \{-\infty \leq x \leq \infty\} \quad [\text{Ecu. 4.3.42}]$$

4.3.5.8. Distribución Log Gumbel.

Media $\langle \bar{x} \rangle$:

$$\bar{x}_{(\ln x)} = \sum \frac{\ln x}{n} \quad [\text{Ecu. 4.3.43}]$$

Desviación estándar $\langle S_x \rangle$:

$$S_{(\ln x)} = \sqrt{\frac{\sum (\ln x - \bar{x}_{(\ln x)})^2}{n - 1}} \quad [\text{Ecu. 4.3.44}]$$

Método de momentos:

Parámetro de escala $\langle \alpha \rangle$:

$$\alpha = \frac{(S_{(\ln x)})\sqrt{6}}{\pi} \quad [\text{Ecu. 4.3.45}]$$

Moda ó Parámetro de posición $\langle \mu \rangle$ considerando la Constante de Euler – Mascheroni $\langle \gamma = 0.5772 \rangle$:

$$\mu = \bar{x}_{(\ln x)} - \gamma \cdot \alpha \quad [\text{Ecu. 4.3.46}]$$

■ **Funciones:**

Función densidad de probabilidad $\langle f_{(x)8} \rangle$:

$$f_{(x)8} = \frac{1}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{\ln x - \mu}{\alpha}\right)} \cdot e^{-\left(\frac{\ln x - \mu}{\alpha}\right)} \Rightarrow \{-\infty \leq x \leq \infty\} \quad [\text{Ecu. 4.3.47}]$$

Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)8} \rangle$:

$$F_{(x)8} = e^{-e^{-\left(\frac{\ln x - \mu}{\alpha}\right)}} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} -\infty \leq x, \mu \leq \infty \\ 0 \leq \alpha \leq \infty \end{array} \right\} \quad [\text{Ecu. 4.3.48}]$$

4.3.5.9. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia $\langle \Delta \rangle$ entre la función de distribución de probabilidad observada $\langle F_x \rangle$ y la estimada $\langle P_x \rangle$:

$$\Delta = \text{máx} |F_x - P_x| \quad [\text{Ecu. 4.3.49}]$$

Dónde: Probabilidad de la distribución teórica F_x
 Probabilidad experimental o empírica y/o frecuencia acumulada P_x

A continuación se muestran los valores críticos de $\langle \Delta_0 \rangle$:

Tabla 4.3.4 – Valores críticos de Kolmogorov - Smirnov

$\langle n \rangle$	Niveles de significación $\langle \alpha \rangle$					$\langle n \rangle$	Niveles de significación $\langle \alpha \rangle$				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01		0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
5	0.446	0.474	0.51	0.565	0.669	16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
6	0.410	0.436	0.47	0.521	0.618	17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577	18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543	19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
9	0.339	0.36	0.388	0.432	0.514	20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
10	0.322	0.342	0.368	0.41	0.490	25	0.210	0.22	0.240	0.270	0.320
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468	30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450	35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433						
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418						
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404						
						$n < 35$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Fuente: Máximo Villón: Hidrología estadística – pág.185

4.3.6. TORMENTA DE DISEÑO.

4.3.6.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

Tabla 4.3.5 – Coeficientes de duración de lluvias $\langle f \rangle$

Horas	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	48
Coeficiente	0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.73	0.79	0.83	0.87	0.9	0.93	0.97	1.00	1.32

Fuente: Manual para el diseño de carreteras no pav. de bajo volumen de tránsito – cuadro 4.1.2.a

■ Intensidad máxima.

$$I_p = \frac{P}{t} \quad [\text{Ecu. 4.3.50}]$$

Dónde: Intensidad promedio (mm/h) I_p
 Precipitación máxima (mm) $P_{\text{máx}}$
 Duración (h) t

Relacionando las $\langle I - t - T \rangle$ puede deducirse que:

$$I = \frac{k(T^m)}{t^n} \quad [\text{Ecu. 4.3.51}]$$

Dónde: Intensidad máxima (mm/h) I
 Periodo de retorno (años) T
 Parámetros de ajuste k, m, n
 Tiempo de concentración (min) $t_c = t$

■ Variables de ajuste.

Realizando un cambio de variable:

$$d = k(T^m) \rightarrow I = \frac{d}{t^n} \rightarrow I = d \cdot t^{-n} \quad [\text{Ecu. 4.3.52}]$$

■ Regresión potencial.

$$y = \alpha(x^\beta) \rightarrow \{\ln y = \ln(\alpha \cdot x^\beta) = \ln \alpha + \ln x^\beta = \ln \alpha + \beta \ln x\}$$

Relacionando formulas idénticas para hallar $\langle d, -n \rangle$ se deduce que:

$$\begin{aligned} y = \alpha \cdot x^\beta &\rightarrow \{\ln y = \ln \alpha + \beta \ln x\} \\ I = d \cdot t^{-n} &\rightarrow \{\ln I = \ln d + (-n) \ln t\} \end{aligned} \quad \therefore \quad \alpha = d \ ; \ \beta = (-n)$$

Minutos	n°
x	-
y	-
$\ln x$	$\Sigma \ln x$
$\ln y$	$\Sigma \ln y$
$\ln x \cdot \ln y$	$\Sigma(\ln x \cdot \ln y)$
$(\ln x)^2$	$\Sigma(\ln x)^2$

$$\beta = \frac{\Sigma(\ln x \cdot \ln y) - \left(\frac{\Sigma(\ln x \cdot \ln y)}{n^\circ}\right)}{\Sigma(\ln x)^2 - \left(\frac{\Sigma(\ln x)^2}{n^\circ}\right)} = -n$$

$$\ln \alpha = \frac{\Sigma \ln y - \beta \cdot \Sigma \ln x}{n^\circ} = d \quad \therefore \quad \alpha = e^{\ln \alpha}$$

Relacionando formulas idénticas para hallar $\langle k, m \rangle$ se deduce que:

$$\begin{aligned} y = \alpha \cdot x^\beta &\rightarrow \{ \ln y = \ln \alpha + \beta \cdot \ln x \} \\ I = k \cdot T^m &\rightarrow \{ \ln d = \ln k + m \cdot \ln T \} \end{aligned} \quad \therefore \quad \alpha = k ; \beta = m$$

4.3.6.2. Tiempo de concentración.

Es la duración del tiempo que una gota de lluvia necesaria para llegar hasta el punto de salida de la cuenca.

Para el análisis se empleó tres metidos:

■ Método de Kirpich.

$$t_c = 0.000325 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) = \left(\frac{0.87(l_1^3)}{h} \right)^3 \quad [\text{Ecu. 4.3.53}]$$

Dónde: Tiempo de concentración (h) t_c
Longitud de cauce principal (m) L
Pendiente de cauce (m/m) S
Lado mayor del rectángulo equivalente (km) l_1
Desnivel (m) h

■ Método de Temes.

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L^{0.76}}{S^{0.19}} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.54}]$$

Dónde: Longitud del curso principal (m) L
Pendiente a lo largo del cauce (m/m) S

■ **Método de Bransby Williams.**

$$t_c = 0.2433 \left(\frac{L}{A^{0.15} S^{0.2}} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.55}]$$

Dónde: Área de cuenca (km²) *A*

Longitud del curso principal (m) *L*

Pendiente del cauce (m/m) *S*

4.3.6.3. Coeficientes de escorrentía.

Tabla 4.3.6 – Coeficientes de escorrentía (C) para método racional

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pronunciada <i>P</i> > 50%	Alta <i>P</i> > 20%	Media <i>P</i> > 5%	Suave <i>P</i> > 1%	Despreciable <i>P</i> < 1%
Sin vegetación	I	0.800	0.750	0.700	0.650	0.600
	Sp	0.700	0.650	0.600	0.550	0.500
	P	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300
Cultivos	I	0.700	0.650	0.600	0.550	0.500
	Sp	0.600	0.550	0.500	0.450	0.400
	P	0.400	0.350	0.300	0.250	0.200
Pastizales, vegetación ligera	I	0.650	0.600	0.550	0.500	0.450
	Sp	0.550	0.500	0.450	0.400	0.350
	P	0.350	0.300	0.250	0.200	0.150
Hierba, grama	I	0.600	0.550	0.500	0.450	0.400
	Sp	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300
	P	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100
Bosques, densa vegetación	I	0.550	0.500	0.450	0.400	0.350
	Sp	0.450	0.400	0.350	0.300	0.250
	P	0.250	0.200	0.150	0.100	0.050

Impermeable (I) ; Semipermeable (Sp) Permeable (P)

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje – tabla 8

El coeficiente de escorrentía (C) para para superficies de rodadura según (Manual de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito – cuadro 4.1.2d) es (0.70 – 0.95).

4.3.7. ESTUDIO HIDROGRÁFICO DE CUENCAS.

4.3.7.1. Estudio Hidrográfico y geomorfológico.

Para este proyecto se realizarán los estudios Hidrográfica y geomorfología considerando la información pluviométrica más cercana de la zona a la zona de estudio.

■ Datos generales de la cuenca.

La zona en estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del río Moche, con una altitud media de 120 msnm, desde este punto hasta su desembocadura en el río Moche. Es el río más importante de la región por ser el receptor de las aguas de zonas del departamento de LA LIBERTAD para ser transportadas hasta el Océano pacífico.

■ Longitud y diferencia de cotas de altitud del cauce principal.

Se entiende por cauce principal al curso de agua de mayor longitud, que va desde el punto donde se ubicará la obra de drenaje hasta el punto más alejado de la cuenca.

4.3.7.2. Delimitaciones de áreas.

Se realiza siguiendo picos más altos denominados parte aguas.

4.3.7.3. Parámetros geomorfológicos.

■ Parámetros geométricos.

Ya de por sí, delimitando las cuencas se puede encontrar las áreas, los perímetros y las altitudes; de estos valores senderaran en análisis de otros parámetros que a continuación se mencionan.

■ Parámetros de forma.

Índice de compacidad o coeficiente de Gravelius.

$$k = \frac{P}{P_o} = \frac{P}{2r\pi} = 2.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.56}]$$

Dónde: coeficiente de Gravelius k

Área de la cuenca (km²) A

Perímetro de la cuenca (km) P

Factor forma.

Fue definido por HORTON, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal.

$$f_f = \frac{l_2}{l_1} \cong \frac{A}{(l_1)^2} \quad [\text{Ecu. 4.3.57}]$$

Dónde: Factor forma f_f

Rectángulo equivalente (km): Lado mayor l_1

Lado menor l_2

Área de la cuenca (km²) A

Condición a cumplirse $\frac{l}{L} \cong \frac{A}{L^2}$

Coefficiente de forma.

$$K_f = \frac{b_m}{L_m} \quad [\text{Ecu. 4.3.58}]$$

Dónde: Coeficiente de forma K_f

Ancho media de la cuenca b_m

Longitud media de la cuenca L_m

Relación de elongación.

Definido por SCHUMM, es la relación entre el diámetro de un círculo $\langle D \rangle$ de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca $\langle L_c \rangle$.

$$R_e = \frac{D}{L_c} \quad [\text{Ecu. 4.3.59}]$$

Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$R_e = 1.1284 \left(\frac{D}{L_c} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.60}]$$

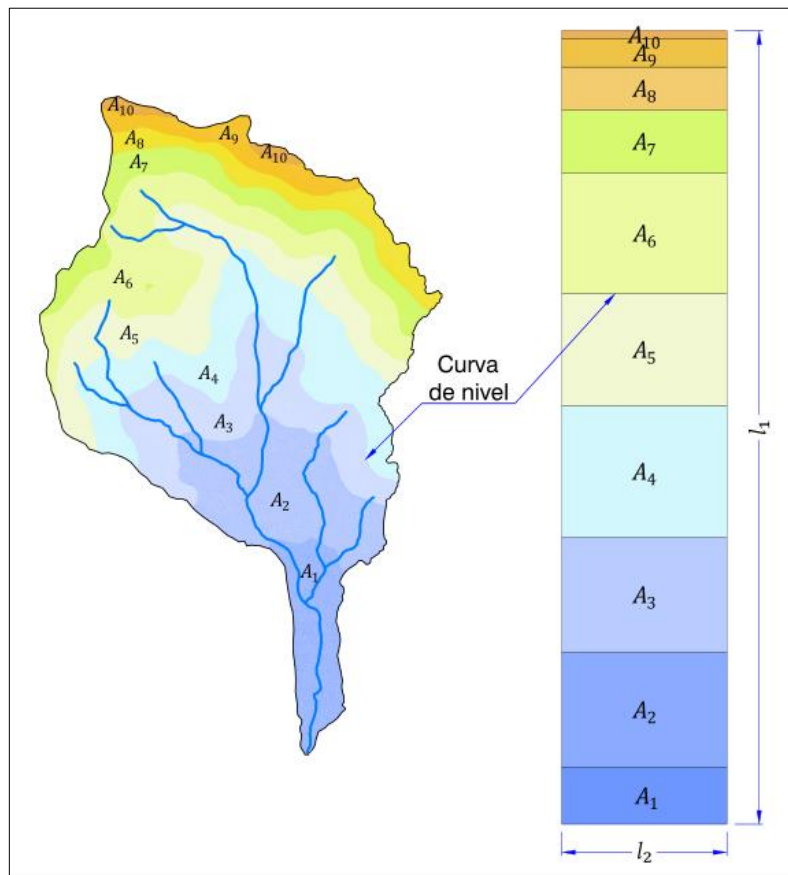
Características Cuenca con relieves y pendientes pronunciadas

Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius.

El rectángulo equivalente es lógicamente una transformación puramente geométrica de la cuenca en un rectángulo de igual perímetro, convirtiéndose las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor, siendo éstos la primera y la

última curva de nivel. Si $\langle l_1 \rangle$ y $\langle l_2 \rangle$, son respectivamente los lados mayor y menor del rectángulo equivalente a $\langle P \rangle$ y $\langle A \rangle$, entonces se tiene:

Ilustración 4.3.1 – Áreas parciales para rectángulo equivalente



$$l_1 = \frac{k\sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k} \right)^2} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.61}]$$

$$l_2 = \frac{k\sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k} \right)^2} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.62}]$$

Dónde: Rectángulo equivalente (km): Lado mayor l_1
Lado menor l_2
Coeficiente de compacidad o Índice de Gravelious k
Área de la cuenca (km²) A

Índice de pendiente.

Es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río, ya que con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce, además expresando en dicho modo el relieve de la

cuenca. Se obtiene usando los valores del rectángulo equivalente [HIDROLOGÍA: Máximo Villón Béjar – pág. 49].

$$I_p = \sum_{i=1}^n \left(\sqrt{\beta_i (a_i - a_{i-1})} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{L}} \right) \quad [\text{Ecu. 4.3.63}]$$

Dónde: Índice de pendiente I_p
 Numero de curvas de nivel incluidos extremos n
 Cotas de curvas de nivel $a_i - a_{i-1}$
 Fracción de la superficie total de la cuenca entre cotas $\beta_i = \frac{A_i}{A_t}$
 Lado mayor del rectángulo equivalente (km) L

■ **Parámetro de relieve.**

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas Hipsométricas histograma de frecuencias altimétricas y relación de relieve.

Pendiente de la cuenca.

La pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca, entre las que se destacan son: criterio de ALVORD, HORTON, NASH y rectángulo equivalente.

Pendiente media de la cuenca (%) S_m

Tabla 4.3.7 – Clasificación de terreno según la pendiente

$\langle S_m \rangle$ (%)	Tipo de terreno
< 5	Plano
5 – 12	Ligeramente ondulado
12 – 18	Ondulado
18 – 24	Frecuentemente ondulo
24 – 32	Escarpado
32 – 44	Fuertemente escarpado
> 44	Montañoso

Fuente: R. Heras

Curva hipsométrica.

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en hectáreas que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares.

Altitud mediana.

Es la Intersección de las curvas hipsométricas.

Altitud Mediana H_m

Altitud media ponderada.

$$h_p = \frac{\sum(a_i \cdot c_i)}{A} \quad \text{[Ecu. 4.3.64]}$$

Dónde: Área parcial de terreno entre curvas de nivel a_i

Altitud media de cada área parcial $c_i = \frac{c_i + c_{(i-1)}}{2}$

Área de la cuenca (km²) A

Altitud media simple.

$$h_s = \frac{C_{m\acute{a}x} + C_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{[Ecu. 4.3.65]}$$

Dónde: Altitud media (m) h_s

Cotas (msnm): Máxima $C_{m\acute{a}x}$

Mínima $C_{m\acute{i}n}$

Parámetros de red hidrográfica.

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca.

Número de orden de un cauce.

Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje.

Densidad de drenaje.

$$D_d = \frac{L_p + L_a}{A} = \frac{L_t}{A} \quad [\text{Ecu. 4.3.66}]$$

Dónde: Densidad de drenaje	D_d
Longitudes (km): Cauce principal	L_p
Causas aportantes	L_a
Total de ríos	L_t
Área de la cuenca (km ²)	A

Frecuencia de los ríos.

$$f_r = \frac{n}{A} \quad [\text{Ecu. 4.3.67}]$$

Dónde: Frecuencia de los ríos	f_r
Numero de causas	n
Área de la cuenca (km ²)	A

Longitud promedio de flujo superficial.

$$E_s = \frac{A}{4L_t} = \frac{1}{4D_d} \quad [\text{Ecu. 4.3.68}]$$

Dónde: Longitud promedio (km)	E_s
Área de la cuenca (km ²)	A
Longitud total de ríos (km)	L_t
Densidad de drenaje	D_d

Pendiente del cauce principal.

La pendiente media.

Por método de pendiente uniforme.

$$S = \frac{H}{L_p} \quad [\text{Ecu. 4.3.69}]$$

Dónde: Pendiente (%)	S
Altura (m)	H
Longitud del cauce principal (km)	L_p

4.3.8. CAUDALES MÁXIMOS TEÓRICOS.

4.3.8.1. Método racional.

Se toma el caudal máximo teórico desde la precipitación, se usa para cuencas de áreas ($A < 10$) km².

$$Q_t = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \quad [\text{Ecu. 4.3.70}]$$

Dónde: Caudal máxima de diseño (m³/s) Q_t
Coeficiente de escorrentía [Tabla 4.3.6] C
Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h) I
Área de la cuenca (km²) A

Nota: La intensidad máxima en la cuenca tendrá una duración $\langle d \rangle$ igual al $\langle t_c \rangle$.

Cuando la cuenca es pequeña, es apropiado el método racional para determinar los caudales. Se denominan cuencas pequeñas cuando el tiempo de acumulación es igual o menor a 6 horas.

4.3.9. CÁLCULO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICO.

4.3.9.1. Análisis de datos hidrológico.

■ Análisis de precipitaciones.

Precipitaciones máximas diarias.

Con los datos históricos obtenidos del SENAMHI se reportan la máxima precipitación diaria registrado durante todo el mes, obteniendo datos adicionales.

Tabla 4.3.8 – Precipitaciones máximas en 24 horas

N°	Año	Precipitaciones máximas diarias (mm)												$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	Mes
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.		
1	2001	0	1.98	0.62	0.5	0	0	0	0	0	2.3	1.23	2.3	Noviembre	
2	2002	0	1.98	0.62	0.5	0	0	0	0	0	2.3	1.23	2.3	Noviembre	
3	2003	1.2	1.37	0.48	0	0	0	0	0.25	0.2	0.5	0.37	1.37	Septiembre	
4	2004	0	0.55	0.15	0.12	0.13	0	0.2	0	0.5	0.15	0.11	0.13	0.55	Febrero
5	2005	2.5	0	0.5	0	0.3	0	0.2	0	0	0.4	0	0	2.5	Enero
6	2006	0.3	4.83	1.15	5.13	0	0	0.4	0	0.2	0.3	0.35	0.65	5.13	Abril
7	2007	3.4	0	7.2	0.6	0.4	0	0	0	0	3.9	1.2	0.3	7.2	Marzo
8	2008	4.2	6.9	7	0	0	0.9	0	0	0	1.1	0	0	7	Marzo
9	2009	18.4	7.22	1.9	0	0.7	0	28.8	0.2	0.9	1.1	0	0	28.85	Julio
10	2010	0	28.3	2.8	0	1.7	0	0	0	0	1.1	0	0	28.35	Febrero
11	2011	12.4	0	0	20.5	0	0	0	0	0	0.7	6.8	20.5	20.5	Diciembre
12	2012	3.4	19.2	10.7	3.5	1.9	0	0	0	0.65	4.65	0.4	2.95	19.2	Febrero
13	2013	4.1	6.1	29.8	1.75	0.85	0	0	0	0	2	0	0	29.82	Marzo
14	2014	3	1.6	1.95	4.95	0.9	0	0	0	0	0.9	3.75	2	4.95	Abril
15	2015	5.05	9.5	4.8	1.85	3.45	0	0	0	0	0.8	0	5.5	9.5	Febrero
16	2016	1.7	9.66	4.75	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0.85	9.66	Febrero
17	2017	27	143	134.	0.5	0	0	0	0	0	0	2.3	1.23	143	Febrero
18	2018	1.2	1.37	0.48	0	0	0	0	0	0.25	0.2	0.5	0.37	1.37	Febrero
19	2019	3.4	0	7.2	0.6	0.4	0	0	0	0	3.9	1.2	0.3	7.2	Marzo
20	2020	4.2	6.9	7	0	0	0.9	0	0	0	1.1	0	0	7	Marzo
Máximo		27	143	134.	20.5	3.45	0.9	28.8	0.2	0.9	4.65	6.8	20.5	143	-

Gráfico 4.3.1 – Precipitaciones máxima $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ diarias anuales

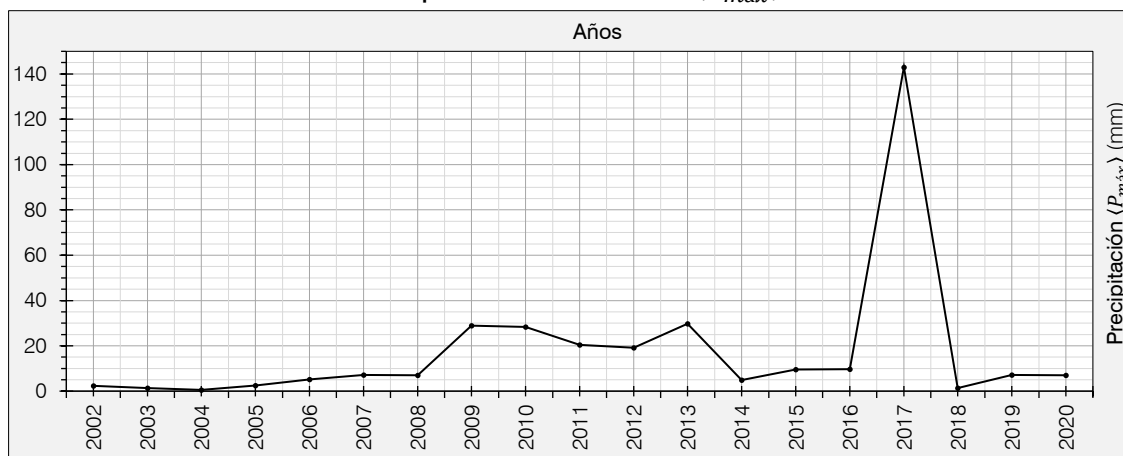
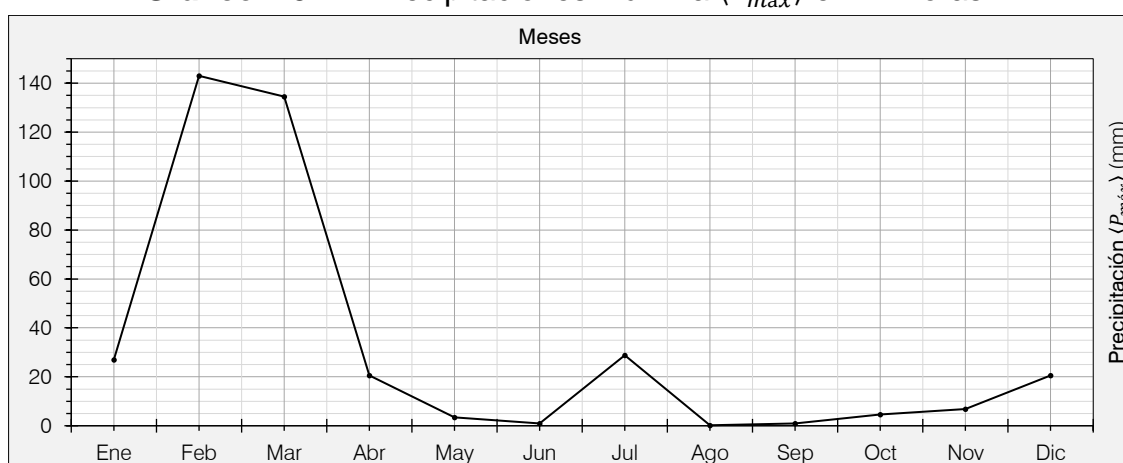


Gráfico 4.3.2 – Precipitaciones máxima $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ en 24 horas



4.3.9.2. Estimación de precipitaciones probables.

■ Variables probabilísticas.

De acuerdo a la siguiente tabla se calcula la media aritmética y la desviación estándar:

Tabla 4.3.9 – Análisis de precipitaciones máximas $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$

Nº	Año	$\langle x_i \rangle$ (mm)	$\langle (x_i - \bar{x})^2 \rangle$
1	2001	2.30	212.80
2	2002	2.30	212.80
3	2003	1.37	240.79
4	2004	0.55	266.91
5	2005	2.50	207.00
6	2006	5.13	138.24
7	2007	7.20	93.85
8	2008	7.00	97.76
9	2009	28.85	143.10
10	2010	28.35	131.39
11	2011	20.50	13.05

Nº	Año	$\langle x_i \rangle$ (mm)	$\langle (x_i - \bar{x})^2 \rangle$
12	2012	19.20	5.35
13	2013	29.82	167.25
14	2014	4.95	142.50
15	2015	9.50	54.58
16	2016	9.66	52.24
17	2017	143.00	15904.36
18	2018	1.37	240.79
19	2019	7.20	93.85
20	2020	7.00	97.76
20		337.75	18,516.37

Número de muestras $n = 20$

Media $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 16.89$ mm

Desviación estándar $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 31.22$ mm

■ **Probabilidad empírica.**

Tabla 4.3.10 – Probabilidad empírica o Weibull $\langle P_e \rangle$

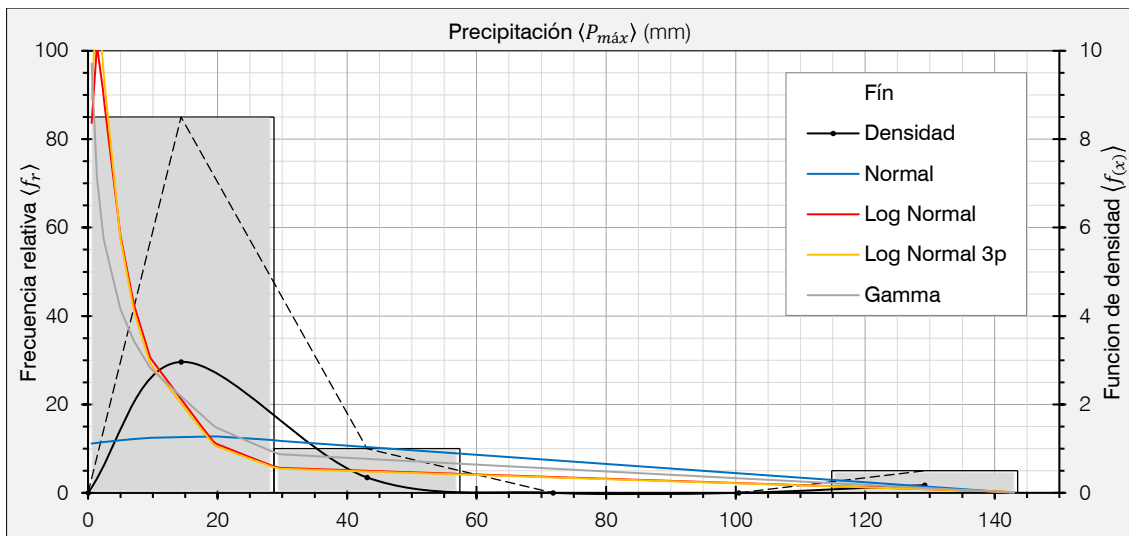
Nº	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle P_e \rangle$ (%)
1	0.55	4.76
2	1.37	9.52
3	1.37	14.29
4	2.30	19.05
5	2.30	23.81
6	2.50	28.57
7	4.95	33.33
8	5.13	38.10
9	7.00	42.86
10	7.00	47.62
11	7.20	52.38
12	7.20	57.14
13	9.50	61.90
14	9.66	66.67
15	19.20	71.43
16	20.50	76.19
17	28.35	80.95
18	28.85	85.71
19	29.82	90.48
20	143.00	95.24

■ **Función de densidades.**

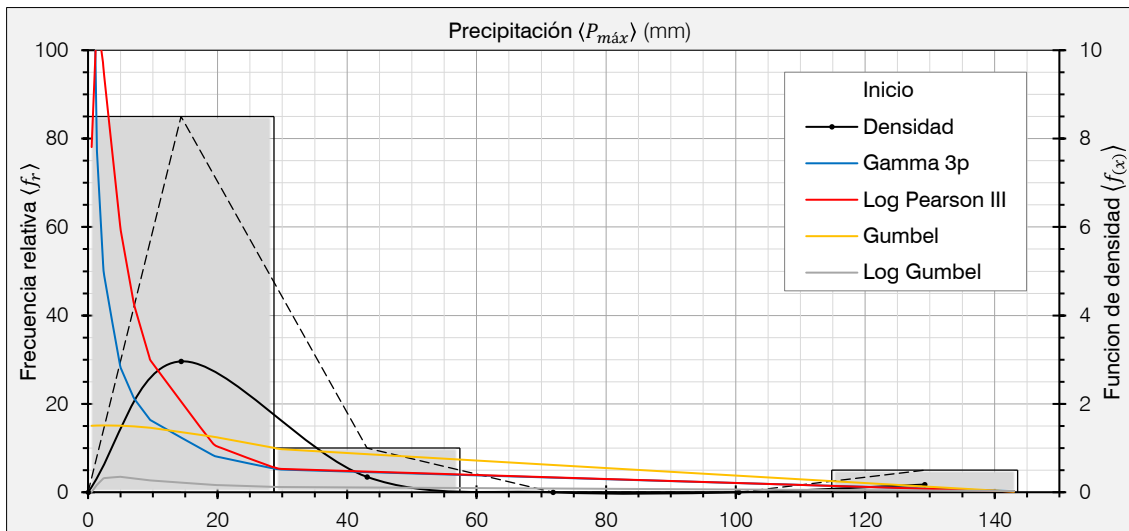
Tabla 4.3.11 – Función de densidades $\langle f_{(x)} \rangle$

N°	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	Modelos de distribución							
		Normal	Log Normal	Log Normal 3p	Gamma	Log Gamma 3p	Log Pearson III	Gumbel	Log Gumbel
1	0.55	1.11	8.37	8.89	9.71	15.15	7.81	1.50	0.01
2	1.37	1.13	10.12	11.37	7.14	7.71	10.74	1.51	0.17
3	1.37	1.13	10.12	11.37	7.14	7.71	10.74	1.51	0.17
4	2.30	1.15	9.11	9.71	5.88	5.22	9.73	1.51	0.30
5	2.30	1.15	9.11	9.71	5.88	5.22	9.73	1.51	0.30
6	2.50	1.15	8.83	9.33	5.68	4.90	9.41	1.51	0.32
7	4.95	1.19	5.88	5.82	4.18	2.86	6.04	1.51	0.35
8	5.13	1.19	5.72	5.64	4.11	2.78	5.85	1.50	0.35
9	7.00	1.22	4.32	4.18	3.46	2.15	4.32	1.49	0.31
10	7.00	1.22	4.32	4.18	3.46	2.15	4.32	1.49	0.31
11	7.20	1.22	4.20	4.06	3.40	2.10	4.19	1.49	0.31
12	7.20	1.22	4.20	4.06	3.40	2.10	4.19	1.49	0.31
13	9.50	1.24	3.11	2.97	2.85	1.65	3.04	1.46	0.27
14	9.66	1.24	3.05	2.91	2.81	1.63	2.98	1.46	0.27
15	19.20	1.27	1.19	1.13	1.54	0.84	1.12	1.26	0.17
16	20.50	1.27	1.07	1.02	1.43	0.79	1.01	1.23	0.16
17	28.35	1.19	0.62	0.59	0.94	0.55	0.58	1.01	0.12
18	28.85	1.19	0.60	0.58	0.91	0.53	0.56	1.00	0.12
19	29.82	1.17	0.56	0.54	0.87	0.51	0.53	0.97	0.12
20	143.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03

Gráfico 4.3.3 – Distribución de funciones de densidad $\langle f_{(x)} \rangle$ según frecuencias



(a)



(b)

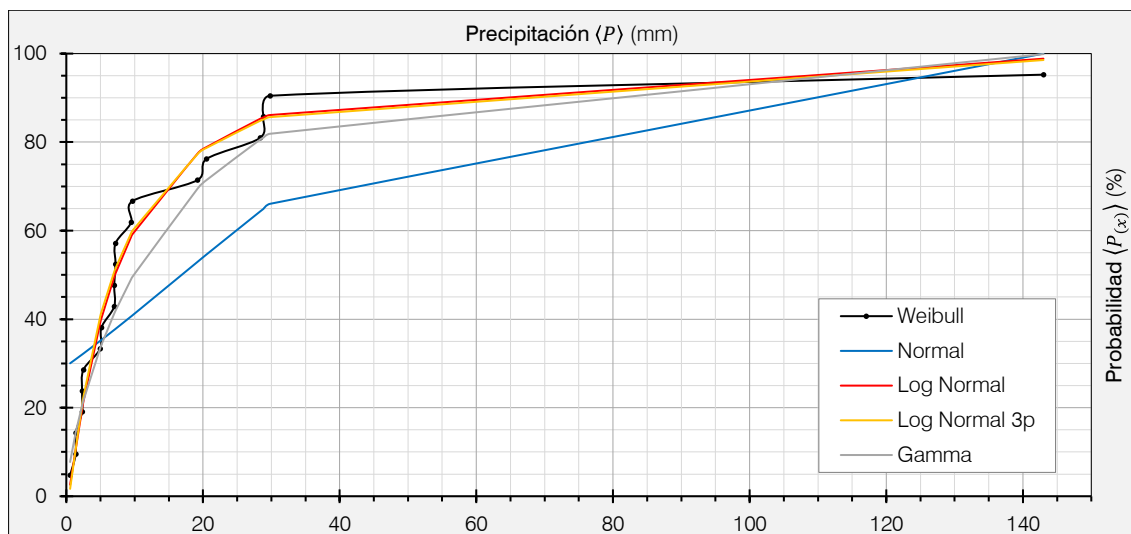
■ **Función de distribución acumulada**

Tabla 4.3.12 – Funciones de distribuciones acumuladas $\langle F_{(x)} \rangle$

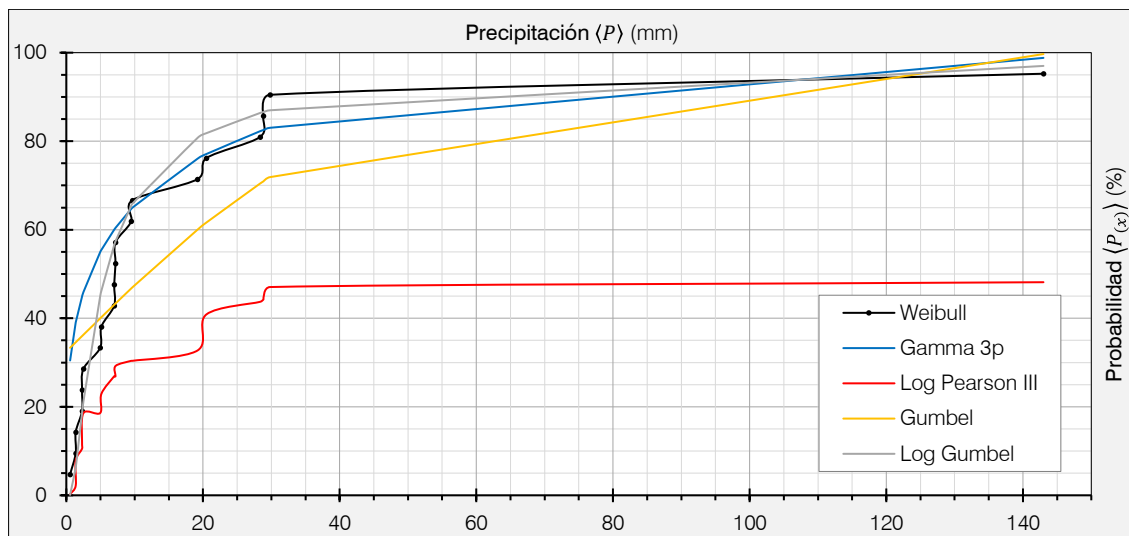
N°	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle P_e \rangle$ (%)	Modelos de distribución							
			Normal	Log Normal	Log Normal 3p	Gamma	Log Gamma 3p	Log Pearson III	Gumbel	Log Gumbel
1	0.55	4.76	30.04	2.62	1.67	7.74	30.47	0.25	33.33	0.12
2	1.37	9.52	30.96	10.59	10.70	14.46	39.06	2.18	34.57	6.17
3	1.37	14.29	30.96	10.59	10.70	14.46	39.06	7.83	34.57	6.17
4	2.30	19.05	32.01	19.60	20.55	20.45	44.90	10.53	35.97	18.58
5	2.30	23.81	32.01	19.60	20.55	20.45	44.90	11.81	35.97	18.58
6	2.50	28.57	32.24	21.39	22.46	21.61	45.91	18.59	36.28	21.18
7	4.95	33.33	35.11	39.16	40.57	33.46	54.94	18.59	39.98	44.98
8	5.13	38.10	35.32	40.20	41.61	34.20	55.45	22.93	40.25	46.22
9	7.00	42.86	37.57	49.50	50.69	41.25	60.01	26.90	43.05	56.52
10	7.00	47.62	37.57	49.50	50.69	41.25	60.01	26.90	43.05	56.52
11	7.20	52.38	37.82	50.35	51.51	41.93	60.43	26.90	43.35	57.40
12	7.20	57.14	37.82	50.35	51.51	41.93	60.43	29.22	43.35	57.40
13	9.50	61.90	40.65	58.67	59.50	49.09	64.71	30.39	46.74	65.44
14	9.66	66.67	40.85	59.16	59.97	49.54	64.97	30.39	46.97	65.89
15	19.20	71.43	52.95	77.40	77.30	69.48	76.05	32.72	60.01	80.74
16	20.50	76.19	54.61	78.87	78.69	71.41	77.11	40.87	61.63	81.81
17	28.35	80.95	64.33	85.26	84.81	80.56	82.25	43.71	70.43	86.37
18	28.85	85.71	64.92	85.56	85.10	81.03	82.52	44.28	70.93	86.59
19	29.82	90.48	66.07	86.12	85.65	81.89	83.03	47.05	71.89	86.98
20	143.00	95.24	100.00	98.85	98.55	99.88	98.82	48.14	99.68	97.01

Gráfico 4.3.4 – Función de distribución acumulada $\langle F_{(x)} \rangle$

(a)



(b)



■ **Bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov.**

Valor crítico para nivel de significación ($\alpha = 5\%$) $\Delta = 29.40 \%$

Tabla 4.3.13 – Bondad de ajustes de funciones

N°	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle P_e \rangle$ (%)	Modelos de distribución							
			Normal	Log Normal	Log Normal 3p	Gamma	Log Gamma 3p	Log Pearson III	Gumbel	Log Gumbel
1	0.55	4.76	25.27	2.15	3.09	2.98	25.70	4.51	28.57	4.65
2	1.37	9.52	21.43	1.06	1.17	4.93	29.53	7.35	25.05	3.35
3	1.37	14.29	16.67	3.70	3.59	0.17	24.77	6.45	20.28	8.11
4	2.30	19.05	12.97	0.55	1.50	1.40	25.85	8.52	16.93	0.47
5	2.30	23.81	8.21	4.21	3.26	3.36	21.09	12.00	12.16	5.23
6	2.50	28.57	3.67	7.18	6.12	6.97	17.34	9.98	7.71	7.39
7	4.95	33.33	1.78	5.83	7.24	0.12	21.60	14.74	6.64	11.64
8	5.13	38.10	2.77	2.11	3.51	3.89	17.35	15.16	2.15	8.12
9	7.00	42.86	5.28	6.64	7.83	1.61	17.15	15.95	0.19	13.67
10	7.00	47.62	10.05	1.88	3.07	6.37	12.39	20.72	4.57	8.90
11	7.20	52.38	14.57	2.03	0.87	10.45	8.05	25.48	9.03	5.02
12	7.20	57.14	19.33	6.79	5.63	15.21	3.29	27.92	13.80	0.26
13	9.50	61.90	21.26	3.24	2.41	12.82	2.81	31.52	15.16	3.54
14	9.66	66.67	25.82	7.51	6.70	17.12	1.69	36.28	19.69	0.78
15	19.20	71.43	18.48	5.98	5.87	1.95	4.62	38.70	11.41	9.31
16	20.50	76.19	21.58	2.68	2.50	4.78	0.92	35.32	14.56	5.62
17	28.35	80.95	16.63	4.31	3.86	0.39	1.30	37.24	10.53	5.42
18	28.85	85.71	20.79	0.15	0.61	4.69	3.19	41.44	14.78	0.87
19	29.82	90.48	24.41	4.35	4.83	8.58	7.45	43.43	18.59	3.49
20	143.00	95.24	4.76	3.61	3.31	4.65	3.58	47.10	4.45	1.77
			25.82	7.51	7.83	17.12	29.53	47.10	28.57	13.67

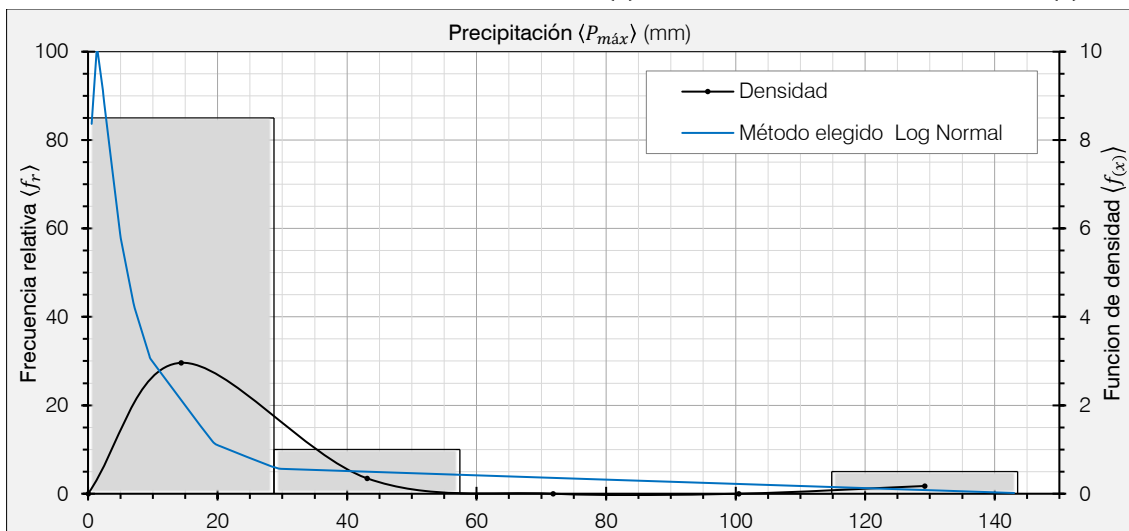
Valor crítico mínimo $\Delta = 7.51\%$

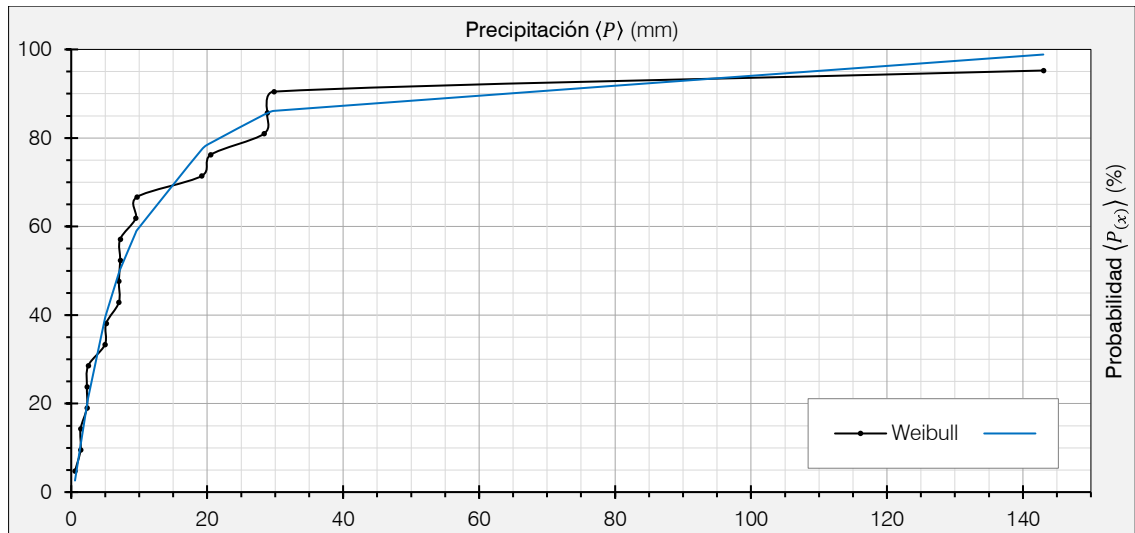
Método elegido Log Normal

Tabla 4.3.14 – Función de densidad $\langle f_{(x)} \rangle$ y distribución acumulada $\langle F_{(x)} \rangle$

Nº	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle f_{(x)} \rangle$ (%)	$\langle f_{(x)} \rangle$ (%)	$\langle P_e \rangle$ (%)
1	0.6	8.37	2.62	4.76
2	1.4	10.12	10.59	9.52
3	1.4	10.12	10.59	14.29
4	2.3	9.11	19.60	19.05
5	2.3	9.11	19.60	23.81
6	2.5	8.83	21.39	28.57
7	5.0	5.88	39.16	33.33
8	5.1	5.72	40.20	38.10
9	7.0	4.32	49.50	42.86
10	7.0	4.32	49.50	47.62
11	7.2	4.20	50.35	52.38
12	7.2	4.20	50.35	57.14
13	9.5	3.11	58.67	61.90
14	9.7	3.05	59.16	66.67
15	19.2	1.19	77.40	71.43
16	20.5	1.07	78.87	76.19
17	28.4	0.62	85.26	80.95
18	28.9	0.60	85.56	85.71
19	29.8	0.56	86.12	90.48
20	143.0	0.02	98.85	95.24

Gráfico 4.3.5 – Función de densidad $\langle f_{(x)} \rangle$ y distribución acumulada $\langle F_{(x)} \rangle$





■ Probabilidad invertida de weibull.

Tabla 4.3.15 – Probabilidades de weibull

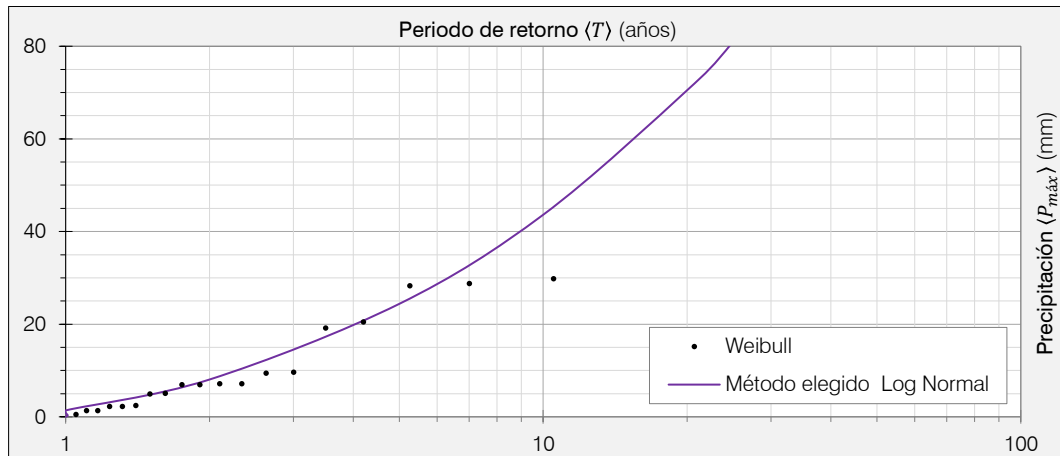
Nº	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle P_e \rangle$ (%)	$\langle T \rangle$ (años)
1	143.0	4.76	21.00
2	29.8	9.52	10.50
3	28.9	14.29	7.00
4	28.4	19.05	5.25
5	20.5	23.81	4.20
6	19.2	28.57	3.50
7	9.7	33.33	3.00
8	9.5	38.10	2.63
9	7.2	42.86	2.33
10	7.2	47.62	2.10
11	7.0	52.38	1.91
12	7.0	57.14	1.75
13	5.1	61.90	1.62
14	5.0	66.67	1.50
15	2.5	71.43	1.40
16	2.3	76.19	1.31
17	2.3	80.95	1.24
18	1.4	85.71	1.17
19	1.4	90.48	1.11
20	0.6	95.24	1.05

■ **Precipitaciones máximas por periodo de retorno.**

Tabla 4.3.16 – Probabilidades futuras de precipitaciones máximas

N°	$\langle T \rangle$ (años)	$\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle 1.13P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)	$\langle P_e \rangle$ (%)
1	1.001	0.01	0.01	0.10
2	1.01	0.33	0.37	0.99
3	1	1.22	1.38	9.09
4	2	7.12	8.05	50.00
5	5	21.60	24.41	80.00
6	10	38.61	43.63	90.00
7	20	62.37	70.48	95.00
8	25	71.72	81.04	96.00
9	50	106.99	120.90	98.00
10	75	132.59	149.83	98.67
11	100	153.30	173.23	99.00

Gráfico 4.3.6 – Ajustes de precipitaciones máximas



■ **Períodos de retorno.**

Según [Tabla 4.3.2] indica el $\langle R_{m\acute{a}x} \rangle$ y $\langle n \rangle$; con estos datos, se usa [Tabla 4.3.3] y mediante una interpolación se obtiene $\langle T \rangle$ para diferentes obras de drenaje.

Tabla 4.3.17 – Períodos de retorno $\langle T \rangle$ para diseñar obras de drenaje

Tipo de obra	$\langle T \rangle$ (años)
Puentes y pontones	139 \cong 140
Alcantarillas de paso y badenes	77 \cong 75
Alcantarilla de alivio y cunetas	41 \cong 40
Drenaje de la plataforma	34 \cong 40
Sub drenes	34 \cong 35
Defensas ribereñas	139 \cong 140

■ **Precipitaciones máximas.**

Teniendo en cuenta los coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas se calculará las precipitaciones máximas utilizando el método de Bell.

Coeficientes de duración de lluvias f

Precipitaciones máximas (mm) [Tabla 4.3.5] $P_{m\acute{a}x} = f(P_{m\acute{a}x})$

Tabla 4.3.18 – Precipitaciones máximas $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ por horas

$\langle T \rangle$ (años)	Precipitaciones máximas $\langle P_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm)									
$\langle f \rangle$ (h)	24	18	12	8	6	5	4	3	2	1
$\langle f \rangle$	1.00	0.91	0.80	0.68	0.61	0.57	0.52	0.46	0.39	0.30
1	1.22	1.10	0.96	0.78	0.68	0.61	0.54	0.46	0.38	0.31
2	7.12	6.41	5.62	4.56	3.99	3.56	3.13	2.71	2.21	1.78
5	21.60	19.44	17.06	13.82	12.10	10.80	9.50	8.21	6.70	5.40
10	38.61	34.75	30.50	24.71	21.62	19.31	16.99	14.67	11.97	9.65
20	62.37	56.13	49.27	39.92	34.93	31.19	27.44	23.70	19.33	15.59
25	71.72	64.55	56.66	45.90	40.16	35.86	31.56	27.25	22.23	17.93
50	106.99	96.29	84.52	68.47	59.91	53.50	47.08	40.66	33.17	26.75
75	132.59	119.33	104.75	84.86	74.25	66.30	58.34	50.38	41.10	33.15
100	153.30	137.97	121.11	98.11	85.85	76.65	67.45	58.25	47.52	38.33

■ **Intensidades probables máximas.**

Intensidad de lluvia (mm/h) $I_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{t}$

Tabla 4.3.19 – Intensidades máximas probables $\langle I_{m\acute{a}x} \rangle$ por horas

$\langle T \rangle$ (años)	Intensidades máximas probables $\langle I_{m\acute{a}x} \rangle$ (mm/h)									
$\langle t \rangle$ (h)	24	18	12	8	6	5	4	3	2	1
$\langle t \rangle$ (min)	1440	1080	720	480	360	300	240	180	120	60
1	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.19	0.31
2	0.30	0.36	0.47	0.57	0.66	0.71	0.78	0.90	1.10	1.78
5	0.90	1.08	1.42	1.73	2.02	2.16	2.38	2.74	3.35	5.40
10	1.61	1.93	2.54	3.09	3.60	3.86	4.25	4.89	5.98	9.65
20	2.60	3.12	4.11	4.99	5.82	6.24	6.86	7.90	9.67	15.59
25	2.99	3.59	4.72	5.74	6.69	7.17	7.89	9.08	11.12	17.93
50	4.46	5.35	7.04	8.56	9.99	10.70	11.77	13.55	16.58	26.75
75	5.52	6.63	8.73	10.61	12.38	13.26	14.58	16.79	20.55	33.15
100	6.39	7.67	10.09	12.26	14.31	15.33	16.86	19.42	23.76	38.33

4.3.9.3. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia.

■ Regresión.

Total de muestras $n^{\circ} = 10$

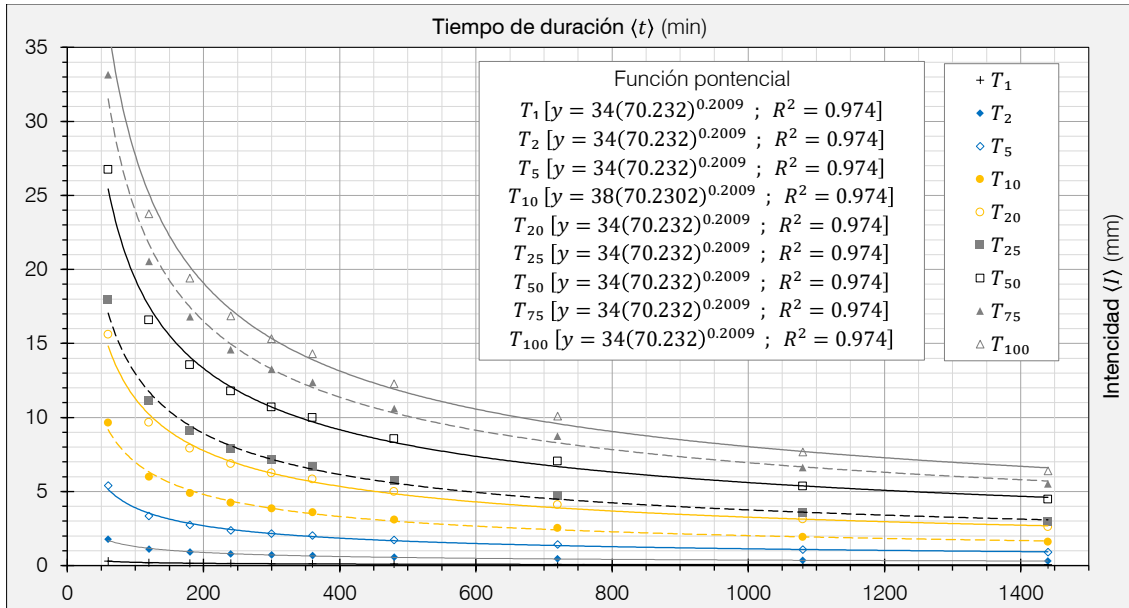
Regresión $\ln d = \frac{(\sum(\ln x \cdot \ln y)) \cdot (\sum(\ln x)) - (\sum(\ln x)^2)(\sum(\ln y))}{(\sum(\ln x)^2) - n^{\circ}(\sum(\ln x)^2)}$

Parámetro parcial de ajuste $n_p = \frac{\sum(\ln y) - n^{\circ}(\ln d)}{(\ln x)}$

Tabla 4.3.20 – Regresión potencial

	Variables		Valores										Total
	N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
$\langle T \rangle$ (años)	$\langle t \rangle$ (h)		24	18	12	8	6	5	4	3	2	1	-
	$\langle x=t \rangle$		1440	1080	720	480	360	300	240	180	120	60	-
	$\langle \ln x \rangle$		7.27	6.98	6.58	6.17	5.89	5.70	5.48	5.19	4.79	4.09	58.16
	$\langle \ln x^2 \rangle$		52.89	48.79	43.29	38.12	34.65	32.53	30.04	26.97	22.92	16.76	346.9
2	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.19	0.31	-
	$\langle \ln y \rangle$		-2.98	-2.80	-2.52	-2.33	-2.17	-2.10	-2.01	-1.87	-1.67	-1.19	-21.63
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		-21.67	-19.54	-16.5	-14.37	-12.79	-12.00	-11.01	-9.70	-7.97	-4.86	-130.4
5	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		0.30	0.36	0.47	0.57	0.66	0.71	0.78	0.90	1.10	1.78	-
	$\langle \ln y \rangle$		-1.22	-1.03	-0.76	-0.56	-0.41	-0.34	-0.24	-0.10	0.10	0.58	-3.99
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		-8.84	-7.21	-4.99	-3.47	-2.41	-1.94	-1.34	-0.54	0.47	2.36	-27.90
10	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		0.90	1.08	1.42	1.73	2.02	2.16	2.38	2.74	3.35	5.40	-
	$\langle \ln y \rangle$		-0.11	0.08	0.35	0.55	0.70	0.77	0.87	1.01	1.21	1.69	7.11
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		-0.77	0.54	2.32	3.38	4.13	4.39	4.74	5.23	5.79	6.90	36.64
20	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		1.61	1.93	2.54	3.09	3.60	3.86	4.25	4.89	5.98	9.65	-
	$\langle \ln y \rangle$		0.48	0.66	0.93	1.13	1.28	1.35	1.45	1.59	1.79	2.27	12.92
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		3.46	4.59	6.14	6.96	7.55	7.71	7.93	8.24	8.57	9.28	70.42
25	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		2.60	3.12	4.11	4.99	5.82	6.24	6.86	7.90	9.67	15.59	-
	$\langle \ln y \rangle$		0.96	1.14	1.41	1.61	1.76	1.83	1.93	2.07	2.27	2.75	17.71
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		6.95	7.94	9.29	9.92	10.37	10.44	10.55	10.73	10.86	11.25	98.31
50	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		2.99	3.59	4.72	5.74	6.69	7.17	7.89	9.08	11.12	17.93	-
	$\langle \ln y \rangle$		1.09	1.28	1.55	1.75	1.90	1.97	2.07	2.21	2.41	2.89	19.11
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		7.96	8.92	10.21	10.79	11.19	11.24	11.32	11.46	11.53	11.82	106.43
75	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		4.46	5.35	7.04	8.56	9.99	10.70	11.77	13.55	16.58	26.75	-
	$\langle \ln y \rangle$		1.49	1.68	1.95	2.15	2.30	2.37	2.47	2.61	2.81	3.29	23.11
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		10.87	11.71	12.84	13.26	13.54	13.52	13.51	13.54	13.45	13.46	129.69
100	$\langle y = I_{m\acute{a}x} \rangle$		5.52	6.63	8.73	10.61	12.38	13.26	14.58	16.79	20.55	33.15	-
	$\langle \ln y \rangle$		1.71	1.89	2.17	2.36	2.52	2.58	2.68	2.82	3.02	3.50	25.25
	$\langle \ln x \ln y \rangle$		12.43	13.21	14.25	14.58	14.81	14.74	14.69	14.65	14.47	14.33	142.17

Gráfico 4.3.7 – Regresiones



Después de hacer el cambio de variable, se realizara otra regresión con función potencia del periodo de retorno $\langle T \rangle$ y el término de regresión $\langle d \rangle$:

Número de muestras $n^\circ = 9$

Logaritmo de constante de regresión [Tabla 4.3.20] $\ln d$

Constante de regresión $d = e^d = y$

Parámetro parcial de ajuste [Tabla 4.3.20] n_p

Tabla 4.3.21 – Análisis de parámetros de regresión potencial

Nº	$\langle T = x \rangle$ (años)	$\langle \ln d \rangle$	$\langle n_p \rangle$	$\langle d = y \rangle$	$\langle \ln x \rangle$	$\langle \ln y \rangle$	$\langle \ln x \ln y \rangle$	$\langle \ln x^2 \rangle$
1	1	0.963	-0.538	2.62	0.00	0.96	0.00	0.000
2	2	2.727	-0.538	15.29	0.69	2.73	1.89	0.480
3	5	3.837	-0.538	46.38	1.61	3.84	6.18	2.590
4	10	4.418	-0.538	82.90	2.30	4.42	10.17	5.302
5	20	4.897	-0.538	133.92	3.00	4.90	14.67	8.974
6	25	5.037	-0.538	153.99	3.22	5.04	16.21	10.361
7	50	5.437	-0.538	229.72	3.91	5.44	21.27	15.304
8	75	5.651	-0.538	284.69	4.32	5.65	24.40	18.641
9	100	5.797	-0.538	329.16	4.61	5.80	26.69	21.208
-	-	-	-	142.07	23.65	38.76	121.48	82.860

Logaritmo de constante de regresión $\ln k = \frac{(\sum(\ln x \cdot \ln y)) \sum(\ln x) - (\sum(\ln x)^2)(\sum(\ln y))}{(\sum(\ln x)^2) - (\sum(\ln x))^2 n^\circ}$

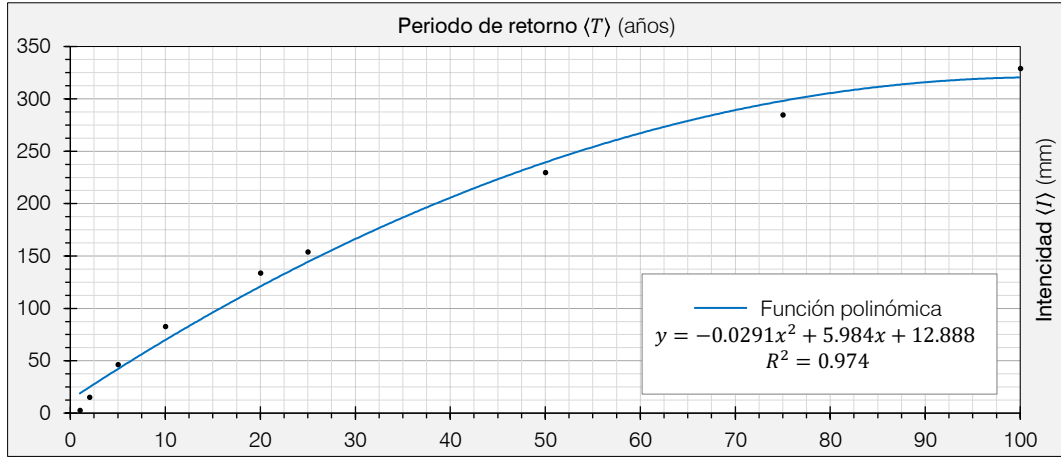
$$\ln k = 1.817$$

Parámetros de ajuste: $\langle k \rangle$ $k = e^k = 6.15$

$$\langle m \rangle \dots\dots\dots m = \frac{\sum(\ln y) - n^{\circ}(\ln k)}{\sum(\ln x)} = \frac{38.77 - 8(4.252)}{23.65} = 0.947$$

$$\langle n \rangle \dots\dots\dots n = |\bar{n}_p| = |-0.538| = 0.538$$

Gráfico 4.3.8 – Precipitaciones proyectadas



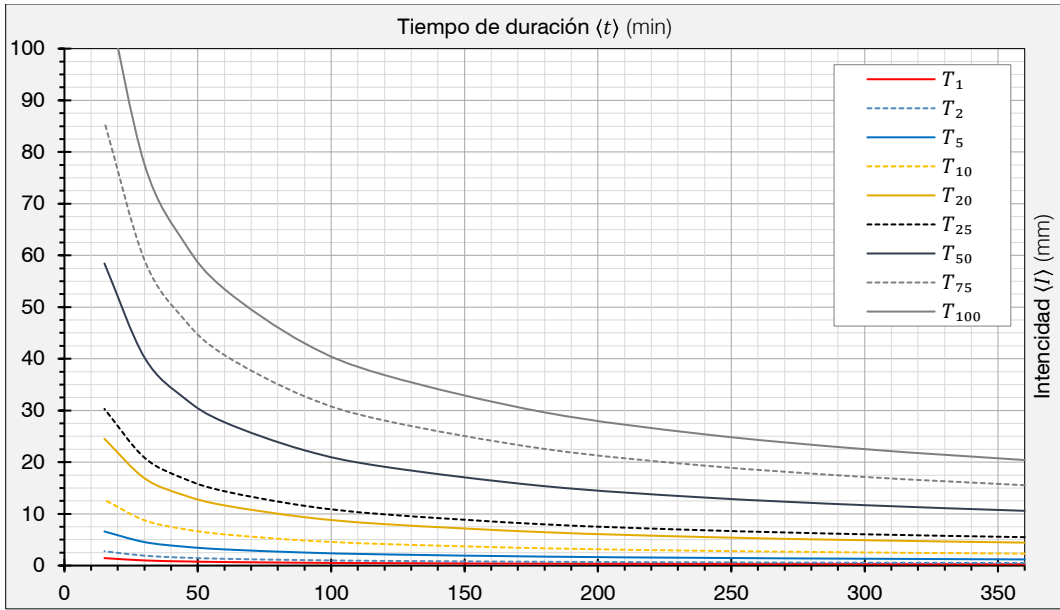
4.3.9.4. Intensidades.

Intensidad [Ecu. 4.3.51] (mm/h) $I = \frac{k(T^m)}{t^n} = \frac{70.23(T^{0.201})}{t^{0.538}}$

Tabla 4.3.22 – Cálculo Intensidades $\langle I \rangle$

$\langle T \rangle$ (años)	Intensidades $\langle I \rangle$ (mm/h)										
	(h)	6	5	4	3	2	1½	1	¾	½	¼
$\langle t \rangle$ (min)	360	300	240	180	120	90	60	45	30	15	
1	0.26	0.29	0.32	0.38	0.47	0.55	0.68	0.80	0.99	1.44	
2	0.50	0.55	0.62	0.73	0.90	1.06	1.31	1.53	1.91	2.77	
5	1.19	1.32	1.49	1.73	2.16	2.52	3.13	3.65	4.54	6.59	
10	2.30	2.54	2.86	3.34	4.16	4.85	6.04	7.04	8.76	12.72	
20	4.44	4.90	5.52	6.45	8.02	9.36	11.64	13.59	16.89	24.52	
25	5.49	6.05	6.83	7.97	9.91	11.56	14.38	16.78	20.87	30.30	
50	10.59	11.68	13.16	15.36	19.11	22.30	27.73	32.37	40.25	58.43	
75	15.54	17.14	19.33	22.56	28.06	32.75	40.72	47.53	59.11	85.79	
100	20.41	22.52	25.39	29.63	36.85	43.01	53.48	62.42	77.63	112.67	

Gráfico 4.3.9 – Curva Intensidad – Duración – Periodo de retorno

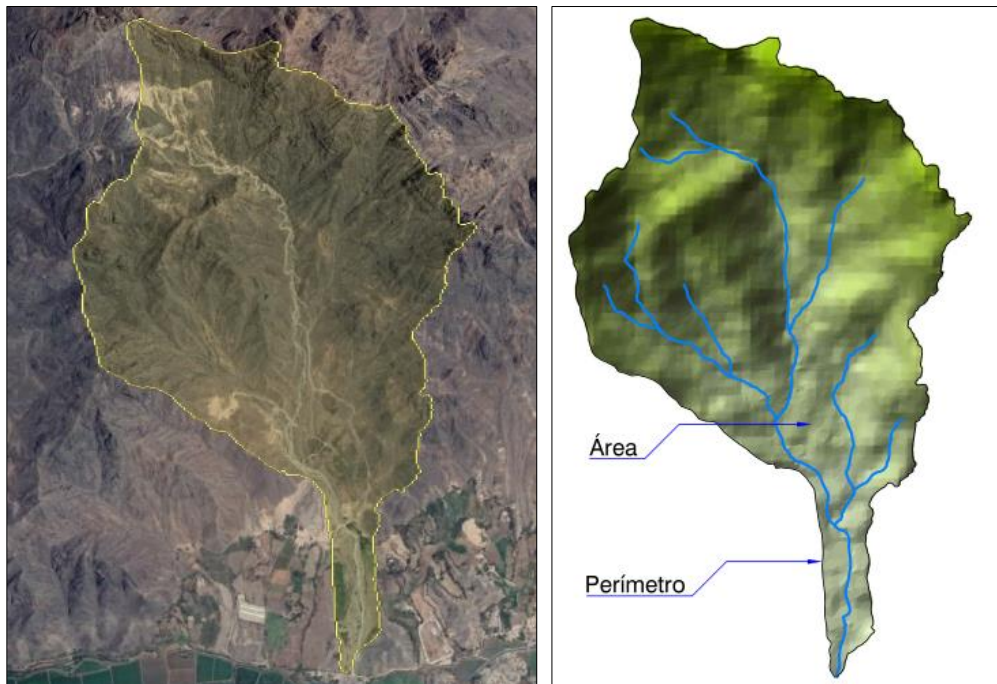


4.3.9.5. Cálculos geomorfológicos de cuencas.

■ Delimitación de cuenca.

Utilizando el software AUTOCAD CIVIL 3D se hizo la delimitación de cuenca para encontrar las dimensiones básicas de la misma.

Imagen 4.3.2 – Delimitación de cuenca



Área de la cuenca $A = 2.77 \text{ km}^2$
 Perímetro de la cuenca $P = 8.76 \text{ km}$

■ Cálculo de parámetros geométricos.

Áreas parciales y acumulados.

Utilizando el software AUTOCAD CIVIL 3D se hizo la delimitación de cuenca para encontrar las áreas parciales delimitadas por un rango de curvas de nivel repartidas en 10 intervalos según la altura total de la cuenca.

Elevaciones: Mínima $e_{mín} = 100 \text{ msnm}$

Máxima $e_{máx} = 900 \text{ msnm}$

Desnivel $h = e_{máx} - e_{mín} = 800 \text{ m}$

Ilustración 4.3.2 – Áreas parciales

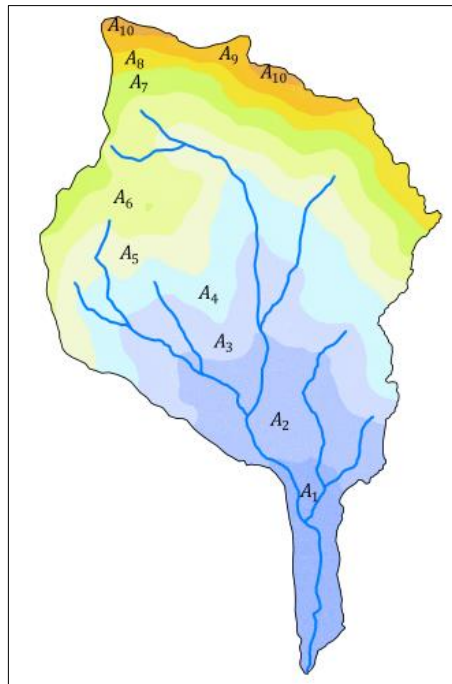


Tabla 4.3.23 – Áreas parciales y acumulados

N°	Altitud (msnm)		Áreas $\langle A_i \rangle$		Áreas acum. $\langle A_{ia} \rangle$		Desnivel $\langle h \rangle$ (m)
	Menor	Mayor	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
1	100	180	0.20	7.22	0.20	7.22	80.0
2	180	260	0.40	14.44	0.60	21.66	80.0
3	260	340	0.40	14.44	1.00	36.10	80.0
4	340	420	0.46	16.61	1.46	52.71	80.0
5	420	500	0.39	14.08	1.85	66.79	80.0
6	500	580	0.42	15.16	2.27	81.95	80.0
7	580	660	0.22	7.94	2.49	89.89	80.0
8	660	740	0.15	5.42	2.64	95.31	80.0
9	740	820	0.10	3.61	2.74	98.92	80.0
10	820	900	0.03	1.08	2.77	100.00	80.0
-	-	-	2.77	100.00	-	-	800.0

Factor de relieve.

Porcentaje de área por encima de curva superior $A_{iae} = 100\% - A_{ia}$

Tabla 4.3.24 – Análisis de altitudes para curvas hipsométricas

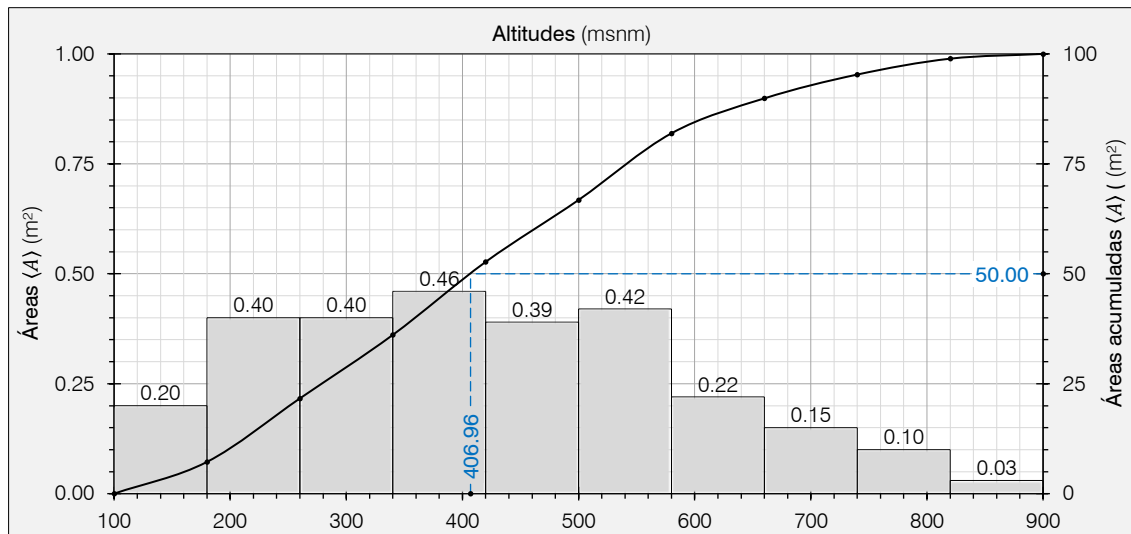
N°	Altitud (msnm)			$\langle A_i \rangle$ (km ²)	$\langle A_{ia} \rangle$ (%)	$\langle A_{iae} \rangle$ (%)	$\langle A_{ia} \cdot A_{iae} \rangle$ (%)
	Menor	Medio	Mayor				
1	100	140	180	0.20	7.22	92.78	28.00
2	180	220	260	0.40	21.66	78.34	88.00
3	260	300	340	0.40	36.10	63.90	120.00
4	340	380	420	0.46	52.71	47.29	174.80
5	420	460	500	0.39	66.79	33.21	179.40
6	500	540	580	0.42	81.95	18.05	226.80
7	580	620	660	0.22	89.89	10.11	136.40
8	660	700	740	0.15	95.31	4.69	105.00
9	740	780	820	0.10	98.92	1.08	78.00
10	820	860	900	0.03	100.00	0.00	25.80
-	-	-	-	2.77	650.54	-	1,162.20

Altitudes:

Altitud media simple $h_s = \frac{e_{m\acute{a}x} + e_{m\acute{i}n}}{2} = \frac{900 + 100}{2} = 500$ msnm

Altitud media ponderada $h_p = \frac{\sum(A_{iae})}{A} = \frac{1,652.20}{2.77} = 419.57$ msnm

Gráfico 4.3.10 – Curvas hipsométrica



Altitud media $h_m = 406.9$ msnm

■ **Cálculo de parámetro de forma.**

Coficiente de Gravelius

Coficiente de Gravelius [Ecu. 4.3.56] $k = 2.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) = 2.28 \left(\frac{8.76}{\sqrt{2.77}} \right) = 1.485$

Lados de rectángulo.

Lado mayor [Ecu. 4.3.61] $l_1 = \frac{k\sqrt{A}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k}\right)^2} \right)$

$$l_1 = \frac{1.485 \sqrt{2.77}}{1.128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.485}\right)^2} \right) = 3.65 \text{ km}$$

Lado menor [Ecu. 4.3.62] $l_2 = \frac{k\sqrt{A}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{k}\right)^2} \right)$

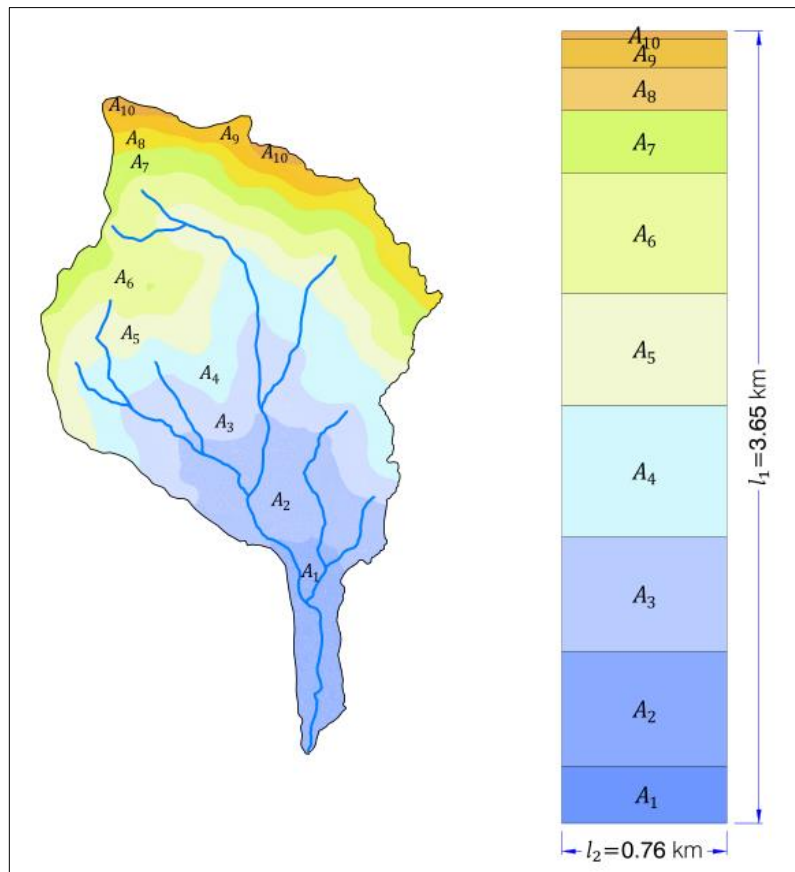
$$l_2 = \frac{1.485 \sqrt{2.77}}{1.128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.485}\right)^2} \right) = 0.76 \text{ km}$$

Longitudes parciales $l_i = \frac{A_i}{l_2} = 0.76 \text{ km}$

Tabla 4.3.25 – Longitudes parciales para rectángulo equivalente

Nº	Altitud (msnm)		$\langle A_i \rangle$ (km ²)	l_i (km)
	Menor	Mayor		
1	100	180	0.20	0.26
2	180	260	0.40	0.53
3	260	340	0.40	0.53
4	340	420	0.46	0.61
5	420	500	0.39	0.51
6	500	580	0.42	0.55
7	580	660	0.22	0.29
8	660	740	0.15	0.20
9	740	820	0.10	0.13
10	820	900	0.03	0.04
-	-	-	2.77	3.65

Ilustración 4.3.3 – Valores de áreas parciales para rectángulo equivalente



Factor Forma.

Factor forma [Ecu. 4.3.57] $f_f = \frac{l_2}{l_1} \cong \frac{A}{(l_1)^2} = \frac{0.76}{3.65} \cong \frac{2.77}{(3.65)^2} = 0.21 \cong 0.21$

■ **Cálculo de parámetros de red hidrográfica.**

Densidad de drenaje:

- Longitudes: Cauce principal (1) $l_1 = 3.25$ km
- Cauce secundario (2)..... $l_2 = 4.27$ km
- Cauce terciario (3) $l_3 = 0.42$ km
- Total $L = 7.52$ km

Densidad de drenaje $\rho = 0.09$

Frecuencia de los ríos.

Numero de cauces $n = 8$

Frecuencia de ríos $f_f = 0.09$

Extensión media del escurrimiento superficial.

Extensión media $e_m = 2.90$

Tiempo de concentración.

Kirpich [Ecu. 4.3.53] $t_{c(1)} = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{h}\right)^3 = \left(\frac{0.87 \cdot (7.52)^3}{800}\right)^3 = 0.81 \text{ h} \cong 48 \text{ min}$

Temes [Ecu. 4.3.54] $t_{c(2)} = 0.3 \left(\frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}\right) = 2.21 \text{ h} \cong 133 \text{ min}$

Bransby Williams [Ecu. 4.3.55] $t_{c(3)} = 0.2433 \left(\frac{L}{A^{0.15} S^{0.2}}\right) = 2.70 \text{ h} \cong 161 \text{ min}$

Tiempo de concentración promedio $t_c = \overline{t_{c(1,2,3)}} = 1.91 \text{ h} \cong 114 \text{ min}$

4.3.9.6. Estimación de caudales de aporte.

■ **Coeficiente de escorrentía.**

Tipo de superficie [Tabla 4.3.6] Sin vegetación

Coeficiente de escorrentía [Tabla 4.3.6] $C = 0.50$

■ **Intensidades.**

Tiempo de concentración promedio $t_c = 1.91 \text{ h}$

Parámetros de ajuste: $\langle k \rangle$ $k = 6.15$

$\langle m \rangle$ $m = 0.947$

$\langle n \rangle$ $n = 0.538$

Intensidad [Ecu. 4.3.51] (mm/h) $I = \frac{k(T^m)}{t^n} = \frac{6.15(35)^{0.947}}{(1.91)^{0.538}} = 13.96 \text{ mm/h}$

■ **Caudales máximos teóricos.**

Racional [Ecu. 4.3.70] (m³/s) $Q_t = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} = \frac{0.5(13.96)(2.77)}{3.6} = 6.44 \text{ m}^3/\text{h}$

4.4. DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERA.

4.4.1. GENERALIDADES.

El proyecto del "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", se hará teniendo los criterios establecidos según el MTC (DG 2018). Se explica los criterios mínimos considerados para realizar el diseño geométrico de la vía.

En proyectos de mejoramiento, que implica efectuar rectificaciones o mejoras en el trazado de un camino existente. Para efectos de diseño también es válido utilizar las normas emitido por el MTC, además de contar con el manual para diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, cuyas normas establecen menores exigencias de diseño. Que debemos tenerlos presente al momento de hacer el rediseño del trazado. Esto con el fin de garantizar que las características técnicas y físicas del camino estén por encima de las mínimas especificadas. Y por ende cumplir con la seguridad, comodidad e integración del camino para con su entorno. Sin embargo, las normas no son inflexibles y podrá hacerse excepciones siempre y cuando haya una justificación con fundamentos sólidos y que permita poder obtener la autorización del MTC.

4.4.2. PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL DISEÑO.

El trazado exige la fijación de ciertos parámetros básicos que definirán los criterios del estudio, que deben ser objeto de análisis. Las cuales son:

- Estudio de tráfico vial.
- Velocidad de diseño.
- Sección transversal de diseño
- Tipo de superficie de infraestructura vial.

4.4.3. CLASIFICACIÓN DE CARRETERA.

4.4.3.1. Clasificación por demanda.

Tabla 4.4.1 – Clasificación por demanda de tráfico de vías

Tipo de vía	Clase	$\langle IMDa \rangle$ (veh/día)
Autopista	Primera	> 6,000
	Segunda	4,000 – 6,000
Carretera	Primera	2,000 – 4,000
	Segunda	400 – 2,000
	Tercera	200 – 400
Trochas carrozable	-	< 200

Tabla 4.4.2 – Características de vías

Tipo de vía	Clase	Calzad a	Separador central	Carriles		Superficie rodadura
				Cant.	Ancho $\langle a \rangle$	
Autopista	Primera	2	≥ 6 m	≥ 2	≥ 3.60 m	Pavimentada
	Segunda	2	(1 – 6) m	≥ 2	≥ 3.60 m	
Carretera	Primera	1	-	2	≥ 3.60 m	
	Segunda	1	-	2	≥ 3.30 m	
	Tercera (1)	1	-	2	≥ 3.00 m	Afirmada o pavimentada
Trocha carrozable		1	-	1	≥ 4.00 m	Afirmada o sin afirmar

Nota: (1) Si la superficie de rodadura es pavimentada se diseñará con las condiciones de una carreta de segunda clase.

4.4.3.2. Clasificación por orografía.

Tabla 4.4.3 – Clasificación por orografía de terreno.

Tipo de terreno	Pendiente $\langle S \rangle$ (%)	
	Transversal	Longitudinal
Plano (tipo 1)	< 10	< 3
Ondulado (tipo 2)	11 – 50	3 – 6
Accidentado (tipo 3)	50 – 100	6 – 8
Escarpado (tipo 4)	> 100	> 8

4.4.4. CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS.

4.4.4.1. Estudios preliminares.

■ Geodesia y topografía.

- El sistema universal transversal de Mercator (UTM).
- UTM – WGS 1984 Datum, Zone 18 South, Meter; Cent. Meridian 75d W.

4.4.4.2. Vehículos de diseño.

■ Vehículos pesados.

Tabla 4.4.4 – Datos básicos de los vehículos de tipo M

Tipo de vehículo	Dimensiones (m)								
	Totales			Separación ejes		vuelos			$\langle R_{min} \rangle$ Ext. r
	Alto	Anc.	Largo	Ancho	Largo	Lat.	Del.	Tras.	
Vehículo ligero (VL)	1.3	2.1	5.8	1.8	3.40	0.15	0.9	1.5	7.3
Camión (C ₂)	4.1	2.6	9.1	2.6	6.10	-	1.2	0.8	12.8
Ómnibus 2 ejes (B ₂)			13.2		8.25	-	2.3	2.65	12.8
Ómnibus 3 ejes (B ₃₋₁)	4.1	2.6	14	2.6	7.55	-	2.4	4.05	13.7
Ómnibus 4 ejes (B ₄₋₁)			15		7.75	-	3.2	4.05	13.7
T ₂ S ₁			20.5	2.6	6/12.5	-	1.2	0.8	13.7
T ₃ S ₃					5.4/11.9	-	1.2	2.0	1.0
T ₃ S ₂ S ₂	4.1	2.6			(*)	-	1.2	1.4	13.7
T ₃ S ₂ S ₁ S ₂			23	2.6	(**)	-	1.2	1.4	13.7
Remolque (C ₂ R ₁)					(***)	-	1.2	0.8	12.8

Lat.: Lateral ; Del.: Delantero ; Tras.: Trasero ; Ext. r: Exterior de rueda
 (*)5.4/6.8/1.4/6.8 ; (**) 5.5/5.7/1.4/2.2/5.7 ; (***)10.3/0.8/2.15/7.75

Fuente: Manual de carreteras: DG 2018 – tabla 202.01

■ Giro mínimo de vehículos.

Las imágenes del 202.01 a 202.54 (DG-2018) están dibujadas las trayectorias mínimas para vehículos tipo con las longitudes máximas.

Los radios mínimos y máximos y ángulos para las seis trayectorias dibujadas están incluidas en la tabla 202.02 a 202.11 (DG-2018)

4.4.4.3. Velocidad de diseño.

La velocidad de diseño $\langle V_d \rangle$ es un resultado del estudio técnico-económico que deben tener en cuenta su orografía del terreno. En terreno planos se aceptan velocidades altas con costos bajos en la construcción y en terrenos accidentados

es costoso para sostener el diseño de velocidad alta y será costoso sostener un buen trazo.

■ **Definición.**

Para la asignación de la velocidad se debe precisar en la ruta, tramos homogéneos por la topografía, se les puede conceder la misma velocidad, en tramo homogéneo; es base para las propiedades de los elementos geométricos en dicha vía. Para la identificación de los tramos y determinar la velocidad, se toma los criterios:

- La longitud mínima y la velocidad es de 3 km para (20-50) km/h y con 4 km (60-120) km/h.
- La velocidad de diseño entre tramos adyacentes, no tiene que ser mayor de 20 km/h.

■ **Velocidad de diseño en tramo homogéneos.**

Definida por la clasificación por su orografía o la demanda de la vía, se muestran rangos:

Tabla 4.4.5 – Velocidades de diseño en tramos homogéneos VTR

Vía	Clase	Orografía	Velocidad de diseño $\langle V_d \rangle$ (km/h)										
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Carretera	Primera clase	Plano	-	-	-	■	■	■	■	■	-	-	-
		Ondulado	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-
		Accidentado	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-	-
		Escarpado	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-
	Segunda clase	Plano	-	-	-	■	■	■	■	-	-	-	-
		Ondulado	-	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-
		Accidentado	-	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-
		Escarpado	-	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-
	Tercera clase	Plano	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-
		Ondulado	-	■	■	■	■	■	■	-	-	-	-
		Accidentado	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-
		Escarpado	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de carreteras: DG 2018 – tabla 204.01

Según la norma se optará por elegir la máxima velocidad de diseño, sin embargo, el proyectista puede elegir otra velocidad de acuerdo a criterios de diseño del proyecto.

■ Variación de la velocidad de diseño.

Las normas en caminos aconsejan que el cambio de velocidad de diseño se haga un aumento o disminución de 15km/h o se toma el 20 % de la velocidad de diseño, de las cuales se tomará el de menor variación.

Para este estudio la velocidad es de 30 km/h, y se hizo cambio en la velocidad en diversos tramos del camino, de acuerdo a la teoría se tomaría el menor.

- Para 15 km/h
- 20% de 30% = 6 km/h

Se tomó 6 km/h por tener menor variación, por lo tanto, se podría aumentar la velocidad hasta 35 km/h o disminuirla hasta 25 km/h

4.4.4.4. Sección transversal de diseño.

Se selecciona las medidas de la sección transversal en todos los tramos de la vía proyectada.

Para el dimensionamiento de la sección transversal se toman los caminos de bajo volumen de tráfico.

En una carretera con dos carriles en diferentes sentidos; tendrán plazoletas de cruce o de volteo cada cierta longitud. Para la vía en estudio se está considerando dos plataformas, se proyectará una carretera de dos carriles de circulación de 3 m de ancho cada una y berma de 0.60 ambos de la calzada.

4.4.4.5. Distancia de Visibilidad.

Es el distanciamiento continuo para delante de la vía, que puede ver el conductor y pueda realizar con seguridad la manipulación del vehículo. Se consideró 2 distancias de visibilidad:

■ Distancia de Visibilidad de Parada (D_p)

Es la mínima distancia, para que el conductor detenga su vehículo antes de que se encuentre con otro vehículo en sentido contrario.

Se establece que la altura del obstáculo es mayor o igual a 0.15 m, ya que el ojo del conductor está a una altura de 1.07m. encima de la rasante.

Tabla 4.4.6 – Distancia de visibilidad de parada $\langle D_p \rangle$

$\langle V_d \rangle$	Pendiente de subida (%)										Pendiente de bajada (%)										
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	33	33	33	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30	29	29	29	29	29	29	28	28
40	46	45	44	44	43	42	42	41	41	40	40	39	39	39	38	38	38	37	37	37	36
50	65	64	62	61	60	59	58	57	56	56	55	54	53	53	52	51	51	50	50	49	49
60	90	88	86	84	82	81	80	78	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	66	65
70	119	116	113	110	108	105	103	101	99	97	96	94	92	91	90	88	87	86	85	84	83
80	152	147	143	140	136	133	130	127	124	122	120	117	115	113	112	110	108	107	105	104	102
90	189	183	178	173	168	164	161	156	153	150	147	144	141	139	136	134	132	130	128	126	124
100	229	221	204	207	201	196	191	186	181	177	173	169	166	162	159	156	154	151	148	146	144
110	282	272	262	253	246	238	231	225	219	214	209	204	199	195	191	187	184	180	177	174	171
120	343	330	318	306	296	287	278	270	262	255	249	243	237	232	227	222	217	213	209	205	202
130	413	396	380	366	353	341	330	320	311	302	294	286	279	272	266	260	255	249	244	240	235
140	495	473	453	435	419	403	390	377	365	354	344	335	326	318	310	303	296	290	284	278	272
150	584	557	532	509	489	471	454	438	424	411	398	387	376	366	357	348	340	333	325	318	312

Fuente: DG 2018 – tabla 205.01

■ **Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento $\langle D_a \rangle$**

Es la mínima que esta disponible, para permitir al usuario del vehículo exceder a otro vehículo que transita con menor velocidad de manera cómoda y segura, sin detener a otro vehículo que circule en sentido contrario.

Tabla 4.4.7 – Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\langle D_a \rangle$ (m)	110	170	230	290	350	410	470	530	580	650	700	760	820

Fuente: DG 2018 – figura 205.03

4.4.5. DISEÑO EN PLANTA.

Es la proyección del alineamiento horizontal compuesto de segmentos horizontales como: tangentes, curvas, y longitud de transiciones (Espirales).

4.4.5.1. Consideraciones de diseño.

Se considera:

- Debe prevenirse tramos con tangentes muy largos.
- Si los ángulo de deflexión ($\alpha < 5^\circ$), puede considerarse un segmento de curva horizontal.
- La longitud mínima de curva en carreteras será ($L = 3(V_d)$).
- Para ángulos pequeños de deflexión no se exige curva horizontal, el cuadro muestra ángulos de inflexión máximos, no se requiere la curva horizontal.

Tabla 4.4.8 – Ángulos de inflexión máx. para abstenerse de la curva horizontal

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	30	40	50	60	70	80
Deflexión máx. aceptable	2°30'	2°15'	1°50'	1°30'	1°20'	1°10'

Fuente: DG 2018 – pág. 126

4.4.5.2. Tramos en tangente.

Son longitudes mínimas en tramos rectos entre curvas.

$$L_{\min(s)} = 1.39(V_d) \quad [\text{Ecu. 4.4.1}]$$

$$L_{\min(o)} = 2.78(V_d) \quad [\text{Ecu. 4.4.2}]$$

$$L_{\max} = 16.70(V_d) \quad [\text{Ecu. 4.4.3}]$$

Dónde: Longitud mínima, trazados en "S" (m) $L_{\min(s)}$
 Longitud mínima, resto de trazos (m) $L_{\min(o)}$
 Longitud máxima deseable (m) L_{\max}
 Velocidad de diseño (km/h) V_d

Tabla 4.4.9 – Longitudes de tramos en tangente

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$\langle L_{\min.s} \rangle$ (m)	42	56	69	83	97	111	125	139	153	167	180
$\langle L_{\min.o} \rangle$ (m)	84	111	139	167	194	222	250	278	306	333	362
$\langle L_{\max} \rangle$ (m)	500	668	835	1002	1169	1336	1503	1670	1837	2004	2171

Fuente: DG 2018 – tabla 302.01

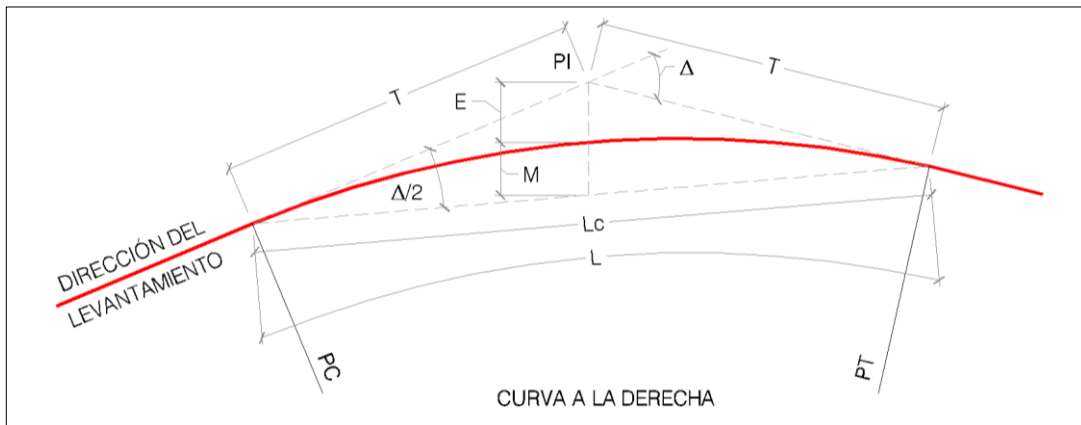
4.4.5.3. Curvas circulares.

Son arcos de circunferencia de único radio que une a dos tangentes continuas mediante un punto d intercesión.

■ Elementos de la curva circular.

Los elementos y nomenclatura de las curvas, deben ser usadas sin modificaciones y son:

Ilustración 4.4.1 – Elementos de curva circular



Fuente: DG 2018 – figura 302.01

Punto de Inicio de la curva	PC
Punto de intersección.....	PI
Punto de tangencia	PT
Externa (m)	$E = R \left(\sec \left(\frac{\Delta}{2} \right) - 1 \right)$
Media (m)	$M = R \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$
Longitudes (m):	
Radio	R
Sub tangente (PC a PI a PT)	$T = R \cdot \tan \left(\frac{\Delta}{2} \right)$
Curva (m)	$L = 2\pi \cdot R \left(\frac{\Delta}{360} \right)$
Cuerda (m)	$L_c = 2R \cdot \sin \left(\frac{\Delta}{2} \right)$
Angulo de deflexión	Δ

■ Radios mínimos.

Son radios menores que pueden transitar con la tasa máxima de peralte y la velocidad de diseño, en condición cómoda y segura.

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 (e_{\max} + f_{\max})} \quad [\text{Ecu. 4.4.4}]$$

Dónde: Radio mínimo (m) R_{\min}
 Velocidad de diseño (km/h) V
 Peralte máximo asociado a V (%) P_{\max}
 Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V f_{\max}

La fórmula se aprecia en la siguiente Tabla.

Tabla 4.4.10 – Radios mínimos (R_{\min}) y Peraltes máximos (p_{\max})

Zona	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle p_{\max} \rangle$ (%)	$\langle f_{\max} \rangle$	$\langle R_{\min} \rangle$ (m)		Zona	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle p_{\max} \rangle$ (%)	$\langle f_{\max} \rangle$	$\langle R_{\min} \rangle$ (m)	
				Calc.	Red.					Calc.	Red.
Área urbana	30		0.17	33.7	35	Área rural (plano u ondulada)	30		0.17	28.3	30
	40		0.17	60.0	60		40		0.17	50.4	55
	50		0.16	98.4	100		50		0.16	82.0	90
	60		0.15	149.2	150		60		0.15	123.2	135
	70		0.14	214.3	215		70		0.14	175.4	195
	80	4.00	0.14	280.0	280		80	8.00	0.14	229.1	255
	90		0.13	375.2	375		90		0.13	303.7	335
	100		0.12	835.2	495		100		0.12	393.7	440
	110		0.11	1.108.9	635		110		0.11	501.5	560
	120		0.19	872.2	875		120		0.09	667.0	755
130		0.08	1,108.9	1110	130		0.08	831.7	950		
Área rural (con peligro de hielo)	30		0.17	30.8	30	Área rural (accidentada o escarpada)	30		0.17	24.4	25
	40		0.17	54.8	55		40		0.17	43.4	45
	50		0.16	89.5	90		50		0.16	70.3	70
	60		0.15	135.0	135		60		0.15	105.0	105
	70		0.14	192.9	195		70		0.14	148.4	150
	80	6.00	0.14	252.9	255		80	12.00	0.14	193.8	195
	90		0.13	437.4	335		90		0.13	255.1	255
	100		0.12	560.4	440		100		0.12	328.1	330
	110		0.11	755.9	560		110		0.11	414.2	415
	120		0.09	950.5	755		120		0.09	539.9	540
130		0.08	1.187.2	950	130		0.08	665.4	665		

Fuente: DG 2018 – tabla 302

4.4.5.4. Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño.

Son gráficos representativos que permiten obtener el peralte en función al radio establecido en una curva, la selección del grafico depende a la ubicación del proyecto en una zona correspondiente.

Tabla 4.4.11 – Resumen de gráficos de para determinar peraltes en curvas

Figura	Descripción	$\langle p_{m\acute{a}x} \rangle$ (m)
DG 2018 – 302.02	Peralte en cruce de áreas urbanas	4.00
DG 2018 – 302.03	Peralte en zona rural (Tipo 1, 2 ó 3)	8.00
DG 2018 – 302.04	Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4)	12.00
DG 2018 – 302.05	Peralte en zonas con peligro de hielo	6.00

Para vías de tercera clase, usando la fórmula, se obtienen según (DG 2018 – tablas 302.03 y 302.04).

$$R_{m\acute{i}n} = \frac{V_d^2}{127 (0.01 p_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad [\text{Ecu. 4.4.5}]$$

Dónde: Mínimo radio..... $R_{m\acute{i}n}$
 Velocidad de diseño V_d
 Peralte máximo (%) $p_{m\acute{a}x}$
 Factor máximo de fricción $f_{m\acute{a}x}$

Tabla 4.4.12 – Fricción transversal máxima en curvas $\langle f_{m\acute{a}x} \rangle$

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	20	30	40	50	60
$\langle f_{m\acute{a}x} \rangle$	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15

Fuente: DG 2018 – tabla 302.03

Tabla 4.4.13 – Radios mínimos $\langle R_{m\acute{i}n} \rangle$

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle p_{m\acute{a}x} \rangle$ (%)	$\langle f_{m\acute{a}x} \rangle$	$\langle R_{m\acute{i}n} \rangle$ (m)		$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle p_{m\acute{a}x} \rangle$ (%)	$\langle f_{m\acute{a}x} \rangle$	$\langle R_{m\acute{i}n} \rangle$ (m)	
			Calcul.	Redon.				Calcul.	Redon.
30	4	0.17	33.7	35	50	8	0.16	82	80
40		0.17	60	60	60		0.15	123.2	125
50		0.16	98.4	100	30		0.17	26.2	25
60		0.15	149.1	150	40		0.17	46.6	45
30	6	0.17	30.8	30	50	10	0.16	75.7	75
40		0.17	54.7	55	60		0.15	113.3	115
50		0.16	89.4	90	30		0.17	24.4	25
60		0.15	134.9	135	40		0.17	43.4	45
30	8	0.17	28.3	30	50	12	0.16	70.3	70
40		0.17	50.4	50	60		0.15	104.9	105

Fuente: DG 2018 – tabla 302.04

4.4.5.5. Coordinación entre curvas circulares.

Cuando se conecten las curvas circulares continuas sin tangente intermedia, y para tangentes iguales o menores a 200 m, la relación de radios no sobrepasará los valores logrados a según (DG 2018 – figuras 302. 06 y 302. 07), para el grupo 2 que corresponde a carreteras de segunda y tercera clase:

Tabla 4.4.14 – Relación entre radios consecutivos – grupo 2

Ent.	Salida		Ent.	Salida		Ent.	Salida		Ent.	Salida	
	Máx.	Mín.		Máx.	Mín.		Máx.	Mín.		Máx.	Mín.
40	60	50	200	332	131	360		212	520		265
50	75	50	210	355	137	370		216	530		267
60	90	50	220	381	143	380		220	540		270
70	105	50	230	408	149	390		223	550		273
80	120	53	240	437	154	400		227	560		275
90	135	60	250	469	160	410		231	570		278
100	151	67	260	503	165	420		234	580		280
110	166	73	270	540	171	430	>670	238	590	>670	282
120	182	80	280	580	176	440		241	600		285
130	198	87	290	623	181	450		244	610		287
140	215	93	300	670	186	460		247	620		289
150	232	100	310		190	470		250	640		294
160	250	106	320		195	480		253	660		298
170	269	112	330	>670	199	490		256	680		302
180	289	119	340		204	500		259	700		306
190	309	125	350		208	510		262	Ent: Entrada		

Fuente: DG 2018 – tabla 302.08

4.4.5.6. Radios mínimos excepcionales.

Los valores son menores que los anteriores y se utilizarán solo en casos particulares bajo una necesaria justificación, mostrando la causa o motivo por lo que al diseñarse se tenga presente a estos valores.

Tabla 4.4.15 – Radios mínimos excepcionales

Clase de carretera	Topografía		
	Plana	Ondulada	Accidentada
Primera clase	340	110	56
Segunda clase	200	56	23
Tercera clase	65	30	15
Cuarta clase	23	15	10

Fuente: NPDC

Valores que se calcularon con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V^2}{128 (P + C_f)} \quad [\text{Ecu. 4.4.6}]$$

Dónde: Radio (m)..... R

Velocidad (km/h)..... V

Valores según clase de carretera: 1° y 2° P = 0.08 ; 3° y 4° P = 0.10

$$C_f = f = \frac{1}{1.4 \sqrt[3]{V}} \quad [\text{Ecu. 4.4.7}]$$

4.4.5.7. Espirales.

Los espirales, son curvas de transición, considerados para circular de un tramo en tangente a curva horizontal.

■ Parámetro mínimo.

Para establecer el parámetro mínimo (A_{\min}), que compensa a una curva en espiral, se emplea:

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{V_d(R)}{46.656(J)} \left(\frac{(V_d)^2}{R} - 1.27p \right)} \quad [\text{Ecu. 4.4.8}]$$

Dónde: Parámetro mínimo A_{\min}
 Velocidad de diseño (km/h) V_d
 Radio de curvatura (m) R
 Variación de aceleración (m/s³) J
 Peralte (%) p

Tabla 4.4.16 – Variación de la aceleración transversal (J)

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$V_d < 80$	$80 \leq V_d < 100$	$100 \leq V_d < 120$	$V_d > 120$
$\langle J \rangle$ (m/s ³)	0.5	0.4	0.4	0.4
$\langle J_{\max} \rangle$ (m/s ³)	0.7	0.8	0.5	0.4

Fuente: DG 2018 – tabla 302.09

■ Longitud mínima de espiral.

Se establecen mediante:

$$L_{e(\min)} = \frac{V_d}{46.656(J)} \left(\frac{(V_d)^2}{R} - 1.27p \right) \quad [\text{Ecu. 4.4.9}]$$

Dónde: Longitud de espiral (m) $L_{e(\min)}$
 Velocidad de diseño (km/h) V_d
 Variación uniforme de la aceleración (m/s³) J
 Radio de curvatura (m) R
 Peralte (%) p

No se ajustarán longitudes de espirales menores a 30 m.

■ **Parámetros mínimos y deseables.**

La longitud de la curva de transición deberá cumplir las limitaciones que se indican.

Condiciones:

- 1) Longitud de espiral mínima ($L_{e(mín)} = 30$) m
- 2) Para que el conductor aprecie fácilmente la espiral considerar ($\frac{R}{3} \leq A \leq R$).
- 3) Por desarrollo del peralte.
 - Si R necesita ($p > 3\%$), debe usarse la curva de transición.
 - Si R necesita ($p > 3\%$), puede obviarse de la espiral para ($V < 100$) km/h.
 - Si R necesita ($p < 2.5\%$), puede obviarse de la espiral para ($V \geq 110$) km/h.
 - La longitud de espiral deberá estar dentro de ($L_{mín} \leq L_e \leq L_{máx}$):

$$L_{mín} = 0.0178 \left(\frac{V^3}{R} \right) \quad \text{[Ecu. 4.4.10]}$$

$$L_{máx} = \sqrt{24(R)} \quad \text{[Ecu. 4.4.11]}$$

Dónde: Radio (m) R
 Velocidad de diseño en (km/h) V
 Longitud mínima y máxima de espiral (m) $L_{mín}$; $L_{máx}$

- 4) La longitud máxima del espiral, no será superior ($1.5L_{mín}$).

■ **Radio que permiten prescindir de espirales.**

Tabla 4.4.17 – Radios para prescindir de curva de transición.

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90
$\langle R \rangle$ (m)	24	55	95	150	210	290	380	480

Fuente: DG 2018 – tabla 302.11b

4.4.5.8. Transición de peralte.

Es el desarrollo el cambio gradual de la zona en tangente y la zona peraltada de la curva.

$$iP_{máx} = 1.8 - 0.01(V_d) \quad \text{[Ecu. 4.4.12]}$$

Máxima inclinación de borde de la calzada (%) $iP_{máx}$
 Velocidad de diseño (km/h) V_d
 Longitud mínima de transición de peralte.

$$L_{p(\text{mín})} = \left(\frac{p_f - p_i}{iP_{\text{máx}}} \right) B \quad [\text{Ecu. 4.4.13}]$$

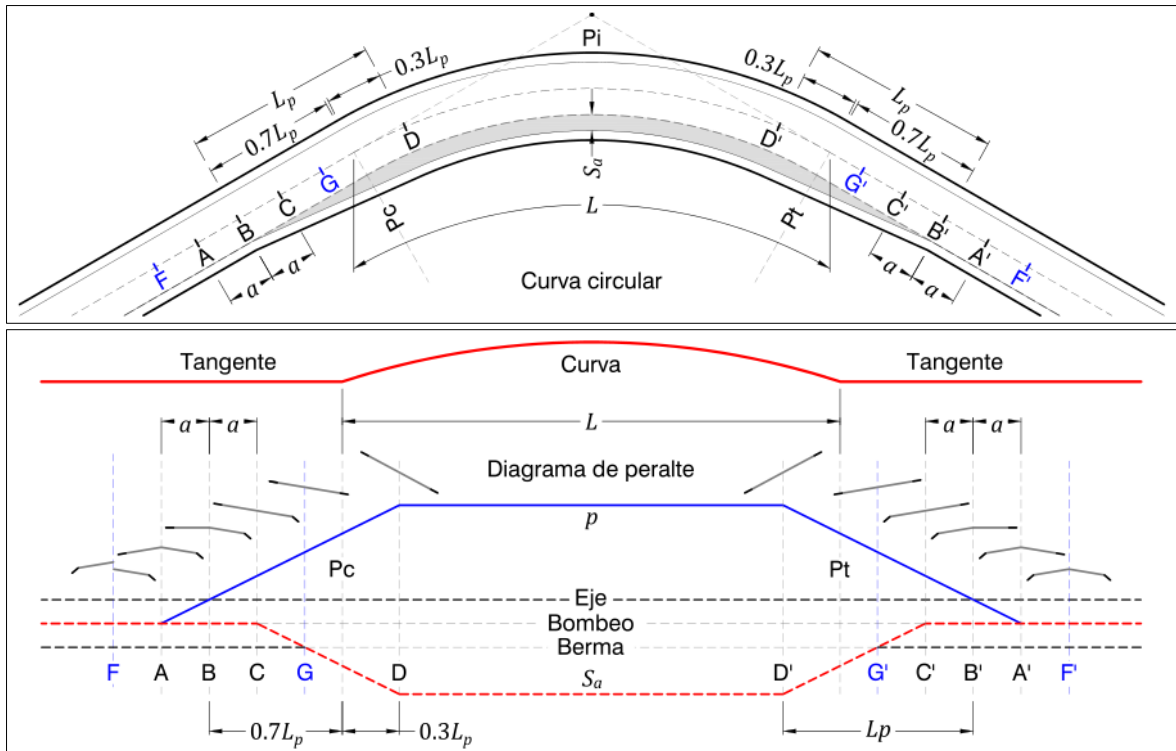
Dónde: Longitud mín. de transición (m) $L_{p(\text{mín})}$

Distancia desde el borde de calzada al eje de giro del (p) (m) B

Peralte inicial y final con su signo (%) p_i, p_f

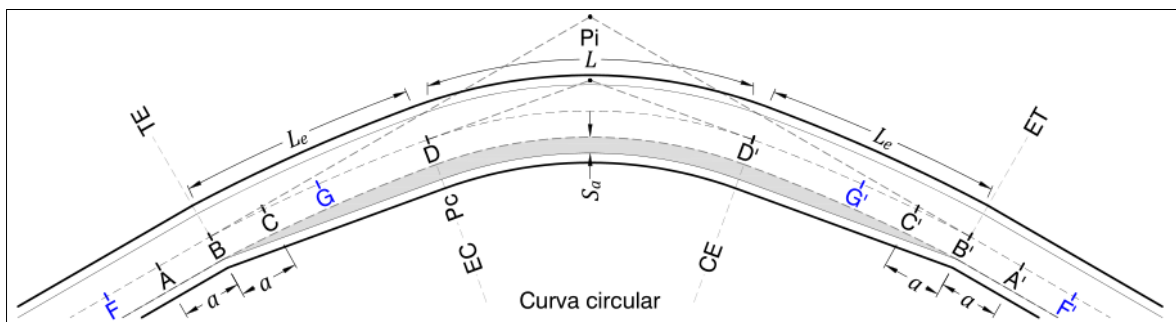
Ilustración 4.4.2 – Desvanecimiento de bombeo y transición del peralte

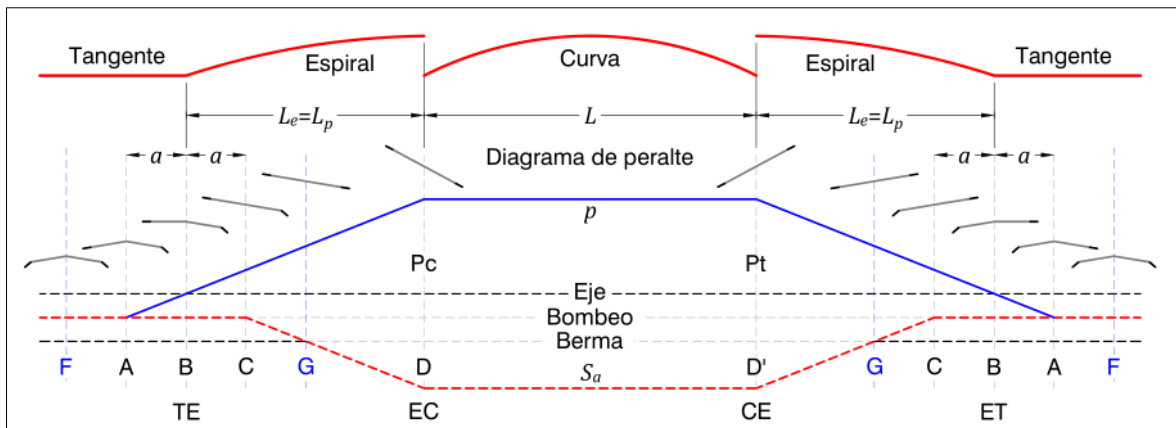
(a) Curva con espiral



Fuente: DG 2018 – figura 302.14

(b) Curva sin espiral





Fuente: DG 2018 – figura 302.15

4.4.5.9. Sobre ancho.

En una ampliación adicional a la calzada en las curvas horizontales, para evitar el contacto entre vehículos que van en sentido contrario.

■ Longitud de transición del sobre ancho.

$$S_{a(n)} = \frac{S_a}{L} \cdot l_n \quad [\text{Ecu. 4.4.14}]$$

Dónde: Sobre ancho de un punto l_n origen $S_{a(n)}$
 Longitud total del desarrollo del sobre ancho L
 Longitud desde el origen hacia cualquier punto de la curva (m) l_n

■ Valores del sobre ancho.

Está en función de las dimensiones del vehículo de diseño, radio de curvatura ya la velocidad mínima de volteo:

$$S_a = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \left(\frac{V}{10\sqrt{R}} \right) \quad [\text{Ecu. 4.4.15}]$$

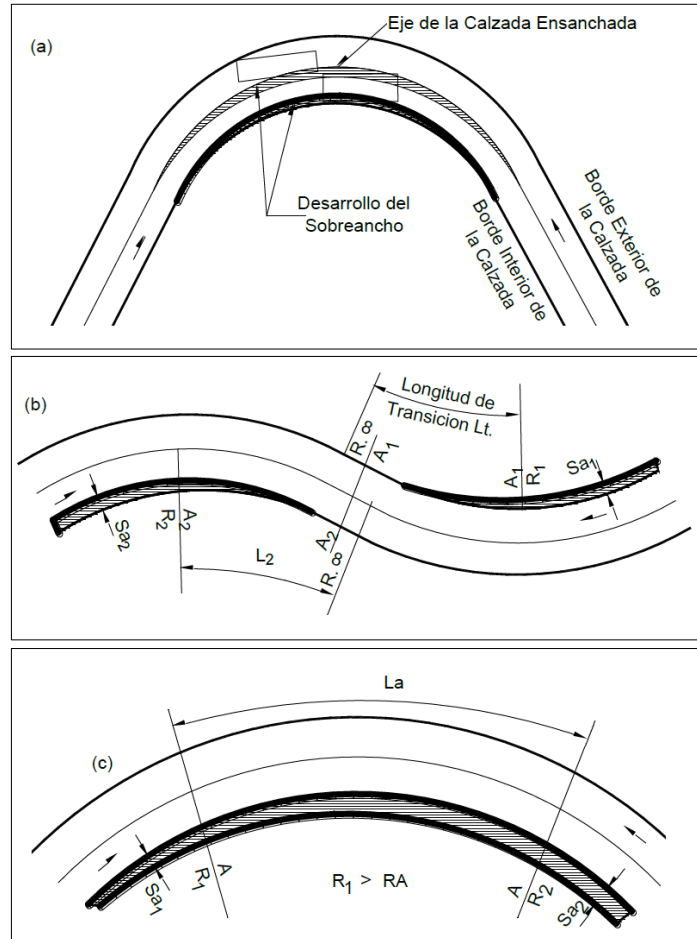
Dónde: Sobre ancho (m) S_a
 Número de carriles ; velocidad de diseño (km/h) $n ; V$
 Distancia entre eje posterior y parte frontal (m) L
 Radio (m) R

Se considera apropiado un sobre ancho mínimo ($S_{a(mín)}=0.4$) m para justificar su adopción.

■ **Longitud de transición y desarrollo del sobreaancho.**

En la siguiente ilustración (a), (b) y (c), se demuestra la repartición del sobreancho en sectores de transición y circular.

Ilustración 4.4.3 – Distribución de transición de sobreancho



Fuente: DG 2018 – figura 302.19)

$$S_{a(n)} = S_a \left(\frac{L_n}{L} \right) \quad [\text{Ecu. 4.4.16}]$$

$$S_{a(n)} = S_{a(1)} + (S_{a(2)} - S_{a(1)}) \left(\frac{L_n}{L} \right) \quad [\text{Ecu. 4.4.17}]$$

Dónde:

Sobreaancho en cualquier punto (m)	$S_{a(n)}$
Sobreaancho calculado para la curva (m)	S_a
Longitud en la que se desea determinar el sobreaancho (m)	L_n
Longitud de transición de peralte (m)	L
Sobreaancho para el arco circular de menor (m)	$S_{a(1)}$
Sobreaancho para mayor curvatura (m)	$S_{a(2)}$

4.4.6. DISEÑO EN PERFIL.

Es el trazo del alineamiento vertical en función del perfil del terreno. Las proyecciones de curvas verticales entre dos pendientes continuas admiten un cambio suave entre pendientes diferentes.

4.4.6.1. Generalidades.

Siendo prácticamente el terreno plano en todo el tramo, la proyección de la rasante se hará al mismo nivel de la vía actual, debido a que una parte de la capa de rodadura se encuentra pavimentada y pasa por calles de zona urbana.

4.4.6.2. Pendiente.

■ Pendiente mínima.

Se considera una pendiente mínima de 0.5 %, para asegurar la evacuación de aguas de lluvias y 0% si se considera el bombeo de 2.5%.

■ Pendiente máxima.

Tabla 4.4.18 – Pendientes máximas ($S_{m\acute{a}x}$) en carretera

Clase	Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
	1 °	2 °	3 °	4 °	1 °	2 °	3 °	4 °	1 °	2 °	3 °	4 °
Orografía												
Vel. de diseño (V_d) (km/h)	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10
	40	-	-	-	-	-	-	-	9.0	8.0	9.0	10
	50	-	-	7.0	7.0	-	-	8.0	9.0	8.0	8.0	8.0
	60	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	7.0	8.0	9.0	8.0	8.0	-
	70	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	7.0	-	7.0	7.0	-
	80	6.0	6.0	6.0	-	6.0	6.0	-	-	7.0	7.0	-
	90	5.0	5.0	-	-	6.0	-	-	-	6.0	6.0	-
	100	5.0	-	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-
	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: DG 2018 – tabla 303.01

4.4.6.3. Curvas verticales.

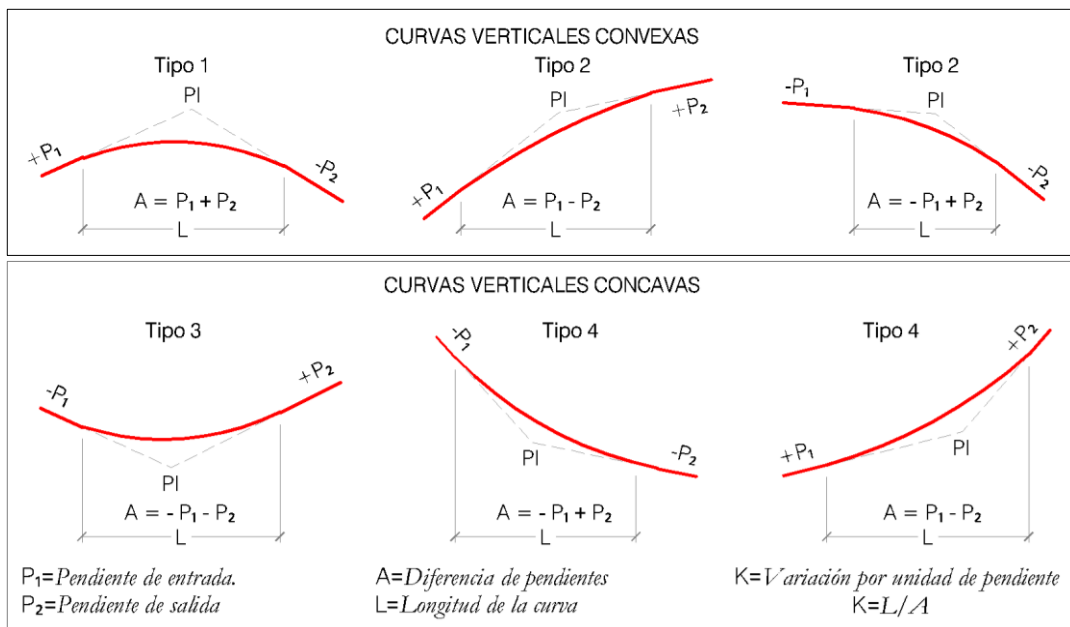
Son curvas parabólicas verticales trazadas en los puntos de intersección vertical de tangente, debe considerarlo lo siguiente:

$$K = \frac{L}{A} \quad [\text{Ecu. 4.4.18}]$$

Dónde: Parámetro de curvatura K
 Longitud de la curva vertical L
 Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes A

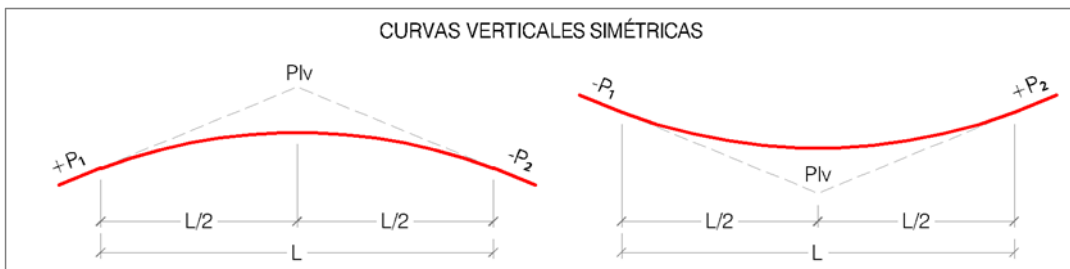
■ Tipos de curvas verticales.

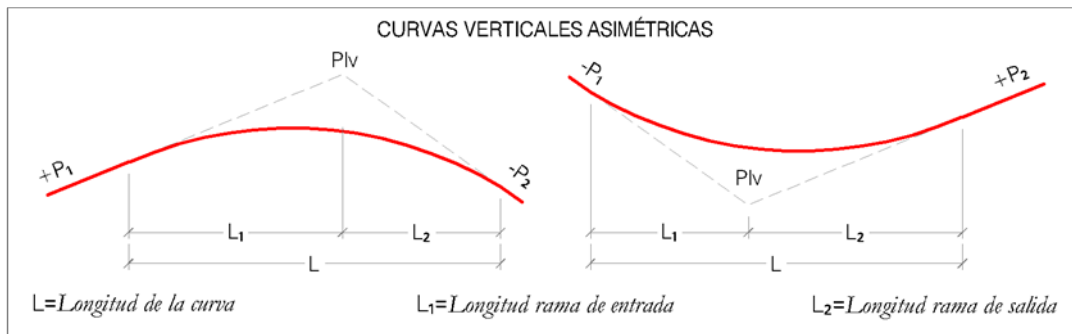
Ilustración 4.4.4 – Tipos de curvas verticales



Fuente: DG 2018 – figura 303.02

Ilustración 4.4.5 – Simetría de curvas verticales



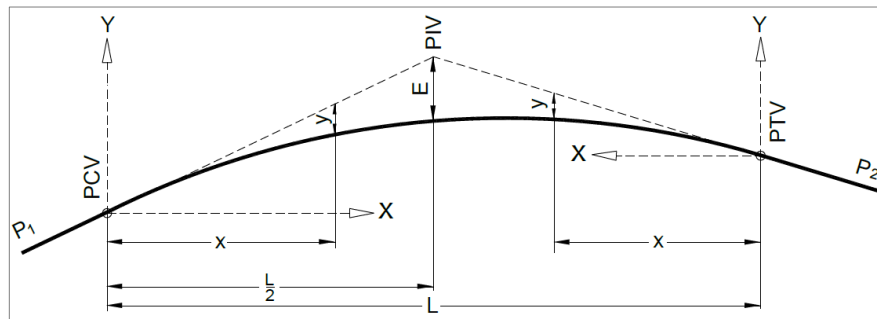


Fuente: DG 2018 – figura 303.03

Curva vertical simétrica.

Está compuesta por 2 parábolas iguales:

Ilustración 4.4.6 – Geometría de la curva vertical simétrica



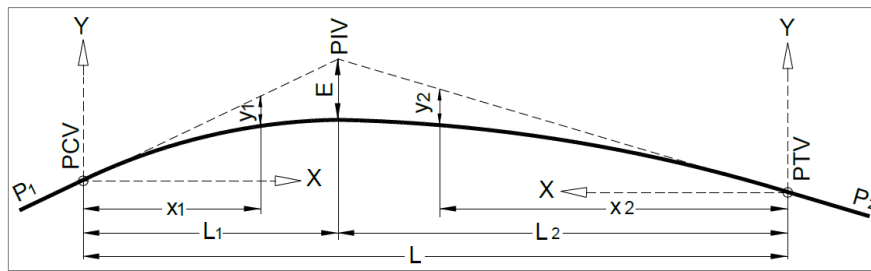
Fuente: DG 2018 – figura 303.04

- Dónde: Punto de curva (km+m): Comienzo ; Término PCv ; PTV
 Punto de intersección de tangentes (km+m) PIV
 Longitud horizontal de la curva vertical (m) L
 Pendientes de tangentes (%): Entrada ; Salida S₁ ; S₂
 Diferencia de pendientes, (%) A = |S₁ - S₂|
 Externa (m) E = $\frac{A \cdot L}{800}$
 Distancia horizontal desde PCv o PTV x
 Ordenada vertical en cualquier punto..... $y = x^2 \left(\frac{A}{200L} \right)$

La curva vertical asimétrica.

Está compuesta por 2 parábolas de diferente longitud (l₁, l₂).

Ilustración 4.4.7 – Geometría de la curva vertical asimétrica



Fuente: DG 2018 – figura 303.05

- Dónde: Punto de curva (km+m): Comienzo ; Término PCv ; PTV
 Punto de intersección de tangentes (km+m) PIV
 Longitud horizontal de la curva (m) $L = l_1 + l_2 \Rightarrow \{l_1 \neq l_2\}$
 Pendientes de tangentes (%): Entrada ; Salida $S_1 ; S_2$
 Longitud horizontal de 1° y 2° rama (m) $l_1 ; l_2$
 Diferencia algebraica de pendientes % $A = |S_1 - S_2|$
 Externa (m) $E = \frac{A(l_1 \cdot l_2)}{200(l_1 + l_2)}$
 Distancia hor. a cualquier pto de 1° rama desde PCv x_1
 Distancia hor. a cualquier pto de 2° rama desde PTV x_2
 Ordenada vert. en cualquier pto de 1° rama desde PCv $y_1 = E \left(\frac{x_1}{l_1}\right)^2$
 Ordenada vert. en cualquier pto de 2° rama desde PTV $y_2 = E \left(\frac{x_2}{l_2}\right)^2$

■ **Longitud de las curvas convexas.**

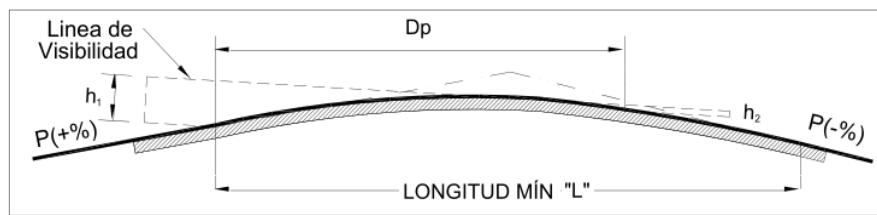
Respecto a visibilidad de parada.

$$L = \frac{A(D_p)^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{A(D_p)^2}{404} \Rightarrow \{D_p < L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.19}]$$

$$L = 2D_p - \frac{200 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} = 2D_p - \frac{404}{A} \Rightarrow \{D_p > L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.20}]$$

- Dónde: Longitud curva (m) L
 Distancia de visibilidad de parada (m) D_p
 Diferencia de pendientes (%) A
 Alt. Ojo sobre la rasante $h_1 = 1.07 \text{ m}$
 Alt. Objeto sobre la rasante $h_2 = 0.15 \text{ m}$

Ilustración 4.4.8 – Longitud mínima de curva vertical convexa con $\langle D_p \rangle$



Fuente: DG 2018 – figura 303.06

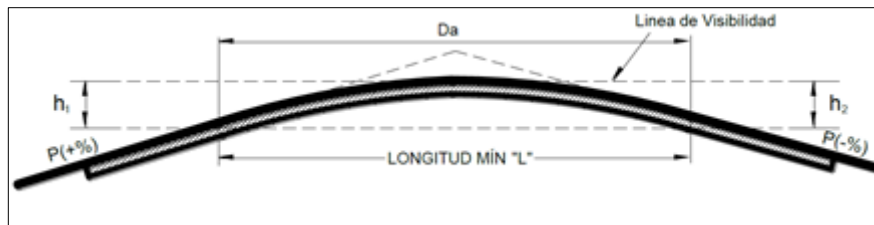
Respecto a visibilidad de adelantamiento o paso.

$$L = \frac{A(D_a)^2}{946} \Rightarrow \{D_a < L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.21}]$$

$$L = 2D_a - \frac{946}{A} \Rightarrow \{D_a > L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.22}]$$

- Dónde: Longitud de la curva vertical (m) L
 Distancia de vis. de adelantamiento o paso (m) D_a
 Diferencia de pendientes (%) A
 Altura de ojo sobre la rasante $h_1 = 1.07$ m
 Altura del objeto sobre la rasante $h_2 = 1.30$ m

Ilustración 4.4.9 – Longitud mínima de curvas verticales convexas con $\langle D_a \rangle$



Fuente: DG 2018 – figura 303.07

■ **Longitud de las curvas cóncavas.**

Respecto a visibilidad de parada.

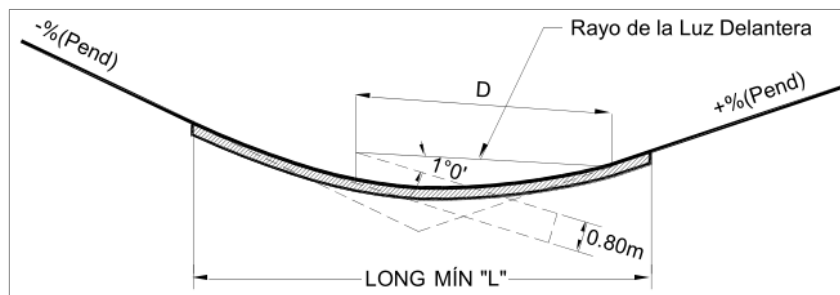
La longitud de las curvas verticales cóncavas depende de $\langle D = D_p \rangle$ (distancia del vehículo y el punto dónde con un $\approx 1^\circ$, los rayos de luz de los faros, interseca a la rasante), se determina con las siguientes fórmulas:

$$L = \frac{A(D_p)^2}{120 + 3.5D_p} \Rightarrow \{D_p < L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.23}]$$

$$L = 2D_p - \frac{120 + 3.5D_p}{A} \Rightarrow \{D_p > L\} \quad [\text{Ecu. 4.4.24}]$$

Dónde: Longitud de la curva (m) L
 Distancia..... D_p
 Diferencia algebraica de pendientes (%) A

Ilustración 4.4.10 – Long. mínimas de curvas verticales cóncavas



Fuente: DG 2018 – figura 303.08

$$L = \frac{A(V)^2}{395} \quad [\text{Ecu. 4.4.25}]$$

Dónde: Longitud de la curva vertical (m) L
 Velocidad de proyecto (km/h) V
 Diferencia de pendientes (%) A

4.4.6.4. Coordinación entre el diseño horizontal y el diseño vertical.

La independencia de los diseños en planta y en perfil es una simplificación que facilita el proyecto. Pero es necesario coordinar estos diseños para obtener un trazado conjunto que ofrezca al conductor seguridad, apariencia agradable, velocidad uniforme, y eficiente servicio.

4.4.7. SECCIÓN TRANSVERSAL.

4.4.7.1. Calzada.

■ Calzada en tangente.

Ilustración 4.4.11 – Detalle de sección transversal

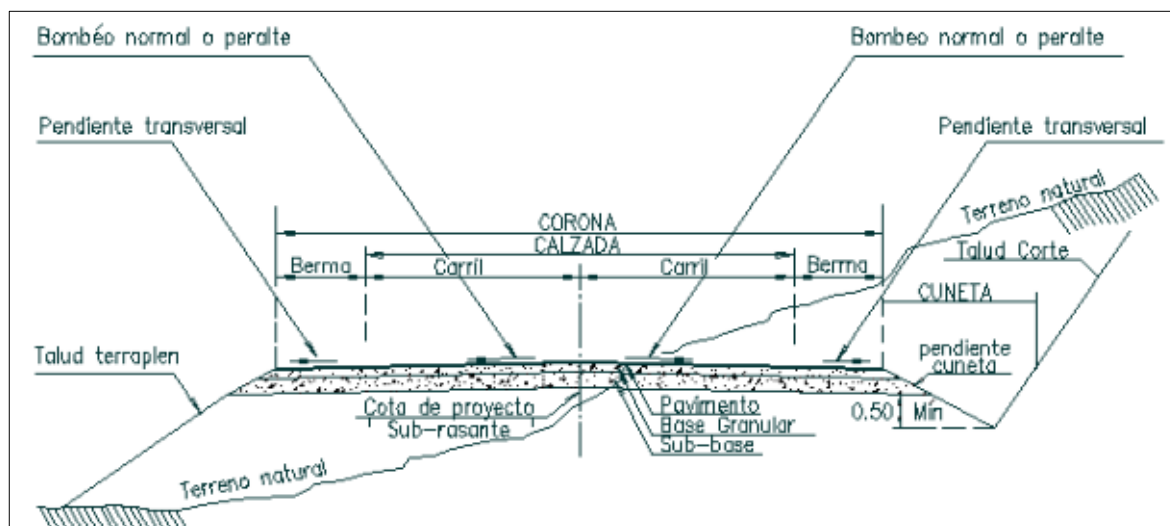


Tabla 4.4.19 – Anchos mínimos de calzada en tangente de carretera

	Clase	Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
		1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
Velocidad de diseño (V_d) (km/h)	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	6.0
	40	-	-	-	-	-	-	-	6.6	6.6	6.6	6.0	-
	50	-	-	7.2	7.2	-	-	6.6	6.6	6.6	6.6	6.0	-
	60	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	6.6	6.6	6.6	-	-
	70	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6	-	6.6	6.6	-	-
	80	7.2	7.2	7.2	-	7.2	7.2	-	-	6.6	6.6	-	-
	90	7.2	7.2	-	-	7.2	-	-	-	6.6	6.6	-	-
	100	7.2	-	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-	-
	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1° Plano ; 2° Ondulado ; 3° Accidentado ; 4° Escarpado

Fuente: DG 2018 – tabla 304.01

4.4.7.2. Bermas.

Es la franja longitudinal lateral de calzada, sirviendo como confinamiento de la capa de rodadura y también como zona de seguridad para vehículos que deseen estacionarse por razones de emergencia.

■ Ancho.

Tabla 4.4.20 – Anchos mínimos de calzada

Clase Orografía	Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
Veloc. de diseño $\langle V_d \rangle$ (km/h)	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5
	40	-	-	-	-	-	-	1.2	1.2	0.9	0.5	-
	50	-	-	2.6	2.6	-	-	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9
	60	3.0	3.0	2.6	2.6	2.0	2.0	1.2	1.2	1.2	1.2	-
	70	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.2	-	1.2	1.2	-
	80	3.0	3.0	3.0	-	2.0	2.0	-	-	1.2	1.2	-
	90	3.0	3.0	-	-	2.0	-	-	-	1.2	1.2	-
	100	3.0	-	-	-	2.0	-	-	-	-	-	-
	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1° Plano ; 2° Ondulado ; 3° Accidentado ; 4° Escarpado

Fuente: DG 2018 – tabla 304.02

■ Inclinación.

Tabla 4.4.21 – Pendientes transversales mínimas $\langle S_{l(mín)} \rangle$ de las bermas

Superficie de bermas	$\langle S_{l(mín)} \rangle$ (%)	
	Normal	Especial
Pavimentado o tratamiento	4	
Grava o afirmado	4 – 6 (*)	0 (**)
Césped	8	

Fuente: DG 2018 – figura 304.03

Notas: (*) El uso de cualquier valor dentro de este rango depende del lugar. Se usa valores mayores cuando vaya incrementándose la intensidad de lluvias.

(**) Cuando en curvas $\langle p = 8\% \rangle$ y la berma es exterior.

4.4.7.3. Bombeo.

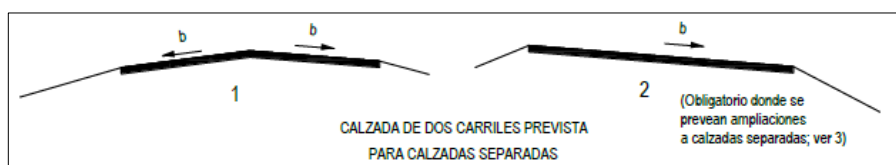
A las calzadas hay que proporcionarles una pendiente mínima, a ésta pendiente se le denomina bombeo, con el objeto de evacuar la lluvia. La inclinación está en función del tipo de superficie de rodadura y la intensidad de precipitaciones anuales $\langle P_a \rangle$

Tabla 4.4.22 – Bombeo $\langle B \rangle$

Precipitación anual $\langle P_a \rangle$ (mm/año)	$\langle P_a < 500 \rangle$	$\langle P_a > 500 \rangle$
Superficie	Bombeo $\langle S_b \rangle$ (%)	
Pavimento flexible o rígido	2	2.5
Tratamiento superficial	2.5	2.5 – 3.0
Afirmado	3.0 – 3.5	3.0 – 4.0

Fuente: DG 2018 – tabla 304.03

Ilustración 4.4.12 – Casos de bombeo



Fuente: DG 2018 – figura 304.04

4.4.7.4. Peralte.

Es la pendiente máxima transversal en curvas horizontales, proyectadas para contrarrestar las fuerzas centrífugas vehiculares.

■ Peraltes máximos y mínimos.

Tabla 4.4.23 – Peralte máximo $\langle p_{m\acute{a}x} \rangle$

Ubicación	$\langle p_{m\acute{a}x} \rangle$ (%)	
	Absoluto	Normal
Atravesamiento de zonas urbanas	6.0	4.0
Zona rural (Terreno plano, ondulado accidentado)	8.0	6.0
Zona rural (Terreno accidentado o escarpado)	12.0	8.0
Zona rural con peligro de hielo	8.0	6.0

Fuente: DG 2018 – tabla 304.05

■ Desarrollo de transición desde el bombeo al peralte.

Cuando una sección en tangente pasa a una sección en curva, es necesario hacer el intercambio gradualmente desde la inclinación del bombeo al peralte en curva.

En caso de no tener espirales, la longitud de transición del peralte se distribuirá entre la tangente y la curva.

Tabla 4.4.24 – Proporción del peralte (p)

Peralte (p) (%)	$p < 4.5$	$4.5 < p < 7$	$p > 7$
Proporción	$0.5(p)$	$0.7(p)$	$0.8(p)$

Fuente: DG 2018 – tabla 304.07

4.4.7.5. Taludes.

Son las diferentes inclinaciones del terreno en función al tipo de suelo tanto en zona de corte y relleno. Las secciones en corte.

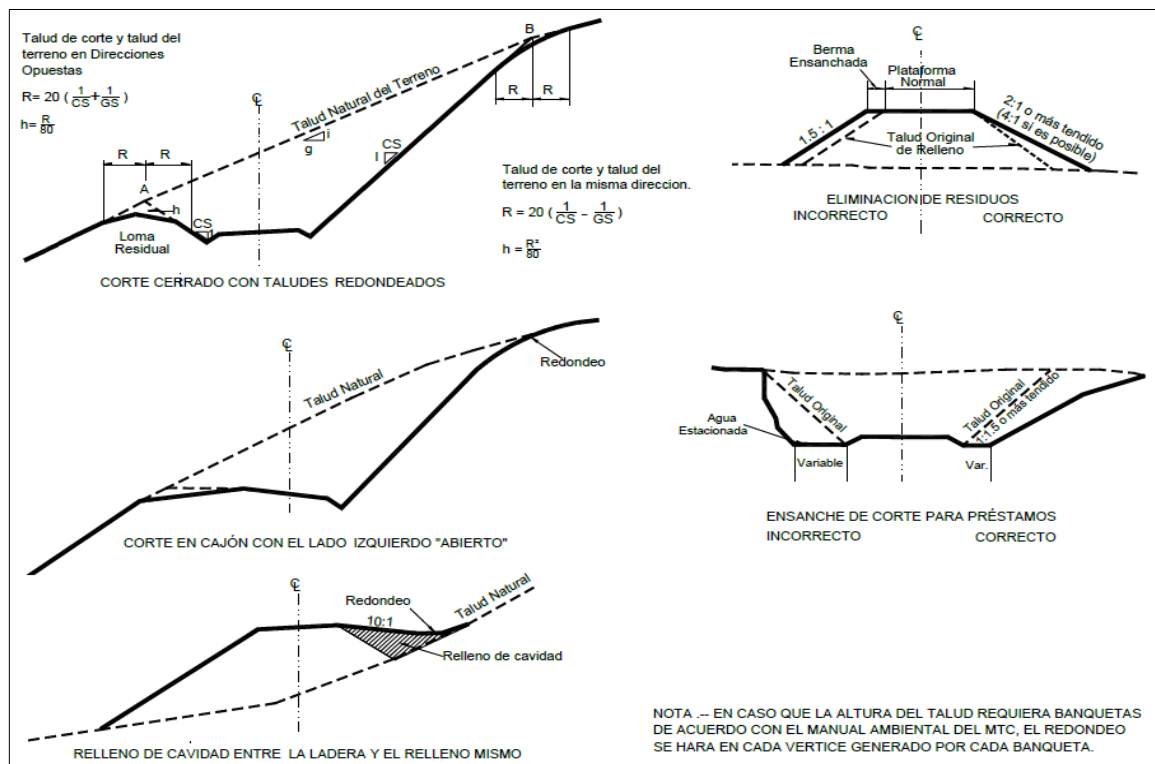
Tabla 4.4.25 – Valores referenciales para taludes en corte

Clase de terreno	Taludes (V:H)		
	$h < 5$	$5 \leq h \leq 10$	$10 <$
Roca Fija	1:10	1:10	1:8
Roca Suelta	1:6 – 1:4	1:4 – 1:2	1:2
Grava	1:1 – 1:3	1:1	(*)
Limo arcilloso o arcilla	1:1	1:1	(*)
Arenas	2:1	(*)	(*)

(*) Requiere Banqueta o análisis de estabilidad

Fuente: DG 2018 – tabla 304.10

Ilustración 4.4.13 – Sección transversal típica en tangente



Fuente: DG 2018 – figura 304.07

Tabla 4.4.26 – Taludes referenciales en zonas de relleno

Materiales	Taludes $(V:H)$		
	$h < 5$	$5 \leq h \leq 10$	$10 <$
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1.5	1:1.75	1:2
Arena	1:2	1:2.25	1:2.5
Enrocado	1:1	1:1.25	1:1.5

Fuente: DG 2018 – tabla 304.11

4.4.8. CÁLCULO DE DISEÑO GEOMÉTRICO.

■ Clasificación de carretera.

Clasificación por demanda.

Conteo vehicular IMDa $IMDa = 130$ veh/día

Clasificación de tipo de vía Carretera – Tercera clase

Para el presente diseño se hará con los parámetros de una carretera de segunda clase por ser pavimentada

Descripción de cada uno de componentes de la vía clasificada.

N° de Carriles 2

Ancho mínimo de carril $a = 3.60$ m

Superficie de rodadura Pavimento flexible

Clasificación por orografía.

Los datos de pendiente, se extraen desde las pendientes asignadas en la superficie a lo largo de la vía en el SOFTWARE Autodesk Civil 3D.

Clasificación Terreno ondulado (Tipo 2)

4.4.8.1. Criterios y controles básicos.

■ Vehículos de diseño.

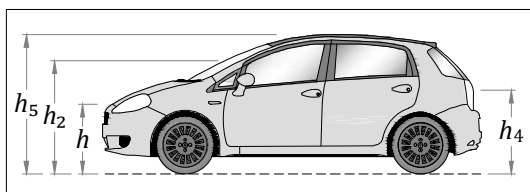
Vehículo ligero.

Vehículo de diseño para distancias de velocidad paso y adelantamiento.

Tipo de vehículo Vehículo ligero (VL)

Aplicación de diseño Distancia de visibilidad

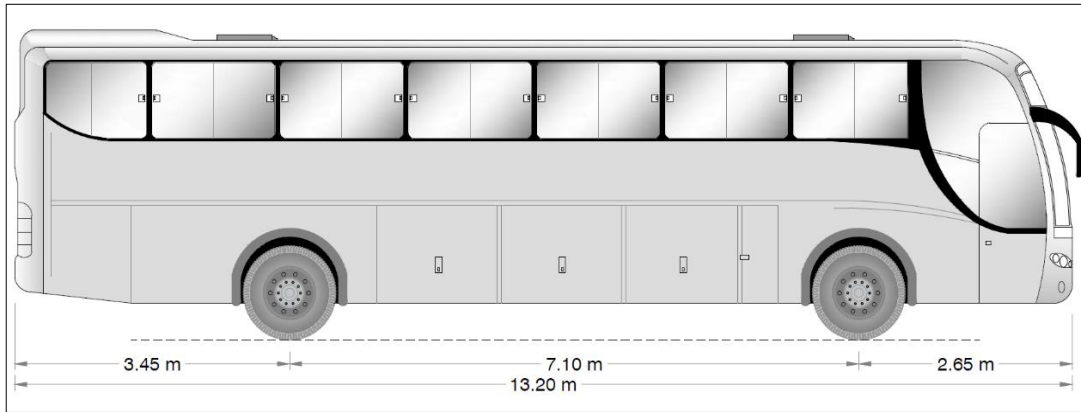
Ilustración 4.4.14 – Vehículo ligero



■ **Vehículo de diseño.**

Tipo de vehículo Ómnibus de dos ejes (B₂)
 Aplicación de diseño Velocidad de diseño

Ilustración 4.4.15 – Vehículo de diseño para volteo



■ **Giro mínimo de vehículos.**

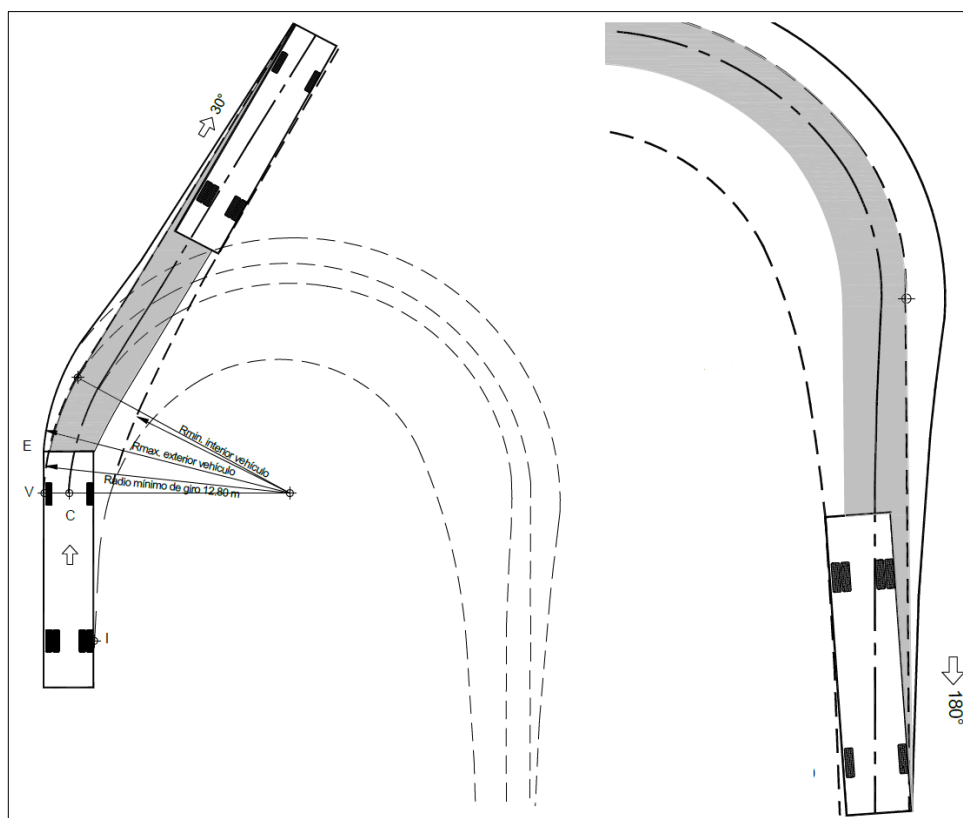
Según la elección de tipo de vehículo utilizado para la velocidad de diseño podemos encontrar valores para radios máximo y mínimos como también ángulos de dirección.

Tabla 4.4.27 – Radios y ángulos del vehículo de diseño

$\langle \alpha \rangle$ Volteo	$\langle R_{m\acute{a}x} \rangle$ (m)		$\langle \alpha_{m\acute{a}x} \rangle$
	$\langle R_{m\acute{a}x} \rangle$	$\langle R_{m\acute{i}n} \rangle$	
30°	13.76	10.17	20.2°
60°	14.09	8.68	30°
90°	14.24	7.96	34.9°
120°	14.31	7.59	37.4°
150°	14.35	7.4	38.7°
180°	14.37	7.3	39.3°

Fuente: DG 2018 – tabla 202.03

Ilustración 4.4.16 – Giro mínimo del vehículo de diseño



Fuente: DG 2018 – figura 202.07, 202.12

■ **Resumen.**

Dimensiones según tipo de vehículos.

Tabla 4.4.28 – Datos básicos de los vehículos de tipo M

Tipo de vehículo	Dimensiones (m)								
	Totales			Separación		vuelos			$\langle R_{min} \rangle$ exterior rueda
	Alto	Ancho	Larg	Ancho	Largo	Lat.	Del.	Tras.	
Camión (C2)	4.1	2.6	9.1	2.6	6.10	-	1.2	0.8	12.8
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.1	2.6	13.2	2.6	8.25	-	2.3	2.65	12.8

Fuente: DG 2018 – tabla 202.01

Tabla 4.4.29 – Pesos y medidas máximas permitidas

Código	Descripción	$\langle L_{máx} \rangle$ (m)	Peso máximo (tn)					Bruto
			Ejes delanteros	Ejes posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2	Camión	12.30	7.00	11.00	-	-	-	18.00
B2	Ómnibus de dos ejes	13.20	7.00	11.00	-	-	-	18.00

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos Pág. 78

■ **Velocidad de diseño.**

En tramo homogéneos.

Clasificación según demanda de tráfico Carreteras – segunda clase

Clasificación según orografía Terreno ondulado (tipo 2)

Rangos de velocidad de diseño [Tabla 4.4.5] $V_d = (60 - 80)$ km/h

4.4.8.2. Diseño geométrico en planta.

■ **Poligonal base.**

Se inicia trazado la poligonal abierta en software AutoCAD CIVIL 3D para el diseño geométrico proyectado a lo largo de la carreta actual, así podemos obtener los datos de la geometría de la poligonal la cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4.4.30 – Geometría de vértices de poligonal base

V	Pi	I	Δ°	Δ	E	N
I		-	-	-	725,014.086	9104204.93
1	1	D	91°31'23"	91.523	724,921.329	9104692.40
2	2	I	54°40'16"	54.671	725,158.319	9104731.00
3	3	D	46°45'43"	46.762	725,272.902	9104965.12
4	4	I	65°52'33"	65.876	727,852.463	9105761.62
5	5	D	73°42'59"	73.717	727,868.273	9105891.04
6	6	D	17°40'59"	17.683	728,111.763	9105930.99
7	7	I	14°12'21"	14.206	728,247.819	9105910.99
8	8	I	20°40'24"	20.673	728,365.561	9105923.03
9	9	I	12°19'10"	12.319	728,512.133	9105996.16
10	10	D	24°29'51"	24.497	728,741.269	9106180.61
11	11	I	8°34'02"	8.567	729,005.048	9106248.03
12	12	D	43°05'47"	43.096	729,102.272	9106289.11
13	13	I	21°37'15"	21.621	729,747.084	9106051.96
14	14	I	3°30'51"	3.514	729,921.164	9106056.31
15	15	I	9°59'58"	9.999	730,135.431	9106074.84
16	16	D	3°31'10"	3.519	730,307.050	9106120.64
17	17	D	2°54'15"	2.904	730,545.489	9106168.81
19	19	D	84°25'38"	84.427	730,734.551	9106200.32
20	20	I	22°37'11"	22.620	730,748.551	9106156.45
21	21	I	71°15'49"	71.264	730,809.789	9106084.29
22	22	D	17°03'47"	17.063	731,032.581	9106172.43
23	23	I	4°09'52"	4.164	732,579.865	9106294.74
24	24	I	74°29'35"	74.493	732,794.211	9106327.48
25	25	D	88°34'59"	88.583	732,805.454	9106421.45
26	26	D	5°51'40"	5.861	732,913.720	9106411.21
27	27	I	10°43'19"	10.722	733,122.360	9106369.64
28	28	D	7°02'58"	7.049	733,225.126	9106368.66

V	Pi	I	Δ°	Δ	E	N
29	29	I	31°16'12"	31.270	733,493.323	9106332.90
30	30	D	31°58'39"	31.977	733,595.301	9106377.62
31	31	I	28°39'36"	28.660	733,671.611	9106366.48
32	32	D	17°06'11"	17.103	733,729.102	9106387.81
33	33	I	38°46'58"	38.783	733,879.201	9106396.35
34	34	D	51°20'41"	51.345	733,947.710	9106444.85
F	-	-	-	-	734,048.095	9106415.97

Tabla 4.4.31 – Geometría de lados y orientacion de poligonal base

N°	Tramo	$\langle L \rangle$	A - Δ°	A - Δ	Rumbo
1	1 -1	496.22	48°02'24"	48.250	N48°02'24"W
2	1 -2	240.11	48°02'24"	49.250	N48°02'24"W
3	2 -3	260.65	48°02'24"	50.250	N48°02'24"W
4	3 -4	2,699.73	48°02'24"	51.250	N48°02'24"W
5	4 -5	130.38	48°02'24"	52.250	N48°02'24"W
6	5 -6	246.75	48°02'24"	53.250	N48°02'24"W
7	6 -7	137.52	48°02'24"	54.250	N48°02'24"W
8	7 -8	118.36	48°02'24"	55.250	N48°02'24"W
9	8 -9	163.80	48°02'24"	56.250	N48°02'24"W
10	9 -10	294.16	48°02'24"	57.250	N48°02'24"W
11	10 -11	272.26	48°02'24"	58.250	N48°02'24"W
12	11 -12	105.55	48°02'24"	59.250	N48°02'24"W
13	12 -13	687.04	48°02'24"	60.250	N48°02'24"W
14	13 -14	174.13	48°02'24"	61.250	N48°02'24"W
15	14 -15	215.07	48°02'24"	62.250	N48°02'24"W
16	15 -16	177.62	48°02'24"	63.250	N48°02'24"W
17	16 -17	243.26	48°02'24"	64.250	N48°02'24"W
18	17 -19	191.67	48°02'24"	65.250	N48°02'24"W
19	19 -20	46.05	48°02'24"	66.250	N48°02'24"W
20	20 -21	94.64	48°02'24"	67.250	N48°02'24"W
21	21 -22	239.59	48°02'24"	68.250	N48°02'24"W
22	22 -23	1,552.11	48°02'24"	69.250	N48°02'24"W
23	23 -24	216.83	48°02'24"	70.250	N48°02'24"W
24	24 -25	94.64	48°02'24"	71.250	N48°02'24"W
25	25 -26	108.75	48°02'24"	72.250	N48°02'24"W
26	26 -27	212.74	48°02'24"	73.250	N48°02'24"W
27	27 -28	102.77	48°02'24"	74.250	N48°02'24"W
28	28 -29	270.57	48°02'24"	75.250	N48°02'24"W
29	29 -30	111.35	48°02'24"	76.250	N48°02'24"W
30	30 -31	77.12	48°02'24"	77.250	N48°02'24"W
31	31 -32	61.32	48°02'24"	78.250	N48°02'24"W
32	32 -33	150.34	48°02'24"	79.250	N48°02'24"W
33	33 -34	83.94	48°02'24"	80.250	N48°02'24"W
34	34 -F	104.46	48°02'24"	48.250	N48°02'24"W

■ **Tramos en tangente.**

En la siguiente tabla se muestran las longitudes máximas y mínimas de diseño de según [Tabla 4.4.9]:

Tabla 4.4.32 – Longitudes consideradas de tramos en tangente

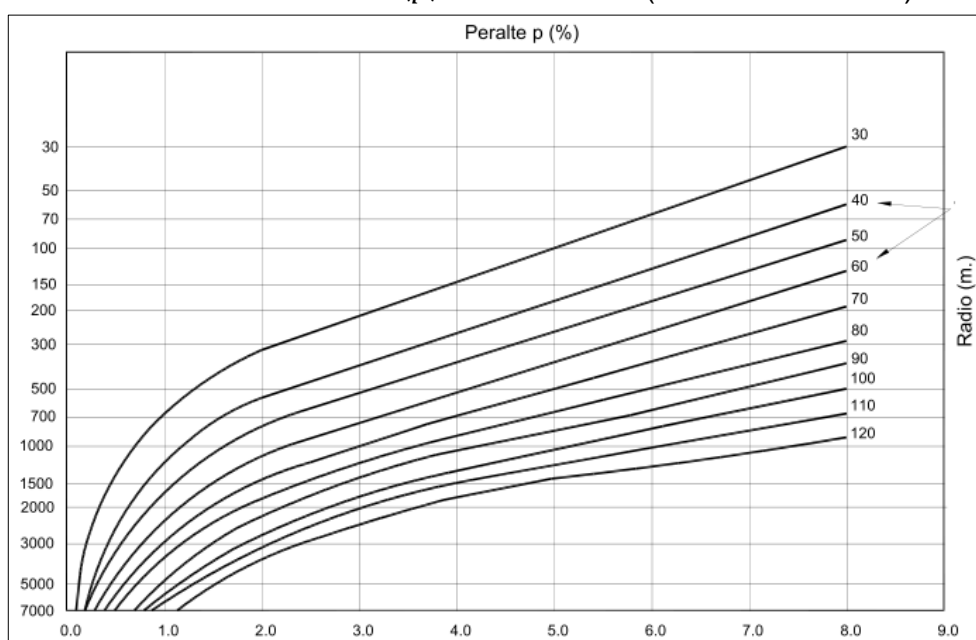
N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	Longitudes (m)		
		$\langle L_{mín.s} \rangle$	$\langle L_{mín.o} \rangle$	$\langle L_{máx} \rangle$
1	40	56	111	668
2	50	69	139	835
3	60	83	167	1002
4	70	97	194	1169

■ **Peralte máximo.**

Ubicación de vía Área rural (Tipo 1, 2, 3)

Según la ubicación de la vía, a continuación, se muestra el siguiente gráfico, para obtener el peralte parcial correspondiente al radio de curvatura.

Gráfico 4.4.1 – Peralte $\langle p \rangle$ en Área rural (Plano u ondulada)



Fuente: DG 2018 – figura 302.04

Peralte máximo $p_{máx} = 8.00 \%$

■ **Radio mínimos.**

Ubicación de la vía [Tabla 4.4.10] Área rural (plano u ondulada)

Peralte máximo $p_{máx} = 8.00 \%$

Radio mínimo [Ecu. 4.4.4] (m) $R_{mín} = \frac{v^2}{127 (p_{máx} + f_{máx})}$

Tabla 4.4.33 – Radios mínimos $\langle R_{mín} \rangle$ consideradas

N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle p_{máx} \rangle$ (%)	$\langle f_{máx} \rangle$	$\langle R_{mín} \rangle$ (m)	
				Calculado	Entero
1	30	8.00	1.17	28.3	30
2	40	8.00	0.17	50.40	55
3	50	8.00	0.16	82.00	85
4	60	8.00	0.15	123.20	125
5	70	8.00	0.14	175.40	175

A continuación, se calcula la geometría de curvas.

Radio mínimo [Tabla 4.4.33] (m) $R_{mín}$

Radio elegido R

Peralte: Peralte inicial $p_i = 2.00$ %

Peralte (%) p

Inclinación máxima [Ecu. 4.4.12] (%) $ip_{máx} = 1.8 - 0.01(V_d)$

Ancho de carril $a = 3.00$ m

Distancia del borde de la calzada al eje de giro de peralte $B = a = 3.60$ m

Longitud de peralte: Mínima [Ecu. 4.4.13] (m) $L_{p(mín)} = \left(\frac{p-p_i}{ip_{máx}} \right) B$

Elegida (m) L_p

Tabla 4.4.34 – Calculo de inclinación y longitud de transición de peraltes

N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	Radio (m)		Peralte (%)		Longitud (m)	
		$\langle R_{mín} \rangle$	$\langle R \rangle$	$\langle p \rangle$	$\langle ip_{máx} \rangle$	$\langle L_{p(mín)} \rangle$	$\langle L_p \rangle$
1	40	55	60	7.95	1.40	22	22
2	50	85	130	6.9	1.30	21	21
3	60	135	150	7.5	1.20	24	24
4	30	30	40	8	1.50	20	20
5	30	30	40	8	1.50	20	20
6	70	175	250	7.2	1.10	26	26
7	70	175	250	7.2	1.10	26	26
8	70	175	250	7.2	1.10	26	26
9	70	175	300	6.6	1.10	24	24
10	70	175	250	7.2	1.10	26	26
11	70	175	300	6.6	1.10	24	24
12	40	55	90	6.9	1.40	20	20
13	70	175	200	7.8	1.10	27	27
14	70	175	600	4.4	1.10	18	18
15	70	175	600	4.4	1.10	18	18
16	70	175	600	4.4	1.10	18	18
17	70	175	750	3.7	1.10	16	16
19	5	-	-	-	-	-	-

N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	Radio (m)		Peralte (%)		Longitud (m)	
		$\langle R_{mín} \rangle$	$\langle R \rangle$	$\langle p \rangle$	$\langle ip_{máx} \rangle$	$\langle L_{p(mín)} \rangle$	$\langle L_p \rangle$
20	5	-	-	-	-	-	-
21	5	-	-	-	-	-	-
22	70	175	250	7.2	1.10	26	26
23	50	85	600	2.7	1.30	11	11
24	20	-	-	-	-	-	-
25	10	-	-	-	-	-	-
26	40	55	600	1.85	1.40	9	9
27	40	55	300	3.65	1.40	13	13
28	40	55	300	3.65	1.40	13	13
29	40	55	150	5.5	1.40	17	17
30	40	55	150	5.5	1.40	17	17
31	40	55	80	7.2	1.40	20	20
32	40	55	70	7.5	1.40	21	21
33	40	55	70	7.5	1.40	21	21
34	30	30	50	6.7	1.50	18	18

■ **Espirales.**

Peralte máximo $p_{máx} = 8.00 \%$

Variación uniforme de aceleración [Tabla 4.4.16] $J = 0.05 \text{ m/s}^3$

Parámetro mínimo [Ecu. 4.4.8] (m) $A_{mín} = \sqrt{\frac{V_d(R_{mín})}{46.656(J)} \left(\frac{(V_d)^2}{R_{mín}} - 1.27(p_{máx}) \right)}$

Longitud (m): Mínima [Ecu. 4.4.9] $L_{e(mín)}$

$$L_{e(mín)} = \frac{V_d}{46.656(J)} \left(\frac{(V_d)^2}{R} - 1.27p \right) \Rightarrow \{L_{e(mín)} \geq 30\}$$

Longitud de espiral de entrada $L_{e(e)}$

Longitud de espiral de salida $L_{e(s)}$

Condiciones (m) 1° $\langle L_e \geq 30 \rangle$; 2° $\langle L_e \leq 1.5L_e \rangle$; 3° $\langle R/3 \leq A \leq R \rangle$

Radios para prescindir de espirales [Tabla 4.4.17] (m) R_{pe}

Tabla 4.4.35 – Cálculo de espirales

N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle R \rangle$ (m)	$\langle L_{e(mín)} \rangle$ (m)	Parámetros (m)			Espiral (m)		$\langle R_{pe} \rangle$ (m)
				$\langle A_{mín} \rangle$	$\langle 1.5L_{e(mín)} \rangle$	$\langle R/3 \rangle$	$\langle L_{e(e)} \rangle$	$\langle L_{e(s)} \rangle$	
1	40	60	30.00	41.29	45.00	20.00	30	30	95
2	50	130	30.00	54.01	45.00	43.33	35	35	150
3	60	150	37.30	74.73	55.95	50.00	40	40	210
4	30	40	30.00	25.19	45.00	13.33	30	30	55
5	30	40	30.00	25.19	45.00	13.33	30	30	55
6	70	250	31.40	88.57	47.10	83.33	35	35	290
7	70	250	31.40	88.57	47.10	83.33	35	35	290
8	70	250	31.40	88.57	47.10	83.33	30	30	290
9	70	300	-	-	-	-	-	-	290
10	70	250	31.40	88.57	47.10	83.33	35	35	290
11	70	300	-	-	-	-	35	35	290
12	40	90	-	-	-	-	40	40	95
13	70	200	43.80	93.59	65.70	66.67	45	45	290
14	70	600	-	-	-	-	-	-	-
15	70	600	-	-	-	-	-	-	-
16	70	600	-	-	-	-	-	-	-
17	70	750	-	-	-	-	-	-	-
19	5	15	-	-	-	-	-	-	-
20	5	40	-	-	-	-	-	-	-
21	5	20	-	-	-	-	-	-	-
22	70	250	31.40	88.57	47.10	83.33	35	35	290
23	50	600	-	-	-	-	-	-	-
24	20	30	30.00	13.40	45.00	10.00	30	30	-
25	10	30	-	-	-	-	-	-	-
26	40	600	-	-	-	-	-	-	-
27	40	300	-	-	-	-	-	-	-
28	40	300	-	-	-	-	-	-	-
29	40	150	-	-	-	-	-	-	-
30	40	150	-	-	-	-	-	-	-
31	40	80	-	-	-	-	-	-	-
32	40	70	-	-	-	-	-	-	-
33	40	70	-	-	-	-	-	-	-
34	30	50	-	-	-	-	-	-	-

■ **Elementos de curva:**

Se calcula mediante las fórmulas de [Ilustración 4.4.1], sin embargo se puede extraer desde el software AutoCAD CIVIL 3D

Tabla 4.4.36 – Cálculo de espirales

N°	S	Ángulo		Longitudes (m)					
		(gra)	(dec)	$\langle R \rangle$	$\langle T \rangle$	$\langle L \rangle$	$\langle c \rangle$	$\langle e \rangle$	$\langle m \rangle$
1	D	91°31'23"	91.52	60	36.68	65.84	62.59	10.32	8.81
2	I	54°40'16"	54.67	130	46.35	89.05	87.31	8.02	7.55
3	D	46°45'43"	46.76	150	42.28	82.42	81.39	5.84	5.63
4	I	65°52'33"	65.88	40	8.10	15.99	15.88	0.81	0.80
5	D	73°42'59"	73.72	40	11.00	21.46	21.21	1.48	1.43
6	D	17°40'59"	17.68	250	21.13	42.16	42.11	0.89	0.89
7	I	14°12'21"	14.21	250	13.51	26.98	26.97	0.36	0.36
8	I	20°40'24"	20.67	250	30.25	60.21	60.06	1.82	1.81
9	I	12°19'10"	12.32	300	32.38	64.50	64.38	1.74	1.73
10	D	24°29'51"	24.50	250	36.20	71.89	71.64	2.61	2.58
11	I	8°34'02"	8.57	300	4.93	9.86	9.86	0.04	0.04
12	D	43°05'47"	43.10	90	13.96	27.70	27.59	1.08	1.06
13	I	21°37'15"	21.62	200	15.27	30.47	30.44	0.58	0.58
14	I	3°30'51"	3.51	600	18.41	36.80	36.79	0.28	0.28
15	I	9°59'58"	10.00	600	52.49	104.71	104.58	2.29	2.28
16	D	3°31'10"	3.52	600	18.43	36.86	36.85	0.28	0.28
17	D	2°54'15"	2.90	750	19.01	38.01	38.01	0.24	0.24
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	D	84°25'38"	84.43	15	13.61	22.10	20.16	5.25	3.89
20	I	22°37'11"	22.62	40	8.00	15.79	15.69	0.79	0.78
21	I	71°15'49"	71.26	20	14.34	24.88	23.30	4.61	3.74
22	D	17°03'47"	17.06	250	19.77	39.45	39.41	0.78	0.78
23	I	4°09'52"	4.16	600	21.82	43.61	43.60	0.40	0.40
24	I	74°29'35"	74.49	30	4.54	9.00	8.97	0.34	0.34
25	D	88°34'59"	88.58	30	29.27	46.38	41.90	11.91	8.53
26	D	5°51'40"	5.86	600	30.72	61.38	61.35	0.79	0.78
27	I	10°43'19"	10.72	300	28.15	56.14	56.06	1.32	1.31
28	D	7°02'58"	7.05	300	18.48	36.91	36.89	0.57	0.57
29	I	31°16'12"	31.27	150	41.98	81.87	80.85	5.76	5.55
30	D	31°58'39"	31.98	80	22.92	44.65	44.07	3.22	3.09
31	I	28°39'36"	28.66	70	17.88	35.02	34.65	2.25	2.18
32	D	17°06'11"	17.10	70	10.53	20.90	20.82	0.79	0.78
33	I	38°46'58"	38.78	40	14.08	27.08	26.56	2.41	2.27
34	D	51°20'41"	51.35	50	24.03	44.81	43.32	5.48	4.94

■ **Sobrancho:**

Número de carriles $c = 2$ carriles

Vehículo [Tabla 4.4.5]: Vehículo de giro Ómnibus de dos ejes (B₂)

Longitud total $L = 13.20$ m

Longitud trasero $l_t = 2.65$ m

Longitud de eje posterior hacia adelante l

$$l = L - l_t = 10.55 \text{ m}$$

Sobrancho [Ecu. 4.4.15] (m) $S_a = c(R - \sqrt{R^2 - (l_a)^2}) + \frac{V_d}{10\sqrt{R}}$

Longitud de sobrancho: Entrada L_{t1}

Salida L_{t2}

Tabla 4.4.37 – Cálculo de sobrancho y longitudes de transición

N°	$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle R \rangle$ (m)	$\langle S_a \rangle$ (m)	Longitudes de transición (m)				
				$\langle L_p \rangle$	$\langle L_{e1} \rangle$	$\langle L_{e2} \rangle$	$\langle L_{t1} \rangle$	$\langle L_{t2} \rangle$
1	40	60	2.40	22	30	95	30	30
2	50	130	1.30	21	35	150	35	35
3	60	150	1.30	24	40	210	40	40
4	30	40	3.40	20	30	55	30	30
5	30	40	3.40	20	30	55	30	30
6	70	250	0.90	26	35	290	35	35
7	70	250	0.90	26	35	290	35	35
8	70	250	0.90	26	30	290	30	30
9	70	300	0.80	24	-	290	24	24
10	70	250	0.90	26	35	290	35	35
11	70	300	0.80	24	35	290	35	35
12	40	90	1.70	20	40	95	40	40
13	70	200	1.10	27	45	290	45	45
14	70	600	0.50	18	-	-	18	18
15	70	600	0.50	18	-	-	18	18
16	70	600	0.50	18	-	-	18	18
17	70	750	0.50	16	-	-	16	16
19	5	15	1.00	-	-	-	-	-
20	5	40	3.00	-	-	-	-	-
21	5	20	3.00	-	-	-	-	-
22	70	250	0.90	26	35	290	35	35
23	50	600	0.40	11	-	-	11	11
24	20	30	3.00	-	30	30	30	30
25	10	30	3.00	-	-	-	25	25
26	40	600	0.40	9	-	-	9	9
27	40	300	0.70	13	-	-	13	13
28	40	300	0.70	13	-	-	13	13
29	40	150	1.10	17	-	-	17	17
30	40	150	1.10	17	-	-	17	17
31	40	80	1.90	20	-	-	20	20
32	40	70	2.10	21	-	-	21	21
33	40	70	2.10	21	-	-	21	21
34	30	50	2.70	18	-	-	18	18

4.4.8.3. Cálculo geométrico en perfil.

A continuación, se considera los parámetros para calculo en perfil:

■ Pendientes longitudinales:

Pendiente: Mínima	$S_{l(mín)} = 0.50 \%$
Máxima [Tabla 4.4.18]	$S_{l(máx)} = 8.50 \%$
Diferencia algebraica de pendientes (%)	$A = S_{l1} - S_{l2} $

■ Forma de curvas verticales:

Curvas convexas	(—)
Curvas cóncavas	(—)

■ Distancia de visibilidad:

Parada analizada de ida (→) y vuelta (←) [Tabla 4.4.6] (m)	D_p
Paso o adelantamiento [Tabla 4.4.7] (m)	D_a

■ Longitud de curvas verticales:

Curvas convexas:

▪ Visibilidad de parada: $\langle D_p < L \rangle$	$L = \frac{A(D_p)^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{A(D_p)^2}{404}$
$\langle D_p > L \rangle$	$L = 2D_p - \frac{200 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} = 2D_p - \frac{404}{A}$
▪ Visibilidad de paso o adelantamiento: $\langle D_a < L \rangle$	$L = \frac{A(D_a)^2}{946}$
$\langle D_a > L \rangle$	$L = 2D_a - \frac{946}{A}$

Curvas cóncavas:

▪ Visibilidad de parada: $\langle D_p < L \rangle$	$L = \frac{A(D_p)^2}{120 + 3.5D_p}$
$\langle D_p > L \rangle$	$L = 2D_p - \frac{120 + 3.5D_p}{A}$

■ Simetría de curvas:

Simetría: Curvas simétricas "S"	$L = l_1 + l_2$
Curvas asimétricas "A"	$L = l_1 + l_2 \Rightarrow \{l_1 \neq l_2\}$

■ **Externa:**

Externa: Curvas simétricas "S" (m) $E = \frac{A \cdot L}{800}$

Curvas asimétricas "A" (m) $E = \frac{A(l_1 \cdot l_2)}{200(l_1 + l_2)}$

■ **Incremento:**

Incremento horizontal a cualquier punto:

▪ 1° rama desde PCv x

▪ 2° rama desde PTV x'

Curvas simétricas "S":

▪ Ordenada vertical en cualquier punto de 1° rama $y = (x)^2 \left(\frac{A}{200 \cdot L} \right)$

▪ Ordenada vertical en cualquier punto de 2° rama $y' = (x')^2 \left(\frac{A}{200 \cdot L} \right)$

Curvas asimétricas "A":

▪ Ordenada vertical en cualquier punto de 1° rama $y = E \left(\frac{x}{l_1} \right)^2$

▪ Ordenada vertical en cualquier punto de 2° rama $y' = E \left(\frac{x'}{l_2} \right)^2$

■ **Parámetro de curvatura:**

Parámetro de curvatura $K = \frac{L}{A}$

4.4.8.4. Cálculo geométrico en secciones transversales.

■ Ancho de bermas y calzada en tangente.

Tabla 4.4.38 – Anchos mínimos $\langle a_{mín} \rangle$ de calzadas y bermas

N°	1	2	3	4	5
$\langle V_d \rangle$ (km/h)	30	40	50	60	70
$\langle a_{mín} \rangle$ Calzada (m)	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60
$\langle a_{mín} \rangle$ berma (m)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

■ Inclinación de las bermas.

Superficie Pavimento asfáltico

Pendiente mínima de berma [Tabla 4.4.21] $S_{br(mín)} = 2.00 \%$

■ Bombeo.

Superficie Pavimento asfáltico

Precipitación anual $P_a = 450.23$ mm/año

Bombeo [Tabla 4.4.22] $S_b = 2.00 \%$

4.5. DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE.

4.5.1. GENERALIDADES.

4.5.1.1. Drenaje superficial.

■ Finalidad.

Es de distanciar o vaciar las aguas a lo largo de la carretera logrando de esta forma su estabilidad, durabilidad y transitividad en épocas de lluvia, evitando el deterioro total o parcial de una vía.

4.5.1.2. Parámetros hidráulicos.

■ Coeficiente de rugosidad.

A continuación, se muestran los coeficientes de rugosidad de Manning más comunes en canales.

Tabla 4.5.1 – Coeficiente de rugosidad de Manning (n)

Tipo de canal y descripción		Coeficientes				
		$\langle n_{\min} \rangle$	$\langle n \rangle$	$\langle n_{\max} \rangle$		
Conducto cerrados que fluyen parcialmente lleno	Metal	Latón, liso	0.009	0.010	0.013	
		Acero	Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
			Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
	Metal corrugado	Sub drenaje	0.017	0.019	0.021	
		Drenaje de agua de lluvia	0.021	0.024	0.030	
	No metal	Cemento	Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
			Mortero	0.011	0.013	0.015
		Concreto	Alcantarilla, recta y libre de basura	0.010	0.011	0.013
			Alcantarillas con curvas, conexiones	0.011	0.013	0.014
			Sin pulir encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
	Sin pulir encofrado en madreira rugosa	0.015	0.017	0.020		
	Mampostería de piedra comentada	0.018	0.025	0.030		
Canales revestidos y desarmables	Metal	Superficie lisa	Sin pintar	0.011	0.012	0.014
			Pintado	0.012	0.013	0.017
		Corrugado		0.021	0.025	0.030
	No metal	Cemento	Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
			Mortero	0.011	0.013	0.015
		Concreto	Terminada con llana metálica	0.011	0.013	0.015
			Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
			Pulido con grava en el fondo	0.015	0.015	0.020
		Sin pulir	0.014	0.017	0.020	
	Mampostería	Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030	
Piedra suelta		0.023	0.032	0.035		

Fuente: Ven Te Chow: Hidráulica de canales abiertos – tabla 5, 6

■ **Caudal máximo admisible.**

Formula de Manning.

$$Q_a = \frac{1}{n} (A)^3 \sqrt{R^2 \sqrt{S}} \quad [\text{Ecu. 4.5.1}]$$

Dónde: Caudal máximo admisible (m³/s) Q_a
 Coeficiente de rugosidad de Manning n
 Área hidráulica (m²) A
 Perímetro mojado (m) P
 Radio hidráulico (m) $R = \frac{A}{P}$
 Pendiente (m/m) S
 Condición $Q_a > Q_t$

■ **Velocidades máximas.**

La velocidad de flujo $\langle v \rangle$ debe limitarse para prevenir la erosión, sin reducirla tanto que pueda dar lugar a la sedimentación.

$$v = \frac{Q_a}{A} \quad [\text{Ecu. 4.5.2}]$$

Dónde: Velocidad de flujo (m/s) v
 Caudal máximo admisible (m³/s) Q_a
 Área hidráulica (m²) A

Tabla 4.5.2 – Velocidad máxima $\langle v_{m\acute{a}x} \rangle$

Tipo de superficie	$\langle v_{m\acute{a}x} \rangle$ (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50*
Concreto	4.50 – 6.00*

(*)Para flujos de muy corta duración

Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje – tabla 31

4.5.2. DISEÑO CUNETAS.

■ Generalidades.

Son zanjas hechas longitudinalmente, pueden ser: revestidas o sin revestir; se construyen al pie de los taludes, para de reunir, conducir y vaciar el flujo del agua superficial.

■ Periodos de retorno.

Caudal máximo teórico [Tabla] (m³/s) $Q_t = 40$ años

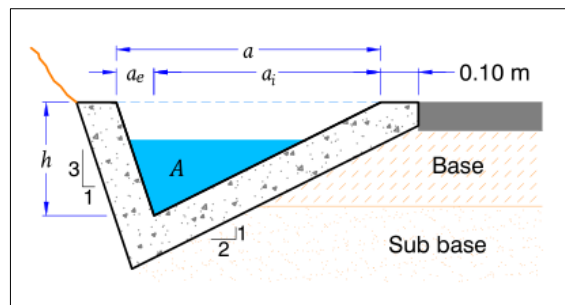
■ Caudal de Aporte.

Es el escurrimiento superficial proveniente de las superficies aledañas al camino (zona de corte) y de la plataforma del camino y se calcula utilizando el método racional.

Caudal máximo teórico (m³/s) $Q_{t(máx)} = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$

■ Forma.

Ilustración 4.5.1 – Diseño de cuenta rectangular



■ Inclinación

La inclinación del talud interior depende de las condiciones de seguridad de la velocidad de diseño (V_d) y volumen de diseño de la vía o ($IMDa$), se indica en la siguiente tabla:

Tabla 4.5.3 – Inclinación máxima de talud interior de cuneta

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	$\langle IMDa \rangle$ (veh/día)		
	< 750	750 >	
<70	1:2 1:3	Casos muy especiales	1:3
>70	1:3	-	1:4

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje – tabla 304.12

En el diseño, el talud exterior será conforme al tipo de inclinación del talud de corte.

■ **Dimensiones mínimas.**

Teniendo en cuenta las dimensiones mínimas recomendadas para las cunetas se muestran:

Tabla 4.5.4 – Dimensiones mínimas de cunetas de sección triangular

Región	Intensidad $\langle I \rangle$ (mm/año)	Profundidad $\langle h \rangle$ (m)	Ancho $\langle a \rangle$ (m)
Seca	<400	0.20	0.50
Lluviosa	400 – 1,600	0.30	0.75
Muy lluviosa	1,600 – 3,000	0.40	1.20
Muy lluviosa	3,000 <	0.30*	1.20

(*) Sección trapezoidal con ancho mínimo de fondo

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje – tabla 34

4.5.2.1. Cálculo de diseño de cunetas.

■ Caudales de aporte.

Coeficientes de rugosidad:	Talud de corte [Tabla 1.2.3]	$C_1 = 0.60$
	Carpeta de rodadura [Tabla 4.5.1]	$C_2 = 0.20$
Periodo de retorno [Tabla 1.23]		$T = 40$ años
Intensidad [Tabla 1.23]		$I = 13.25$ mm/h
Longitud de tramo (m)		L
Ancho tributario (m)	Terreno	a_1
	Carpeta de rodadura	a_2
Área tributaria (m ²):	Talud de corte	$A_1 = L \cdot a_1$
	Carpeta de rodadura	$A_2 = L \cdot a_2$
Caudal máximo teórico (l/s):	Talud de corte	$Q_{t(1)} = \frac{C_1 \cdot I \cdot A}{3.6}$
	Carpeta de rodadura	$Q_{t(2)} = \frac{C_2 \cdot I \cdot A}{3.6}$
	Total	$Q_t = Q_{t(1)} + Q_{t(2)}$

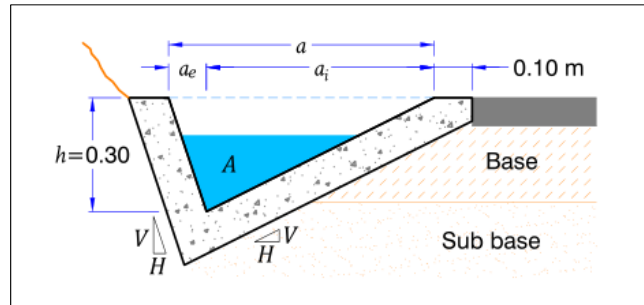
Tabla 4.5.5 – Caudales de aporte

N°	Progresivas (km+m)			$\langle L \rangle$ (m)	Terreno			Calzada			$\langle Q_t \rangle$ (l/s)
	Inicio	Final	Desc.		$\langle a_1 \rangle$ (m)	$\langle A \rangle$ (m ²)	$\langle Q_{t(1)} \rangle$	$\langle a_2 \rangle$ (m)	$\langle A \rangle$ (m ²)	$\langle Q_{t(2)} \rangle$	
1	9+000	9+500	9+000	500	100	50,000	65.44	3.60	1,800	1.05	66.48
2	9+590	10+000	9+590	410	100	41,000	53.66	3.60	1,476	0.86	54.52
				910							

Caudal máximo teórico $Q_{t(máx)} = 66.48$ l/s

■ **Cálculo de geometría de cuneta.**

Ilustración 4.5.2 – Dimensiones de cuneta triangular (Tipo I)

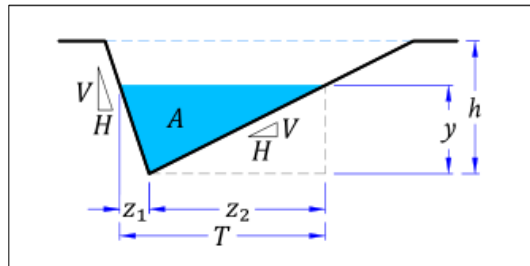


Datos.

- Talud de cuneta: Exterior $H:V = 1:3$
 Interior $H:V = 2:1$
- Altura de cuneta $h = 0.30 \text{ m}$
- Borde libre $b_l = 0.10 \text{ m}$
- Ancho de cuneta: Exterior $a_e = 0.60 \text{ m}$
 Interior $a_i = 0.10 \text{ m}$
 Ancho total ancho $a = a_i + a_e = 0.70 \text{ m}$

Relaciones geométricas.

Ilustración 4.5.3 – Relaciones geométricas para cuneta triangular (Tipo I)



- Tirante de agua $y = h - b_l = 0.30 - 0.1 = 0.20 \text{ m}$
- Ancho parcial exterior $z_1 = \frac{y}{V} = \frac{0.2}{3} = 0.07 \text{ m}$
- Ancho parcial interior $z_2 = H(y) = 2.5(0.2) = 0.40 \text{ m}$
- Espejo de agua $T = z_1 + z_2 = 0.07 + 0.4 = 0.47 \text{ m}$
- Área hidráulica $A = \frac{y(T)}{2} = \frac{0.2(0.47)}{2} = 0.047 \text{ m}^2$
- Perímetro mojado $P = \sqrt{z_1^2 + y^2} + \sqrt{z_2^2 + y^2}$

$$P = \sqrt{0.07^2 + 0.2^2} + \sqrt{0.40^2 + 0.2^2} = 0.66 \text{ m}$$

Radio hidráulico $R = \frac{A}{P} = \frac{0.047}{0.66} = 0.07 \text{ m}$

Tabla 4.5.6 – Resumen de relaciones geométricas de cunetas

Nº	$\langle y \rangle$ (m)	$\langle z_1 \rangle$ (m)	$\langle z_2 \rangle$ (m)	$\langle T \rangle$ (m)	$\langle A \rangle$ (m ²)	$\langle P \rangle$ (m)	$\langle R \rangle$ (m)
1	0.05	0.02	0.10	0.12	0.003	0.16	0.02
2	0.10	0.03	0.20	0.23	0.012	0.33	0.04
3	0.15	0.05	0.30	0.35	0.026	0.49	0.05
4	0.20	0.07	0.40	0.47	0.047	0.66	0.07

Consideraciones hidráulicas.

Pendiente (Nivel de rasante) Tramo 2 $S = 8.66 \%$

Coeficiente de rugosidad $n = 0.025$

Caudal máximo admisible [Ecu. 4.3.1]:

▪ Caudal máximo admisible $Q_a = \frac{1}{n} (A)^{3/2} \sqrt{S}$

$$Q_a = \frac{1}{0.013} (0.5)^{3/2} \sqrt{0.1^2 \cdot 0.02} = 1.169 \text{ m}^3/\text{s}$$

▪ Condición $\langle Q_a > Q_t \rangle$ $(1.169 > 0.411)$ [Cumple]

Velocidad de flujo [Tabla 4.5.2]:

▪ Velocidad de flujo $v = \frac{Q_a(\text{máx})}{A} = \frac{0.411}{0.5} = 0.82 \text{ m/s}$

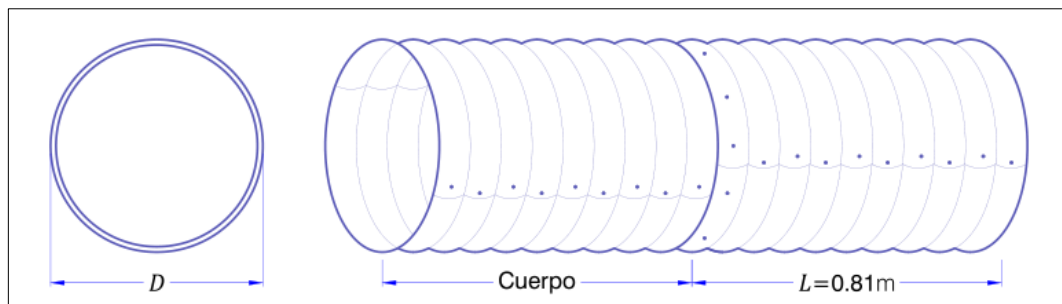
▪ Condición $\langle 0.25 < v < 2 \rangle$ $\langle 0.25 < 0.82 < 2 \rangle$ [Cumple]

4.5.3. DISEÑO DE ALIVIADEROS.

Son estructuras que sirven para drenar los cauces de agua que atraviesan el camino.

4.5.3.1. Consideraciones básicas.

Ilustración 4.5.4 – Forma y sección de alcantarilla TMC



■ Descripción.

Son elementos de acero corrugado y galvanizado, también conocidos como Tubería Metálica Corrugada (TMC), compuesto por anillos que se ensamblan en obra mediante pernos y tuercas de alta resistencia; este armado es sencillo y no requiere mano de obra especializada.

En el proyecto se utilizarán alcantarillas del tipo TMC de sección circular debido a la eficiencia en el drenaje de las aguas pluviales, buen comportamiento estructural y facilidad constructiva.

Tabla 4.5.7 – Diámetros y espesores de alcantarilla TMC

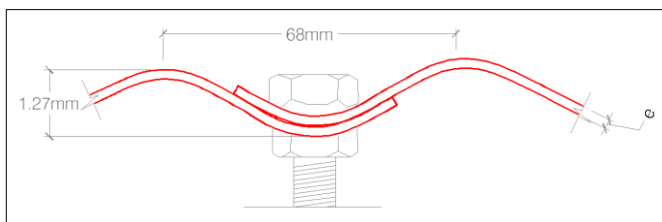
Diámetro (pulg)	24"	36"	48"	60"	72"
Diámetro (m)	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
Espesor (mm)	1.8	2	2.5	3	3.3, 3.5

Fuente: SIDERPERÚ

■ Dimensiones de la Corrug.

Las corrugas de las planchas deben formar curvas suaves continuas. La corruga está designada por el paso (distancia de cresta a cresta) y la profundidad de la corruga. Tal como se muestra en la Figura 1, el tamaño nominal de la corruga es (68x13 mm) para las alcantarillas TMC Minimultiplate SP MP-68.

Ilustración 4.5.5 – Dimensiones de la corruga



Fuente: SIDERPERÚ

■ Parámetros geométricos e hidráulicos.

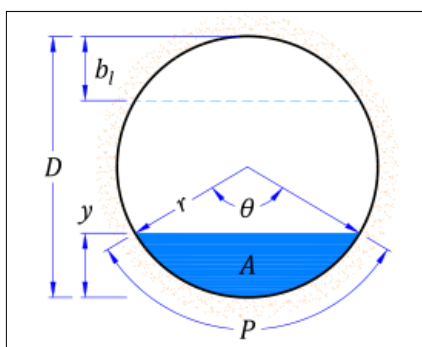
Las siguientes tablas muestra las principales propiedades geométricas, estructurales e hidráulicas de las alcantarillas TMC con diámetros comerciales (luz).

Tabla 4.5.8 – Propiedades de alcantarillas TMC

Luz (m)	Área (m ²)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Altura de relleno (m)		Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)
				Mínimo	Máximo		
0.6	0.28	1.80	36.98	0.3	26	0.54	2.14
0.9	0.64	2.00	56.14	0.3	19	1.59	2.8
1.2	1.13	2.50	90.96	0.3	18	2.93	3
1.5	1.77	3.00	133.6	0.3	17.5	4.75	3
1.8	2.54	3.50	175	0.3	16	6.34	2.82

■ Relaciones geométricas transversales.

Ilustración 4.5.6 – Sección transversal de alcantarilla TMC



Relaciones geométricas transversales en función al tirante (y).

Ángulo $\theta = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{2(y)}{D} \right)$

Área hidráulica $A = \frac{D^2(\theta - \sin \theta)}{8}$

Perímetro mojado $P = \frac{\theta D}{2}$

Radio hidráulico $R = \frac{A}{P} = \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \frac{D}{4}$

Espejo de agua $T = 2\sqrt{y(D - y)} = D \left(\sin \frac{\theta}{2} \right)$

4.5.4. DISEÑO DE BADENES.

4.5.4.1. Criterios de diseño.

- Tirante máximo de agua 30 cm.
- Borde libre recomendado 0.3 – 0.5 m.
- pendiente recomendada: Pendiente Longitudinal 5-10 % y transversal 2-3 %.
- Para hallar al caudal máximo admisible se debe utilizando la ecuación y coeficiente de rugosidad de Manning.

4.5.4.2. Juntas de Contracción.

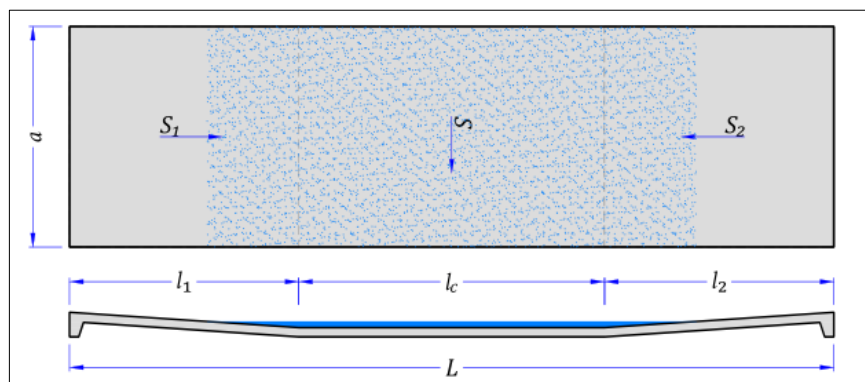
- La separación entre juntas $\langle S_{m\acute{a}x} = 24d = 4.56 \cong 5 \rangle$ m y debe estar en $\langle 3 \leq S = 4.5 \rangle$ m ; espesor de losa $\langle d \rangle$.
- La profundidad de la junta debe ser $\langle h_j = \frac{1}{4}(d) \rangle$ m aproximadamente.

4.5.4.3. Barras de unión.

Las barras de unión o conectores son varillas de acero corrugado y se colocan en las juntas longitudinales. Están diseñadas para mantener firmemente unidas las caras de losas colindantes soportando las fuerzas máximas de fricción entre la losa rígida y terreno de soporte. No actúan como dispositivos de transferencia de carga.

■ Forma.

Ilustración 4.5.7 – Forma de Badén en tramo recto



■ Capacidad máxima admisible.

Se calcula el caudal máximo admisible del conducto utilizando la ecuación de Manning

Caudal máximo admisible [Ecu. 4.3.1] (m³/s) $Q_a = \frac{1}{n} (A)^{\frac{2}{3}} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S}$

Condición $(Q_a > Q_t)$

■ **Velocidad del escurrimiento.**

Velocidad de flujo [Ecu. 4.5.2] (m/s) $v = \frac{Q_t}{A}$

Condición $(0.25 < v < 2)$

4.5.4.4. Cálculo de diseño de badenes.

Imagen 4.5.1 – Ubicación de proyección de badén



■ **Diseño hidráulico.**

Caudal de aporte.

Caudal máximo teórico $Q_{t(máx)} = 6.44 \text{ m}^3/\text{s}$

Forma trapezoidal.

Forma de posicionamiento en vía Tramo recto

Material de construcción Concreto simple

Progresiva km 9+554 m

Longitud $L = 40.0 \text{ m}$

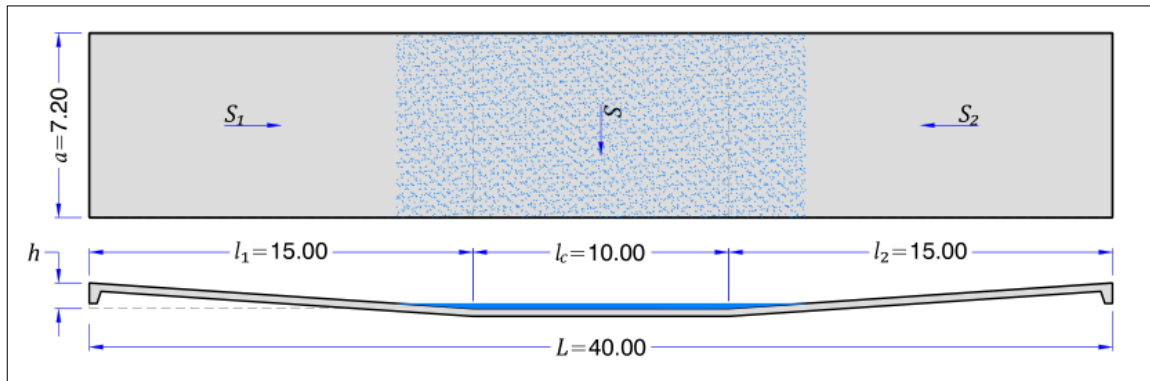
Profundidad del fondo $h_f = 0.90 \text{ m}$

Altura $h_f = 0.20 \text{ m}$

Borde libre $b_l = 0.30 \text{ m}$

Pendiente transversal $S = 2.00 \%$

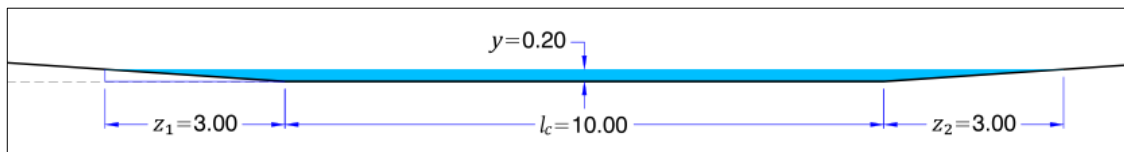
Ilustración 4.5.8 – Diseño en planta de Badén en tramo recto



Relaciones geométricas:

Longitud de lados: Inicial $l_1 = 15.0 \text{ m}$
 Final $l_2 = 15.0 \text{ m}$
 Central $l_c = L - l_1 - l_2 = 40 - 15 - 15 = 10.0 \text{ m}$
 Pendiente longitudinal: Primer lado $S_1 = 6.00 \%$
 Segundo lado $S_2 = 6.00 \%$

Ilustración 4.5.9 – Diseño en perfil de Badén en tramo recto



Tirante máxima de agua $y_{m\acute{a}x} = 0.25 \text{ m}$

Pendiente en lados: Primer lado $z_1 = \frac{y(l_1)}{h} = \frac{2.63(15)}{1} = 4.17 \text{ m}$

Segundo lado $z_2 = \frac{y(l_2)}{h} = \frac{2.63(15)}{1} = 4.17 \text{ m}$

Espejo de agua $T = z_1 + l_c + z_2 = 4.17 + 10 + 4.17 = 14.33 \text{ m}$

Área mojada $A = \frac{z_1(y)}{2} + l_c(y) + \frac{z_2(y)}{2} = \left(\frac{z_1+z_2}{2} + l_c\right) y$

$$A = \left(\frac{4.17+4.17}{2} + 10\right) 0.25 = 3.542 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado $P = \sqrt{(z_1)^2 + y^2} + l_c + \sqrt{(z_2)^2 + y^2}$

$$P = \sqrt{(4.17)^2 + (0.25)^2} + 10 + \sqrt{(4.17)^2 + (0.25)^2} = 18.35 \text{ m}$$

Radio hidráulico $R = \frac{A}{P} = \frac{15.25}{0.5} = 0.193 \text{ m}$

Tabla 4.5.9 – Resumen de valores de diseño

Nº	$\langle y \rangle$ (m)	$\langle z_1 \rangle$ (m)	$\langle z_2 \rangle$ (m)	$\langle T \rangle$ (m)	$\langle A \rangle$ (m ²)	$\langle P \rangle$ (m)	$\langle R \rangle$ (m)
1	0.06	1.04	1.04	12.08	0.690	12.09	0.057
2	0.13	2.08	2.08	6.17	1.510	14.17	0.107
3	0.19	3.13	3.13	12.25	2.461	16.26	0.151
4	0.25	4.17	4.17	14.33	3.542	18.35	0.193

Caudal de diseño.

Coeficiente de rugosidad $n = 0.013$

Caudal máximo admisible [Ecu. 4.3.1] $Q_a = \frac{1}{n} (A)^3 \sqrt{R^2} \sqrt{S}$

$$Q_a = \frac{1}{0.013} (3.542)^3 \sqrt{(0.193)^2} \sqrt{2.00} = 9.10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Condición $\langle Q_a > Q_t \rangle$ $(9.10 > 6.44)$ [Cumple]

Velocidad del escurrimiento.

Velocidad de flujo $v = \frac{Q_a}{A} = \frac{0.411}{0.5} = 2.57 \text{ m/s}$

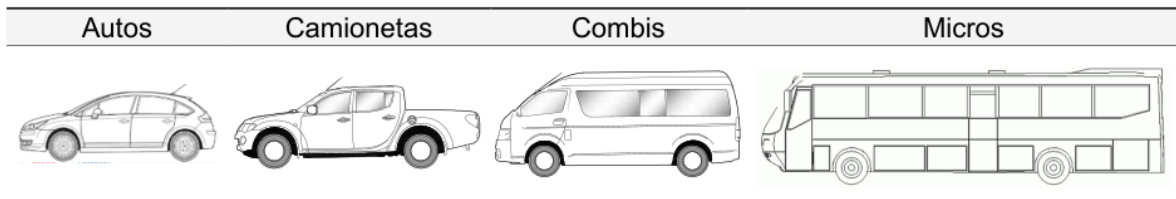
Condición $\langle 0.25 < v < 3 \rangle$ $\langle 0.25 < 2.57 < 3 \rangle$ [Cumple]

4.6. ESTUDIO DE TRÁFICO VIAL.

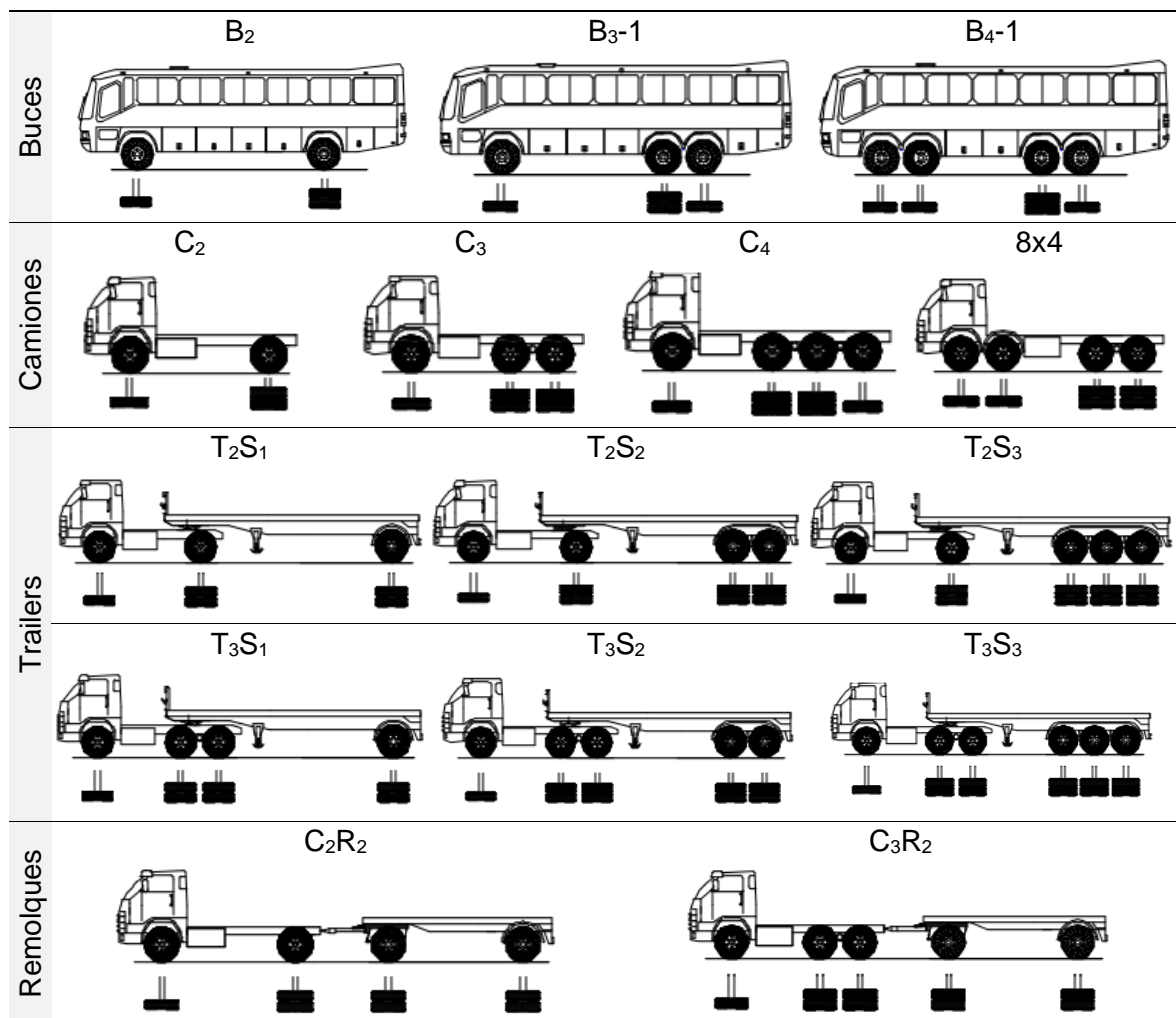
Comprende la contabilización de los diferentes tipos de vehículos que circulan por la vía, para poder determinar las intensidades de carga que nos permitirán determinar los espesores mínimos de la infraestructura de rodadura.

4.6.1. CONTEO VEHICULAR.

Cuadro 4.6.1 – Vehículos ligeros de diseño



Cuadro 4.6.2 – Vehículos pesados de diseño



Fuente: Reglamento nacional de vehículos – Pág. 78

4.6.2. FACTORES DE CORRECCIÓN ESTACIONAL $\langle f_c \rangle$

Se establece según el tráfico contabilizado por un peaje, para realizar una corrección y eliminar fluctuaciones de volumen de tráfico, que ocurren durante el año.

Para calcular $\langle f_c \rangle$ mensual, se obtiene la información brindada por (PROVÍAS Descentralizado), del Peaje que es el más cercano a la carretera de estudio Ubicada en la carretera Trujillo – Otuzco.

$$f_c = \frac{IMDa}{IMDm} \quad [\text{Ecu. 4.6.1}]$$

Dónde: Factor de corrección estacional f_c
 Índice medio diario anual $IMDa$
 Índice medio diario mensual $IMDm$

Tabla 4.6.1 – Factores de corrección estacional $\langle f_c \rangle$

Peaje	Vehículo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
calientes	Ligeros $\langle f_{c(l)} \rangle$	0.939	0.866	1.116	1.097	1.168	1.195	0.946	0.877	0.939	1.029	1.029	0.985	1.000
	Pesados $\langle f_{c(p)} \rangle$	0.939	0.866	1.116	1.097	1.168	1.195	0.946	0.877	0.939	1.029	1.029	0.985	1.000

Fuente: PROVÍAS Descentralizado

4.6.3. TRANSITO PROYECTADO.

$$t_n = t_o(1 + r)^{(n-1)} \quad [\text{Ecu. 4.6.2}]$$

Dónde: Transito proyectado (veh/día) t_n
 Tránsito anual actual o año base (veh/día)..... t_o
 Tasa anual de crecimiento..... r
 Tiempo de inicio de ejecución del proyecto n

Tabla 4.6.2 – Tasa de crecimiento de vehículos ligeros (r_l) y pesados (r_p)

Departamento	Tasas (%)		Departamento	Tasas (%)	
	$\langle r_l \rangle$	$\langle r_p \rangle$		$\langle r_l \rangle$	$\langle r_p \rangle$
Amazonas	0.62	3.42	Lambayeque	0.97	3.45
Ancash	0.59	1.05	Lima Provincia	1.45	3.07
Apurímac	0.59	6.65	Lima	1.45	3.69
Arequipa	1.07	3.37	Loreto	1.30	1.29
Ayacucho	1.18	3.60	Madre de Dios	2.58	1.98
Cajamarca	0.57	1.29	Moquegua	1.08	0.27
Callao	1.56	3.41	Pasco	0.84	0.36
Cusco	0.75	4.43	Piura	0.87	3.23
Huancavelica	0.83	2.33	Puno	0.92	3.21
Huánuco	0.91	3.85	San Martín	1.49	3.84
Ica	1.15	3.54	Tacna	1.50	2.88
Junín	0.77	3.90	Tumbes	1.58	2.60
La Libertad	1.26	2.83	Ucayali	1.51	2.77

Fuente: Informe Técnico

■ **Factor de crecimiento acumulado.**

$$f_{ca} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad [\text{Ecu. 4.6.3}]$$

Dónde: Factor de crecimiento acumulado f_{ca}
 Tasa anual de crecimiento del tránsito (%) (Tabla 4.6.2) r
 Tiempo de vida útil del pavimento (años) n

4.6.4. NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES.

Para el diseño de pavimento lo que predomina son las cargas de tráfico pesado.

Según (AASHTO) preciso como un Eje equivalente (E_e), desgaste del pavimento por un eje simple de dos ruedas con una carga de ($P=8.2$) tn.

Tabla 4.6.3 – Pesos $\langle P \rangle$ y medidas máximas permitidas

Vehículo	$\langle L_{máx} \rangle$ (m)	Pesos $\langle P \rangle$ (tn)					Peso bruto		
		E. delanteros		Ejes posteriores					
		1°	2°	1°	2°	3°			
Vehículos Ligeros	-	1	-	1	-	-	2.00		
Vehículos pesados	B ₂	12.3	-	-	18	-	-	18.0	
	Buces	B ₃₋₁	14.0	7	-	16	-	-	23.0
		B ₄₋₁	15.0	-	7	16	-	-	30.0
	Camiones	C ₂	12.3	-	-	11	-	-	18.0
		C ₃	13.2	7	-	18	-	-	25.0
		C ₄	13.2	-	-	23 ⁽¹⁾	-	-	30.0
		8x4	13.2	-	7	18	-	-	32.0
	Tráilers	T ₂ S ₁	-	-	-	-	11	-	29.0
		T ₂ S ₂	-	-	-	11	18	-	36.0
		T ₂ S ₃	-	-	-	-	25	-	43.0
		T ₃ S ₁	20.5	7	-	-	11	-	36.0
		T ₃ S ₂	-	-	-	18	18	-	43.0
		T ₃ S ₃	-	-	-	-	25	-	48.0 ⁽²⁾
	Remolques	C ₂ R ₂	23.0	7	-	11	11	11	40.0
C ₂ R ₃		-	-	-	-	-	18	47.0	

⁽¹⁾ Conjunto de ejes con un eje direccional

⁽²⁾ Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes

Fuente: Reglamento nacional de vehículos – Anexo IV

A continuación, se presenta la configuración de ejes para establecer los ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$ para pavimentos flexibles:

Cuadro 4.6.3 – Cargas por tipo de ejes

Tipo de eje	Ejes	Ruedas	Llantas	Grafico	Peso $\langle P \rangle$ (tn)	Relación	
S_1	Simple	1	Simple	2		7	$\left(\frac{P}{6.6}\right)^4$
S_2	Simple	1	Dobles	4		11	$\left(\frac{P}{8.2}\right)^4$
T	Tandem	2	2 Simples	4		12	$\left(\frac{P}{13.2}\right)^4$
T_1	Tandem	2	Simples + Dobles	6		16	$\left(\frac{P}{14.8}\right)^4$
T_2	Tandem	2	2 Dobles	8		18	$\left(\frac{P}{15.1}\right)^4$
Tr_1	Tridem	3	Simples + 2 Dobles	10		23	$\left(\frac{P}{20.7}\right)^{3.9}$
Tr_2	Tridem	3	3 Dobles	12		25	$\left(\frac{P}{21.8}\right)^{3.9}$

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – Fig. 6.1, Cuadro 6.3

■ **Factores de carga de tráfico.**

$$f_{ct} = t_n (\sum (S_1 + S_2 + T + T_1 + T_2 + Tr_1 + Tr_2)) \quad [\text{Ecu. 4.6.4}]$$

Dónde: Factor de carga de tráfico f_{ct}

Transito proyectado (veh/día) t_n

Relación de cargas por tipo de ejes $S_1 + S_2 + T + T_1 + T_2 + Tr_1 + Tr_2$

■ **Factores de distribución direccional y carril.**

Factor de distribución direccional $\langle f_d \rangle$: Es el número de vehículos que transitan en ambos sentidos.

Factor de distribución carril $\langle f_c \rangle$: Es para el carril individual que recibe el mayor número $\langle E_e \rangle$.

Tabla 4.6.4 – Factores de distribución

Número de calzadas		1 (⟨IMDa⟩ total 1 calzada)					2 – Separador central (⟨IMDa⟩ total 2 calzadas)				
		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
N° de sentidos		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
N° de carriles		1	2	3	4	1	2	1	2	3	4
Factor	Direccional ⟨ f_d ⟩	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Carril ⟨ f_c ⟩	1.00	0.80	0.60	0.50	1.00	0.80	1.00	0.80	0.60	0.50
	Ponderado ⟨ f_p ⟩	1.00	0.80	0.60	0.50	0.50	0.40	0.50	0.40	0.30	0.25

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – Cuadro 6.1

■ **Factor de ajuste.**

Se considera para calcular el efecto adicional de desgaste que se producen según presiones de los neumáticos sobre el pavimento flexible o semirrígido.

Tabla 4.6.5 – Factores de ajuste ⟨ f_{pn} ⟩

Espesor (cm)	Presión de contacto de neumáticos ⟨ f_{pn} ⟩ (Psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
5	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
6	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
7	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
8	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
10	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
12	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
13	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
15	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
18	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
20	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.45

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – Cuadro 6.13

■ **Número de repeticiones de ejes.**

Para el conteo, en el periodo de diseño, se utilizará la siguiente ecuación según vehículo.

$$Nr_{(E_e)} = 365 \cdot f_{ca} \cdot (\sum f_{ct}) \cdot (f_d \cdot f_c) \cdot (f_{pn}) \quad [\text{Ecu. 4.6.5}]$$

Dónde: Número de Repeticiones de Ejes equivalentes de 8.2 tn $Nr_{(E_e)}$
 Número de días del año 365
 Factor de crecimiento acumulado [Ecu. 4.6.3] f_{ca}
 Sumatoria de factores de carga de tráfico $\sum(f_{ct})$
 Factores de distribución: Direccional f_d
 Carril f_c
 Factores de ajuste f_{pn}

4.6.4.1. Clasificación de número de repeticiones.

■ Caminos pavimentados.

Son pavimentos flexibles, rígidos y semirígidos, los rangos se muestran en la siguiente tabla, en función del tipo de tráfico pesado.

Tabla 4.6.6 – Repeticiones acumuladas de ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$

Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$
T_{p0}	75,000 – 150,000	T_{p8}	5,000,000 – 7,500,000
T_{p1}	150,000 – 300,000	T_{p9}	7,500,000 – 10,000,000
T_{p2}	300,000 – 500,000	T_{p10}	10,000,000 – 12,500,000
T_{p3}	500,000 – 750,000	T_{p11}	12,500,000 – 15,000,000
T_{p4}	750,000 – 1,000,000	T_{p12}	15,000,000 – 20,000,000
T_{p5}	1,000,000 – 1,500,000	T_{p13}	20,000,000 – 25,000,000
T_{p6}	1,500,000 – 3,000,000	T_{p14}	25,000,000 – 30,000,000
T_{p7}	3,000,000 – 5,000,000	T_{p15}	30,000,000 <

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP
– cuadro 6.15

4.6.5. CÁLCULO DE ESTUDIO DE TRÁFICO.

■ Conteo vehicular.

Tabla 4.6.7 – Conteo vehicular

Vehículos	Conteo de ida $\langle c_i \rangle$								Conteo de vuelta $\langle c_v \rangle$								Total	
	L	M	M	J	V	S	D	Σc_i	L	M	M	J	V	S	D	Σc_v		
Autos	8	9	8	6	8	7	7	53	10	12	11	10	9	7	11	70	123	
Camionetas	6	4	6	6	9	5	6	42	7	8	4	3	9	4	4	39	81	
Combis	4	7	4	4	3	7	4	33	5	5	4	5	4	5	5	33	66	
Micros	2	2	2	5	5	2	3	21	4	3	4	4	4	4	3	26	47	
Buses	B ₂	4	-	4	-	2	-	-	10	5	-	4	-	1	-	-	10	20
	B ₃₋₁	-	-	-	-	1	-	-	1	-	2	-	-	2	-	-	4	5
	B ₄₋₁	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Camiones	C ₂	4	3	4	4	6	4	4	29	5	5	5	3	5	5	5	33	62
	C ₃	6	3	4	5	4	4	4	30	5	4	4	4	4	6	4	31	61
	C ₄	2	2	2	2	2	2	2	14	3	3	3	3	3	3	3	21	35
	8x4	1	-	-	3	1	1	1	7	-	-	-	3	2	-	-	5	12
Trayler	T ₂ S ₁	1	1	1	2	-	1	-	6	-	-	-	1	-	2	-	3	9
	T ₂ S ₂	-	2	-	2	-	1	-	5	-	1	-	2	-	-	-	3	8
	T ₂ S ₃	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	2
	T ₃ S ₁	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	4
	T ₃ S ₂	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	3	-	1	-	4	6
	T ₃ S ₃	3	-	1	-	-	8	-	12	4	-	1	2	-	-	-	7	19
Rem.	C ₂ R ₂	3	1	2	1	5	4	1	17	1	1	2	-	7	3	1	15	32
	C ₂ R ₃	4	3	2	2	2	2	1	16	4	2	1	3	2	3	1	16	32
Total		48	37	40	47	49	48	33	-	53	46	43	49	52	43	37	323	-

Tráfico diario (veh/día): Ida $\langle IMD_{(i)} \rangle = \frac{\sum c_i}{7}$

Vuelta $\langle IMD_{(v)} \rangle = \frac{\sum c_v}{7}$

Tabla 4.6.8 – Índice medio diario $\langle IMD \rangle$ o Conteo vehicular actual $\langle t_o \rangle$

Vehículos	Conteo diario $\langle c_i + c_v \rangle$							Conteo			$\langle IMD \rangle$		
	L	M	M	J	V	S	D	Σ	$\langle \Sigma c_i \rangle$	$\langle \Sigma c_v \rangle$	$\langle i \rangle$	$\langle v \rangle$	Σ
Autos	18	21	19	16	17	14	18	123	53	70	7.57	10.00	17.57
Camionetas	13	12	10	9	18	9	10	81	42	39	6.00	5.57	11.57
Combis	9	12	8	9	7	12	9	66	33	33	4.71	4.71	9.43
Micros	6	5	6	9	9	6	6	47	21	26	3.00	3.71	6.71
Buses	B ₂	9	-	8	-	3	-	20	10	10	1.43	1.43	2.86
	B ₃₋₁	-	2	-	-	3	-	5	1	4	0.14	0.57	0.71
	B ₄₋₁	-	-	-	-	1	-	1	1	0	0.14	0.00	0.14
Camiones	C ₂	9	8	9	7	11	9	62	29	33	4.14	4.71	8.86
	C ₃	11	7	8	9	8	10	61	30	31	4.29	4.43	8.71
	C ₄	5	5	5	5	5	5	35	14	21	2.00	3.00	5.00
	8x4	1	-	-	6	3	1	1	12	7	5	1.00	0.71
Traylers	T ₂ S ₁	1	1	1	3	-	3	9	6	3	0.86	0.43	1.29
	T ₂ S ₂	-	3	-	4	-	1	8	5	3	0.71	0.43	1.14
	T ₂ S ₃	-	-	-	2	-	-	2	1	1	0.14	0.14	0.29
	T ₃ S ₁	-	-	-	4	-	-	4	2	2	0.29	0.29	0.57
	T ₃ S ₂	-	-	-	5	-	1	6	2	4	0.29	0.57	0.86
	T ₃ S ₃	7	-	2	2	-	8	19	12	7	1.71	1.00	2.71
Rem.	C ₂ R ₂	4	2	4	1	12	7	32	17	15	2.43	2.14	4.57
	C ₂ R ₃	8	5	3	5	4	5	32	16	16	2.29	2.29	4.57
Total	101	83	83	96	101	91	70	-	-	-	-	-	-

■ **Tránsito actual**

Ubicación de peaje: Departamento LA LIBERTAD
 Provincia Trujillo
 Peaje Menocucho

Factores de corrección estacional [Tabla 4.6.1]:

- Vehículos ligeros $f_l = 0.9317$
- Vehículos pesados $f_p = 1.0902$

Tráfico actual (veh/día): Ida $t_{0(i)} = f_l(IMD_{(i)})$

Vuelta $t_{0(v)} = f_p(IMD_{(v)})$

Tabla 4.6.9 – Conteo vehicular actual $\langle t_o \rangle$

Vehículo	$\langle IMD \rangle$			Actual $\langle t_o \rangle$ (veh/día)				
	$\langle i \rangle$	$\langle v \rangle$	(%)	$\langle i \rangle$	$\langle v \rangle$	Σ	(%)	
Autos	7.57	10.00	17.57	8	10	18	16.22	
Camionetas	6.00	5.57	11.57	6	6	12	10.81	
Combis	4.71	4.71	9.43	5	5	10	9.01	
Micros	3.00	3.71	6.71	3	4	7	6.31	
Buses	B ₂	1.43	1.43	2.86	2	2	4	3.60
	B ₃ -1	0.14	0.57	0.71	1	1	2	1.80
	B ₄ -1	0.14	0.00	0.14	1	-	1	0.90
Camiones	C ₂	4.14	4.71	8.86	5	6	11	9.91
	C ₃	4.29	4.43	8.71	5	5	10	9.01
	C ₄	2.00	3.00	5.00	3	4	7	6.31
	8x4	1.00	0.71	1.71	2	1	3	2.70
Trayler	T ₂ S ₁	0.86	0.43	1.29	1	1	2	1.80
	T ₂ S ₂	0.71	0.43	1.14	1	1	2	1.80
	T ₂ S ₃	0.14	0.14	0.29	1	1	2	1.80
	T ₃ S ₁	0.29	0.29	0.57	1	1	2	1.80
	T ₃ S ₂	0.29	0.57	0.86	1	1	2	1.80
	T ₃ S ₃	1.71	1.00	2.71	2	2	4	3.60
Rem.	C ₂ R ₂	2.43	2.14	4.57	3	3	6	5.41
	C ₂ R ₃	2.29	2.29	4.57	3	3	6	5.41
Total		-	-	-	-	-	111	100

■ **Transito proyectado.**

Tránsito anual actual (veh/día) t_o

Tasa anual de crecimiento [Tabla 4.6.2]: Vehículos ligeros $r_l = \%$

Vehículos pesados $r_p = \%$

Tiempo de inicio de ejecución del proyecto $n = \text{años}$

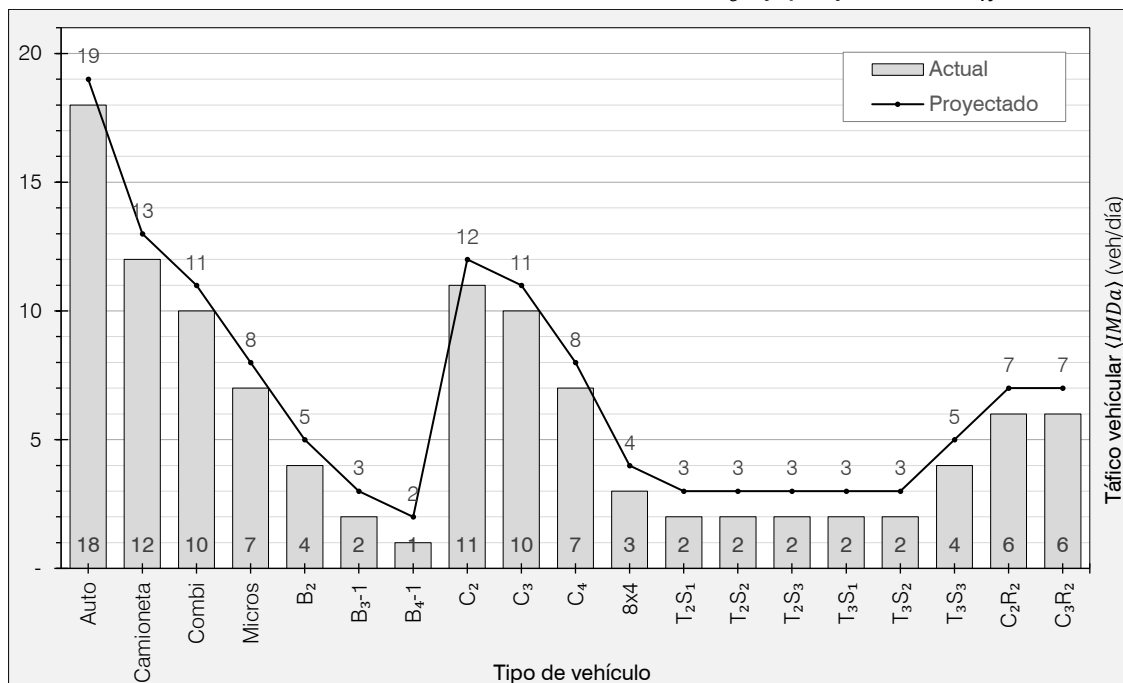
Transito proyectado (veh/día) $t_n = t_o(1 + r)^{(n-1)}$

Tabla 4.6.10 – Transito proyectado (t_n)

Vehículo	Actual		Proyectado		
	$\langle t_o \rangle$	(%)	$\langle t_n \rangle$	(%)	
Autos	18	16.22	19	14.62	
Camionetas	12	10.81	13	10.00	
Combis	10	9.01	11	8.46	
Micros	7	6.31	8	6.15	
Bus	B ₂	4	3.60	5	3.85
	B ₃₋₁	2	1.80	3	2.31
	B ₄₋₁	1	0.90	2	1.54
Camión	C ₂	11	9.91	12	9.23
	C ₃	10	9.01	11	8.46
	C ₄	7	6.31	8	6.15
	8x4	3	2.70	4	3.08
Trayler	T ₂ S ₁	2	1.80	3	2.31
	T ₂ S ₂	2	1.80	3	2.31
	T ₂ S ₃	2	1.80	3	2.31
	T ₃ S ₁	2	1.80	3	2.31
	T ₃ S ₂	2	1.80	3	2.31
	T ₃ S ₃	4	3.60	5	3.85
	Rem	C ₂ R ₂	6	5.41	7
C ₂ R ₃		6	5.41	7	5.38
Total	111	100	130	100	

Índice medio diario anual $IMDa = \sum t_n = 130$ veh/día

Gráfico 4.6.1 – Tráfico vehicular actual (t_o) y proyectado (t_n)



■ **Factor de crecimiento acumulado.**

Tasa anual de crecimiento de vehículos pesados [Tabla 4.6.2] $r_p = 2.83 \%$

Tiempo de vida útil del pavimento flexible $n = 10$ años

Factor de crecimiento acumulado $f_{ca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} = \frac{(1+2.83)^{10} - 1}{2.85} = 11.37$

■ **Factores de carga de tráfico.**

Peso por eje según tipo de vehículo [Tabla 4.6.3] (tn) P

Tabla 4.6.11 – Combinación de pesos $\langle P \rangle$ por ejes

Vehículo	Combinación de ejes	Pesos ejes $\langle P \rangle$ (tn)					
		Delantero		Posterior			
		1°	2°	1°	2°	3°	4°
Auto	$S_1 - S_1$	1.0	-	1.0	-	-	-
Camioneta	$S_1 - S_1$	1.0	-	1.0	-	-	-
Combi	$S_1 - S_1$	1.0	-	1.0	-	-	-
Micro	$S_1 - S_1$	1.0	-	1.0	-	-	-
Bus	B_2	$S_1 - S_2$	7.0	11.0	-	-	-
	B_{3-1}	$S_1 - T_1$	7.0	8.0	8.0	-	-
	B_{4-1}	$T - T_1$	7.0	7.0	8.0	8.0	-
Camión	C_2	$S_1 - S_2$	7.0	11.0	-	-	-
	C_3	$S_1 - T_2$	7.0	9.0	9.0	-	-
	C_4	$S_1 - Tr_1$	7.0	8.0	8.0	7.0	-
	$8x4$	$T - T_2$	7.0	7.0	9.0	9.0	-
Tráiler	T_2S_1	$S_1 - S_2 - S_2$	7.0	11.0	11.0	-	-
	T_2S_2	$S_1 - S_2 - T_2$	7.0	11.0	9.0	9.0	-
	T_2S_3	$S_1 - S_2 - Tr_1$	7.0	11.0	9.0	8.0	8.0
	T_3S_1	$S_1 - T_2 - S_2$	7.0	9.0	9.0	11.0	-
	T_3S_2	$S_1 - T_2 - T_2$	7.0	9.0	9.0	9.0	9.0
	T_3S_3	$S_1 - T_2 - Tr_2$	7.0	8.0	8.0	7.0	8.0
Rem	C_2R_2	$S_1; S_2 - S_2; S_2$	7.0	11.0	11.0	11.0	-
	C_2R_3	$S_1; T_2 - S_2; S_2$	7.0	11.0	11.0	9.0	9.0

Configuración de ejes del tipo de vehículo [Cuadro 4.6.3]:

Eje simple $S_1 = (P/6.6)^4$; $S_2 = (P/8.2)^4$

Eje Tándem $T = \left(\frac{P}{13.2}\right)^4$; $T_1 = \left(\frac{P}{14.8}\right)^4$; $T_2 = \left(\frac{P}{15.1}\right)^4$

Eje Tridem $Tr_1 = \left(\frac{P}{20.7}\right)^{3.90}$; $Tr_2 = \left(\frac{P}{21.8}\right)^{3.9}$

Factor de carga de tráfico $f_{ct} = t_n (\sum (S_1 + S_2 + T + T_1 + T_2 + Tr_1 + Tr_2))$

■ **Factores:**

Factores de distribución de según características de vía [Tabla 4.6.4]:

Características de la vía: Número de calzadas 1
 Número de sentidos 2
 Número de carriles por sentido 1

Factores de distribución: Factor direccional $f_d = 0.50$
 Factor carril $f_c = 1.00$

Factor de ajuste por presión de neumáticos $f_{pn} = 1.00$

Tabla 4.6.12 – Factores de carga de tráfico anual (f_{ct})

Vehículos	$\langle t_n \rangle$	Ejes combinados	Relación de cargas por tipo de ejes							$\langle f_{ct} \rangle$
			$\langle S_1 \rangle$	$\langle S_2 \rangle$	$\langle T \rangle$	$\langle T_1 \rangle$	$\langle T_2 \rangle$	$\langle Tr_1 \rangle$	$\langle Tr_2 \rangle$	
Auto	19	$S_1 - S_1$	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.02
Camioneta	13	$S_1 - S_1$	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.01
Combi	11	$S_1 - S_1$	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.01
Micro	8	$S_1 - S_1$	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.01
Bus	B ₂	$S_1 - S_2$	1.27	3.24	-	-	-	-	-	22.52
	B ₃₋₁	$S_1 - T_1$	1.27	-	-	1.37	-	-	-	7.89
	B ₄₋₁	$T - T_1$	-	-	1.27	1.37	-	-	-	5.26
Camión	C ₂	$S_1 - S_2$	1.27	3.24	-	-	-	-	-	54.04
	C ₃	$S_1 - T_2$	1.27	-	-	-	2.02	-	-	36.13
	C ₄	$S_1 - Tr_1$	1.27	-	-	-	-	1.51	-	22.19
	8x4	$T - T_2$	-	-	1.27	-	2.02	-	-	13.14
Tráiler	T ₂ S ₁	$S_1 - S_2 - S_2$	1.27	6.48	-	-	-	-	-	23.23
	T ₂ S ₂	$S_1 - S_2 - T_2$	1.27	3.24	-	-	2.02	-	-	19.57
	T ₂ S ₃	$S_1 - S_2 - Tr_1$	1.27	3.24	-	-	-	2.09	-	19.77
	T ₃ S ₁	$S_1 - T_2 - S_2$	1.27	3.24	-	-	2.02	-	-	19.57
	T ₃ S ₂	$S_1 - T_2 - T_2$	1.27	-	-	-	4.04	-	-	15.91
	T ₃ S ₃	$S_1 - T_2 - Tr_2$	1.27	-	-	-	1.26	-	1.23	18.79
Rem	C ₂ R ₂	$S_1; S_2 - S_2; S_2$	1.27	9.71	-	-	-	-	-	76.86
	C ₂ R ₃	$S_1; T_2 - S_2; S_2$	1.27	2.90	-	-	4.51	-	-	60.72
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	415.65

■ **Número de repeticiones de ejes equivalentes.**

Factores: Factor de crecimiento acumulado $f_{ca} = 11.37$

Sumatoria de factores de carga de tráfico $\sum(f_{ct}) = 415.65$

Factores de distribución: Direccional $f_d = 0.50$

 Carril $f_c = 1.00$

Factor de ajuste por presión de neumáticos $f_{pn} = 1.00$

Número de rep. $Nr_{(E_e)} = W_{18} = 365(f_{ca})(\sum f_{ct})(f_d \cdot f_c)(f_{pn})$

$$Nr_{(E_e)} = 365(11.37)(415.65)(0.50 \cdot 1.00)(1.00) = 862,821$$

4.7. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

4.7.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO.

4.7.1.1. Carga vehicular.

Tabla 4.7.1 – Repeticiones acumuladas de ejes equivalentes

Categoría	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$
Bajo	$T_{p1} \dots T_{p4}$	150,000 ... 1,000,000
Medio	$T_{p5} \dots T_{p14}$	1,000,000 ... 30,000,000
Alto	T_{p15}	30,000,000 <

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.1, 2 y 3

4.7.1.2. Características de la sub rasante.

Tabla 4.7.2 – Categorías de Sub rasante

Categoría	Cualidad	$\langle Cbr \rangle$ (%)
S_0	Inadecuada	< 3
S_1	Pobre	3 – 6
S_2	Regular	6 – 10
S_3	Buena	10 – 20
S_4	Muy buena	20 – 30
S_5	Excelente	$30 \leq$

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.4

4.7.2. MÉTODO AASHTO 93.

Está basado en función del rendimiento del pavimento, el tráfico y buen soporte de la sub rasante.

■ Periodo de Diseño.

Se diseña para una etapa con duración de 10 años.

4.7.2.1. Variables independientes.

■ Número Acumulado.

Es el número acumulado $\langle W_{18} \rangle$ de ejes simples, corresponde al número de repeticiones $\langle Ee = 8.2 \rangle$ tn.

■ **Módulo de Resiliencia (M_r).**

Corresponde a la rigidez del suelo de sub rasante (Psi)

$$M_r = 2,555(Cbr^{0.64}) \quad [\text{Ecu. 4.7.1}]$$

■ **Confiabilidad (r).**

La siguiente tabla toma los valores recomendados de $\langle r \rangle$ para 1 etapa de diseño $\langle 10 - 20 \rangle$ años.

Tabla 4.7.3 – Nivel de confiabilidad $\langle r \rangle$

Categoría	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$	$\langle r \rangle$ (%)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T_{p0}	75,000 – 150,000	65
	T_{p1}	150,000 – 300,000	70
	T_{p2}	300,000 – 500,000	75
	$T_{p3} \dots T_{p4}$	500,000 ... 1,000,000	80
Resto de caminos	$T_{p5} \dots T_{p7}$	1,000,000 ... 5,000,000	85
	$T_{p8} \dots T_{p11}$	5,000,000 ... 15,000,000	90
	$T_{p12} \dots T_{p15}$	15,000,000 ... 30,000,000 <	95

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.6

■ **Coficiente estadístico de desviación estándar normal $\langle Z_r \rangle$.**

Es la confiabilidad seleccionada, para muestras de datos en una distribución normal.

La siguiente tabla muestra los valores de $\langle Z_r \rangle$ para una sola etapa de diseño $\langle 10 - 20 \rangle$ años

Tabla 4.7.4 – Coficiente estadístico de la desviación estándar normal $\langle Z_r \rangle$

Categoría	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$	$\langle Z_r \rangle$ (%)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T_{p0}	75,000 – 150,000	- 0.385
	T_{p1}	150,000 – 300,000	- 0.524
	T_{p2}	300,000 – 500,000	- 0.674
	$T_{p3} \dots T_{p4}$	500,000 ... 1,000,000	- 0.842
Resto de caminos	$T_{p5} \dots T_{p7}$	1,000,000 ... 5,000,000	- 1.036
	$T_{p8} \dots T_{p11}$	5,000,000 ... 15,000,000	- 1.282
	$T_{p12} \dots T_{p15}$	15,000,000 ... 30,000,000 <	- 1.645

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.8

■ **Desviación estándar combinada $\langle S_o \rangle$.**

La Guía AASHTO recomienda, $\langle 0.4 \leq S_o \leq 0.5 \rangle$, la norma recomienda $\langle S_o = 0.45 \rangle$.

■ **Índice de serviciabilidad presente $\langle Psi \rangle$.**

Pertenece a comodidad de circulación. varía $\langle 0 \leq Psi \leq 5 \rangle$

Serviciabilidad Inicial $\langle p_i \rangle$:

Es la condición de una carretera recién ejecutada.

Serviciabilidad terminal $\langle p_t \rangle$:

Pertenece a la condición de una carretera que necesita rehabilitación o reconstrucción.

Tabla 4.7.5 – Índice de serviciabilidad presente $\langle Psi \rangle$

Categoría	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$	$\langle p_i \rangle$	$\langle p_t \rangle$	$\langle \Delta_{(Psi)} \rangle$
Caminos de bajo volumen de tránsito	T_{p0}	75,000 – 150,000	3.80	2.00	1.80
	$T_{p1} \dots T_{p4}$	150,000 ... 1,000,000	3.80	2.00	1.80
Resto de caminos	$T_{p5} \dots T_{p11}$	1,000,000 ... 15,000,000	4.00	2.50	1.50
	$T_{p12} \dots T_{p15}$	15,000,000 ... 30,000,000 <	4.20	3.00	1.20

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.10, 11 y 12

■ **Número estructural requerido $\langle S_{n(r)} \rangle$.**

La ecuación básica para el diseño:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_o + 9.36 \log_{10}(S_{n(r)} + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta_{(Psi)}}{4.2 - 1.5} \right)}{0.4 + \frac{1094}{(S_{n(r)} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r) - 8.07 \quad [\text{Ecu. 4.7.2}]$$

Dónde: Trafico acumulado de ejes simples equivalentes $\langle Ee \rangle$ de 8.2 tn W_{18}

- Desviación de la normal [Tabla 4.7.4] Z_r
- Desviación estándar del tráfico S_o
- Número estructural requerido $S_{n(r)}$
- Índice de condición del pavimento Psi
- Módulo de resiliencia de la sub rasante (Psi) M_r

■ **Número estructural (S_n).**

Representa al espesor del pavimento y debe ser transformado al espesor efectivo de las capas que lo componen: la capa de rodadura, de base y sub base, mediante el uso de los coeficientes estructurales.

$$S_n = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 \quad [\text{Ecu. 4.7.3}]$$

Dónde: Número estructural S_n
 Coeficientes estructurales [Tabla 4.7.6]: Superficial a_1
 Base..... a_2
 Sub base a_3
 Espesores: Superficial, base y sub base (cm)..... d_1 ; d_2 ; d_3
 Coeficientes de drenaje: Base y sub base m_2 ; m_3

Tabla 4.7.6 – Coeficientes estructurales de las capas del pavimento

Componente		Coeficiente (cm)	Observación
Capa superficial	Carpeta En caliente (Módulo 2,965 MPa a 20 °C)	a_1 : 0.170	Todos $\langle E_e \rangle$
	asfáltica En frío (Mezcla asfáltica con emulsión)	a_1 : 0.125	$\langle E_e \leq 1,000,000 \rangle$
	Micro pavimento 2.5 cm	a_1 : 0.130	
	Tratamiento superficial bicapa	a_1 : 0.250 (1)	$\langle E_e \leq 500,000 \rangle$ (2)(3)
	Lechada asfáltica 1.2 cm	a_1 : 0.150 (1)	
Base granular	$\langle Cbr=80\% \rangle$ Compactada al 100% de máxima densidad seca $\rho_{s(máx)}$	a_2 : 0.052	$\langle E_e \leq 5,000,000 \rangle$
	$\langle Cbr=100\% \rangle$	a_2 : 0.054	$\langle E_e > 5,000,000 \rangle$
	Tratada Asfalto (Estabilidad Marshall 1500 lb)	a_{2a} : 0.115	Todos $\langle E_e \rangle$
	cemento Resistencia a 35 kg/cm ²	a_{2b} : 0.070	
	cal compresión 7 12 kg/cm ²	a_{2c} : 0.080	
Sub base granular	$\langle Cbr=40\% \rangle$ Compactada al 100% de máxima densidad seca $\rho_{s(máx)}$	a_3 : 0.047	$\langle E_e \leq 15,000,000 \rangle$
	$\langle Cbr=60\% \rangle$	a_3 : 0.050	$\langle E_e > 15,000,000 \rangle$

(1) Valor Global (no se considera el espesor)

(2) No aplica en tramos con pendiente $\langle p > 8\% \rangle$ y tramos que obliguen al frenado de vehículos

(3) No aplica en vías con curvas pronunciadas, volteo, curvas, contra curvas

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.13

El número estructural $\langle S_n \rangle$ según AASHTO, necesita el coeficiente de drenaje $\langle m \rangle$ de las capas granulares de base y sub base, dicho valor está en función de las siguientes variables:

Calidad del drenaje:

Tabla 4.7.7 – Tiempo de evacuación de agua (t_e)

Calidad del drenaje	$\langle t_e \rangle$
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	No evacua

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP
– cuadro 12.14

Exposición a la saturación:

Representa el tiempo durante el año que un pavimento está expuesto a niveles de humedad.

Tabla 4.7.8 – Coeficiente de drenaje (m)

Calidad del drenaje	Coeficiente de drenaje (m)			
	< 1%	1% – 5%	5% – 25%	25% <
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP
– cuadro 12.15

Según norma, puede asumirse el coeficiente de drenaje para base ($m_2 = 1$) y sub base ($m_3 = 1$).

A continuación se muestra el Número estructural requerido ($S_{n(r)}$) para pavimentos flexibles para un periodo de diseño (20 años)

Tabla 4.7.9 – Número estructural requerido $\langle s_{n(r)} \rangle$ para pavimentos flexibles

Categoría	Tipo	Ejes equivalentes $\langle E_e \rangle$	Regular $\langle 6 \leq Cbr < 10 \rangle$	Buena $\langle 10 \leq Cbr < 20 \rangle$	Muy bueno $\langle 20 \leq Cbr < 30 \rangle$	Excelente $\langle 30 \leq Cbr \rangle$
Camino de bajo volumen de tránsito	T_{p0}	75,000 – 150,000	2.136	1.871	1.557	1.392
	T_{p1}	150,000 – 300,000	2.470	2.165	1.809	1.625
	T_{p2}	300,000 – 500,000	2.702	2.367	1.979	1.780
	T_{p3}	500,000 – 750,000	2.956	2.593	2.173	2.959
Resto de caminos	T_{p4}	750,000 – 1,000,000	3.107	2.725	2.283	2.059
	T_{p5}	1,000,000 – 1,500,000	3.434	3.012	2.521	2.274
	T_{p6}	1,500,000 – 3,000,000	3.866	3.395	2.841	2.561
	T_{p7}	3,000,000 – 5,000,000	4.206	3.707	3.105	2.797
	T_{p8}	5,000,000 – 7,500,000	4.630	4.103	3.449	3.107
	T_{p9}	7,500,000 – 10,000,000	4.837	4.300	3.624	3.267
	T_{p10}	10,000,000 – 12,500,000	5.092	4.552	3.869	3.501
	T_{p11}	12,500,000 – 15,000,000	5.226	4.679	3.985	3.609
	T_{p12}	15,000,000 – 20,000,000	5.341	4.883	4.173	3.786
	T_{p13}	20,000,000 – 25,000,000	5.907	5.323	4.580	4.172
	T_{p14}	25,000,000 – 30,000,000	6.052	5.460	4.708	4.293

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – cuadro 12.16

4.7.2.2. Secciones de estructuras de pavimento flexible.

En la siguiente tabla se presenta los valores recomendados:

Tabla 4.7.10 – Espesores mínimos de capa superficial y base granular

Categoría	Tipo	Capa superficial	Base granular	
Camino de bajo volumen de tránsito	T_{p1}	Frio y caliente $\langle e=5 \rangle$ cm	Micro pavimento $\langle e=9 \rangle$ cm $\langle e=15 \rangle$ cm	
	T_{p2}	Frio y caliente $\langle e=6 \rangle$ cm ⁽¹⁾		
	T_{p3}	Frio $\langle e=6 \rangle$ y caliente $\langle e=7 \rangle$ cm		
	T_{p4}	Frio $\langle e=7 \rangle$ y caliente $\langle e=8 \rangle$ cm		
Resto de caminos	T_{p5}	$\langle e=8 \rangle$ cm	$\langle e=20 \rangle$ cm	
	T_{p6}	$\langle e=9 \rangle$ cm		
	T_{p7}	Carpetas asfálticas Caliente	$\langle e=25 \rangle$ cm	
	T_{p8}			$\langle e=10 \rangle$ cm
	T_{p9}			$\langle e=11 \rangle$ cm
	T_{p10}			$\langle e=12 \rangle$ cm
	T_{p11}	$\langle e=13 \rangle$ cm		
	T_{p12}	$\langle e=14 \rangle$ cm		
	T_{p13}	$\langle e=15 \rangle$ cm	$\langle e=30 \rangle$ cm	
	T_{p14}			

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos / SP – Cuadro 13.17

4.7.2.3. Cálculo de diseño de pavimento flexible según método AAASHTO.

■ Variables independientes.

Número Acumulado.

Número acumulado de ejes equivalentes $E_e = W_{(18)} = 862,821$

Logaritmo de $\langle W_{18} \rangle$ $\log_{10}(W_{18})_1 = \log_{10}(862,821)_1 = 5.94$

Módulo de Resilencia.

Promedio de capacidad de soporte de sub rasante $Cbr = 13.00 \%$

Módulo de Resilencia [Ecu. 4.7.1] $M_r = 2555(Cbr)^{0.64}$

$$M_r = 2555(13.00)^{0.64} = 13,192 \text{ Psi}$$

Confiabilidad.

Etapas de diseño 1

Categoría [Tabla 4.7.3] Otros caminos

Tipo de tránsito [Tabla 4.7.3] T_{p4}

Confiabilidad [Tabla 4.7.3] $r = 80 \%$

Coefficiente estadístico de desviación estándar normal.

Coefficiente de desviación estándar normal [Tabla 4.7.4] $Z_r = -0.842$

Desviación estándar combinada.

Valor recomendado $\langle S_o \rangle$ $S_o = 0.45$

Índice de serviciabilidad presente.

Serviciabilidad [Tabla 4.7.5]: Inicial $p_i = 3.80$

Terminal $p_t = 2.00$

Diferencial de serviciabilidad $\Delta_{(Psi)} = p_i - p_t = 1.80$

Número estructural requerido.

Logaritmo de $\langle W_{18} \rangle$ $\log_{10}(W_{18})_1 = 5.94$

Variables: Módulo de resiliencia de sub rasante $M_r = 13,192 \text{ Psi}$

Nivel de confiabilidad $r = 80 \%$

Coefficiente de desviación estándar normal $Z_r = -0.842$

Desviación estándar combinado $S_o = 0.45$

Diferencial de serviciabilidad $\Delta_{(Psi)} = 1.80$

Para determinar el número estructural requerido $\langle S_{n(r)} \rangle$ se hará mediante el proceso de interacción que consiste en remplazar un valor en [Ecu. 4.3.1] hasta lograr la igualdad con $\langle \log_{10}(W_{18}) \rangle$:

$$\log_{10}(W_{18})_1 = Z_r S_o + 9.36 \log_{10}(S_{n(r)} + 1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta_{(Psi)}}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(S_{n(r)} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r) - 8.27$$

$\log_{10}(W_{18})_2$

Número estructural requerido $S_{n(r)} = 2.52$

$$5.94 = -0.842(0.45) + 9.36 \log_{10}(2.52 + 1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.80}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(2.52 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(13,192) - 8.27$$

5.94

Condición $\langle \log_{10}(W_{18})_1 = \log_{10}(W_{18})_2 \rangle$ $\langle 5.94 = 5.94 \rangle$ [Cumple]

■ Número estructural.

Coefficientes.

Estructural [Tabla 4.7.6]: Carpeta asfáltica en frío $a_1 = 0.125$

Base granular $Cbr=80\%$ $a_2 = 0.052$

Sub base granular $Cbr=80\%$ $a_3 = 0.050$

Espesores de capas: Capa superficial $d_1 = 5$ cm

Base $d_2 = 20$ cm

Sub base $d_3 = 40$

Drenaje: Base $m_2 = 1$

Sub base $m_3 = 1$

Número estructural.

Número estructural [Ecu. 4.7.3] $S_n = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3$

$$S_n = 0.125(5) + 0.052(20)(1) + 0.050(40)(1) = 3.67$$

Condición $\langle S_n > S_{n(r)} \rangle$ $\langle 3.67 > 2.52 \rangle$ [Cumple]

4.8. SEÑALIZACIÓN VIAL

4.8.1. GENERALIDADES.

La señalización vial de este proyecto se diseñó para seguridad vial teniendo en cuenta los peligros presentes a lo largo de ésta, elementos que son necesarios, ya que también posibilitan una mayor seguridad vial, cumpliendo los requisitos normativos el MTC.

4.8.1.1. Requisitos:

Para la efectividad de un dispositivo de control colocado según su necesidad debe cumplir con lo siguiente:

- Haya la necesidad de utilizar un dispositivo de control.
- Que el mensaje sea claro, conciso, llamativo e indudablemente visible.
- Que su posicionamiento permita al usuario reaccionar y decidir ante el peligro del mensaje.
- Uniformidad, en su forma.

4.8.1.2. Consideraciones.

Para cumplir con los requisitos se considerarse:

- Las características de cada dispositivo deben de llamar la atención de usuario, su visibilidad tiene que ser en horario permanente.
- El posicionamiento según la velocidad de diseño de cada dispositivo, debe estar dentro del cono visual del usuario, para que este pueda hacer la lectura, interpretación y decisión según el mensaje.
- Que la uniformidad de cada dispositivo, permita la lectura de todos los usuarios.
- Hacer el mantenimiento, conservación e inspección vial, en cuanto a la reflectividad de señales, deben estar dentro de los niveles de visión de los usuarios y determinar si necesitan limpieza o cambio de la misma.

4.8.2. SEÑALES VERTICALES.

4.8.2.1. Generalidades.

■ Descripción.

Son dispositivos de control ubicadas generalmente al costado de la calzada de la vía, brindar seguridad a los usuarios, su uso es fundamentalmente en zonas de regulaciones especiales y donde el peligro no es evidente.

■ Características.

En la uniformidad del diseño de forma, dimensiones y contenido; debe ser fácil y claro de lectura transmitiendo o un mensaje inequívoco.

Considerando que un dispositivo puede tener símbolo y letras es preferible usar símbolos puesto que son más fáciles de reconocer que las leyendas, en caso contrario para las letras y números se debe tener una cuenta la forma y tamaño de tipografía.

Las dimensiones se determinan en función a la velocidad máxima de operación, y a diferencia de las señales de información depende de la tipografía, la leyenda, y los demás elementos inscritos.

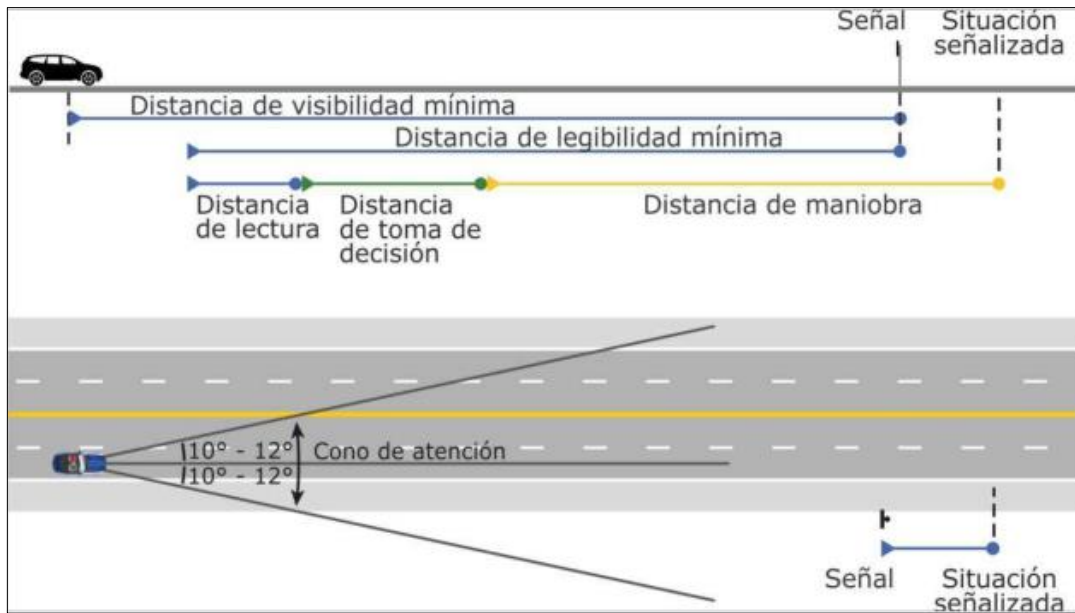
■ Ubicación

Para la efectividad de cada señal su ubicación deberá tener las siguientes consideraciones:

Longitudinal.

Indica la ubicación de una restricción o autorización, advirtiendo e informando o las condiciones de la vía.

Ilustración 4.8.1 – Ubicación longitudinal en planta y perfil de señales



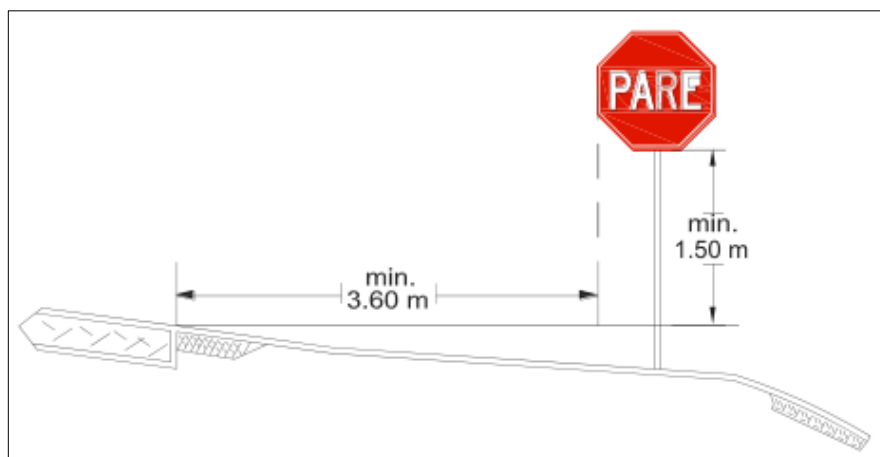
Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.4

Lateral.

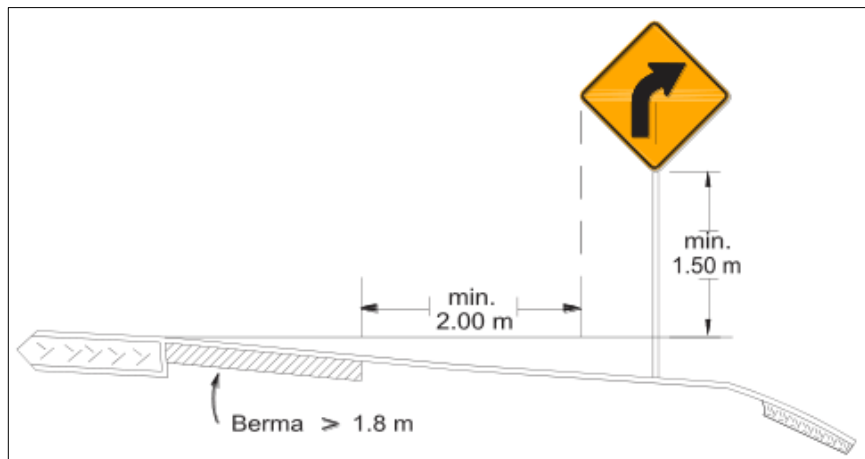
Deberán ubicarse al lado derecho de la vía fuera de la calzada, dentro del cono visual del usuario. A una separación del borde la calzada al borde próximo a la señal para zonas rurales y ancho de berma de 1.80 m deber ser de 3 m y para zonas urbanas de 0.60 m como mínimo.

Ilustración 4.8.2 – Ubicación longitudinal en sección de señales

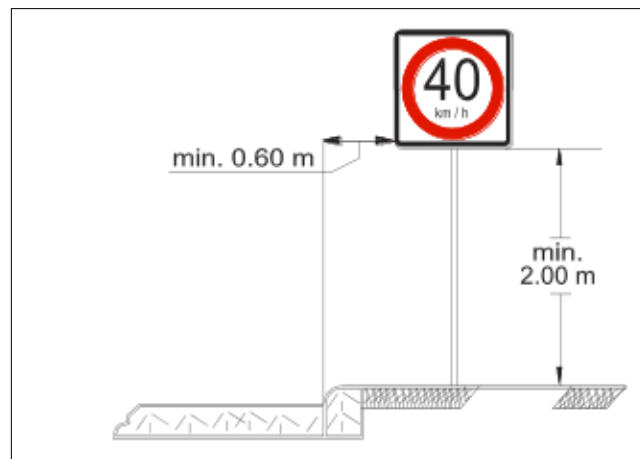
(a) Zonas rurales



(a) Zonas rurales



(a) Zonas rurales



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.4

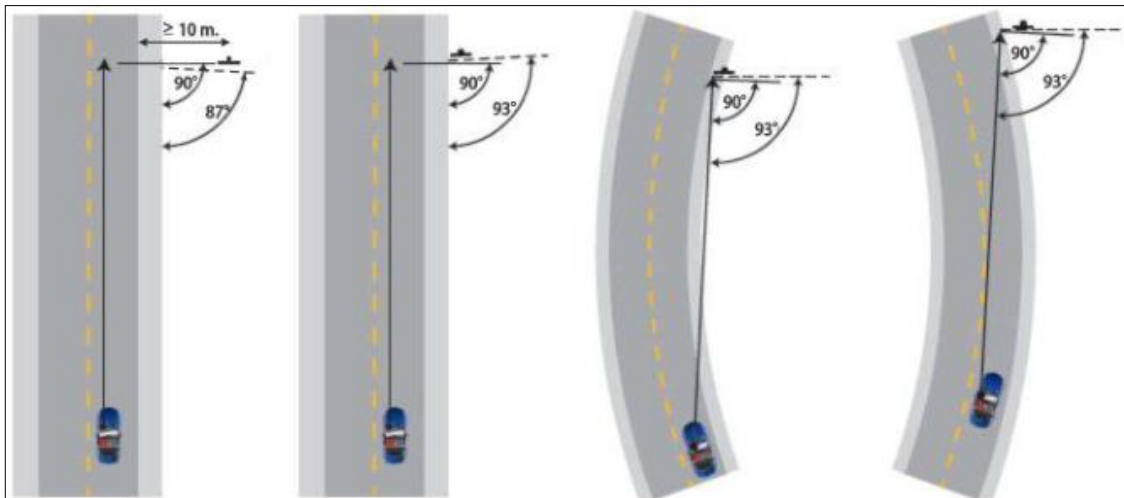
Altura.

Según la altura vehicular, el diseño geométrico en planta y perfil, se determinará la altura mínima ($h_{mín}$) de la señal para asegurar su visibilidad. Sin embargo, generalmente se determina ($h_{mín}$) según las zonas (Zona rural ($h_{mín} = 1.5$) m entre la base de la señal y nivel de superficie de rodadura) y (Zona urbana ($h_{mín} = 1.5$) m entre la base de la señal y vereda).

Orientación.

Para mejorar la nitidez de reflexión de la señal, la señal debe orientarse hacia afuera.

Ilustración 4.8.3 – Orientación de las señales

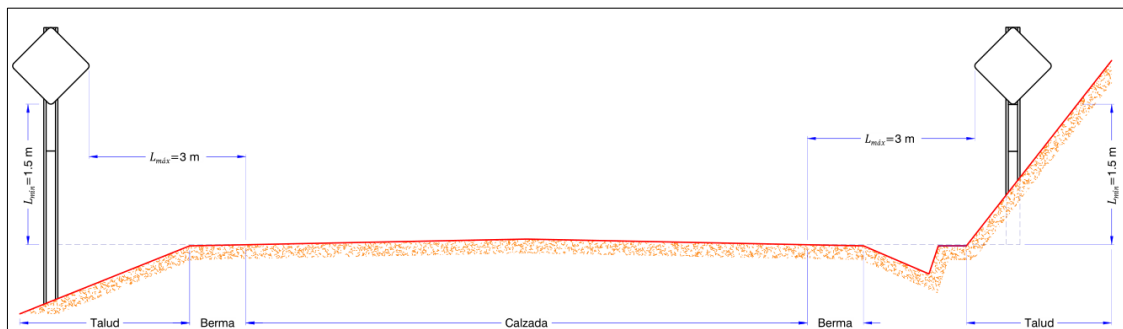


Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.6

■ Sistema de soporte.

Se usa para contener la señal, asegurándose su estabilidad ante las cargas de viento. Los soportes de señales reglamentarias y preventivas serán pintados con franjas cada 50 cm de colores blancas y negras cm para zonas rurales, y 30 cm para zonas urbanas y para los soportes de señales informativas serán pintadas de color gris uniforme.

Ilustración 4.8.4 – Medidas del soporte de las señales



4.8.3. SEÑALES REGULADORAS O DE REGLAMENTACIÓN.

Se colocados para comunicar y notificar las limitaciones, restricciones, prohibiciones y/o autorizaciones existentes.



4.8.3.1. Clasificación.

Las señales que serán utilizados en el proyecto se describirán a continuación:

■ **Señales de prioridad.**

Regulan el derecho de preferencia de paso.

Tabla 4.8.1 – Señales reglamentarias por prioridad

Código	Descripción	Símbolo
R-1 PARE	Detiene los vehículos completamente, colocándose al borde la de vía intersectada. Se adiciona marcas en el pavimento.	
R-2 CEDA EL PASO	Prioriza el pase vehicular de una vía de menor prioridad por una vía principal.	





Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.9


■ **Señales de prohibición.**

Señales de prohibición de maniobras y giros.

Son los que prohíben ciertas maniobras de giro de los vehículos.

Tabla 4.8.2 – Señales reglamentarias de prohibición giros

Código	Descripción	Símbolo
R-6 PROHIBIDO VOLTEAR A LA IZQUIERDA	Prohíbe el giro a la izquierda, esto conlleva que tampoco puede girar en "U"	
R-8 PROHIBIDO VOLTEAR A LA DERECHA	Prohíbe el giro a la derecha, esto conlleva que tampoco puede girar en "U"	
R-10 PROHIBIDO VOLTEAR EN "U"	Prohíbe voltear en "U"	
R-16 PROHIBIDO ADELANTAR	Prohíbe el adelantamiento vehicular.	



Código	Descripción	Símbolo
R-16a FIN DE PROHIBIDO ADELANTAR.	Culminación de la prohibición de adelantamiento vehicular	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.10

■ Señales de restricción.

Restringe o limita el tránsito debido a características de la vía.

Tabla 4.8.3 – Señales reglamentarias de restricción


Código	Descripción	Símbolo
R-11 CIRCULACIÓN EN AMBOS SENTIDOS	Notifican la aproximación a un tramo de dirección bidimensional sin separador centra.	
R-30 VELOCIDAD MÁXIMA PERMITIDA 40 km/h	Establece la velocidad máxima de circulación	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.13

■ Señales de obligación.

Indica obligaciones a los usuarios.

Tabla 4.8.4 – Señales reglamentarias de obligación

Código	Descripción	Símbolo
R-18 VEHÍCULOS PESADOS A LA DERECHA	Circulación de vehículos pesados por el carril derecho	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.14

4.8.4. SEÑALES DE PREVENCIÓN.

Advierte a los usuarios del peligro o situaciones imprevistas que pueda evitarse en zonas particulares de la vía. Ante ello los conductores puede tomar precauciones del caso efectivamente con la reducción de la velocidad para la seguridad de los usuarios implicado.

4.8.4.1. Características.

■ Forma de tablero:

Generalmente son de forma cuadrada, las dimensiones según la velocidad de diseño. El color de fondo del tablero de amarillo, letras y símbolos serán de color negro.

■ Ubicación.

Son posicionados a un distancia que los conductores tengan el tiempo suficiente para lee, percibir y responder con la maniobra que crea conveniente, dicha distancia debe ser según a la velocidad de diseño o de la velocidad reducida $\langle 0.85V_d \rangle$

Tabla 4.8.5 – Distancia de ubicación anticipada

$\langle 0.85V_d \rangle$ (km/h)	Velocidad reducida para distancia de legibilidad de 80 m											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
60	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	50	40	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	80	60	55	50	40	30	-	-	-	-	-	-
90	110	90	80	70	60	40	-	-	-	-	-	-
100	130	120	115	110	100	90	70	60	40	-	-	-
110	170	160	150	140	130	120	110	90	70	50	-	-
120	200	190	185	180	170	160	140	130	110	90	60	40
130	230	230	230	220	210	200	180	170	150	120	100	70

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Tabla 2.3

4.8.4.2. Clasificación.








A continuación, se presenta la relación de las señales preventivas en este proyecto.



■ Señales según características geométricas horizontales.

Curvatura horizontal.

Señalan la aproximación a curvas horizontales, ante ello el conductor deberá reducir la velocidad de operación para circular la curva con seguridad. Además de estas señales se tomará en cuenta las demás señales de curva como delineadores, velocidades máximas entre otras.

Tabla 4.8.6 – Señales preventivas por curvaturas horizontales

Código	Descripción	Símbolo
P-1a CURVA PRONUNCIADA A LA DERECHA	Prevenir la presencia de curvas de radio menor de 40 m. Y para radios de 40 – 80 m cuyo ángulo de deflexión sea mayor de 45°	
P-1b CURVA PRONUNCIADA A LA IZQUIERDA		
P-2a CURVA A LA DERECHA	Prevenir la presencia de curvas de radio de 40 - 300 m con ángulo de deflexión menor de 45° y radio entre 80 - 300 m con ángulo de deflexión mayor de 45°	
P-2b CURVA A LA IZQUIERDA		
P-3b CURVA Y CONTRA CURVA PRONUNCIADAS A LA DERECHA	Indicar la presencia de dos curvas de sentido contrario, separadas por una tangente menor de 60 m, y cuyas características geométricas son las indicadas en las señales de curva para el uso de la señal (P-1)	
P-3b CURVA Y CONTRA CURVA PRONUNCIADAS A LA IZQUIERDA		
P-4a CURVA Y CONTRA CURVA A LA DERECHA	Indicar sucesión de curvas de sentido contrario, con radios de (80 – 300) m, separados por una tangente ≤ 60 m.	

Código	Descripción	Símbolo
P-4b CURVA Y CONTRA CURVA A LA IZQUIERDA		
P-5-1 CAMINO SINUOSO A LA DERECHA	Indicar una sucesión de tres o más curvas, evitando la repetición frecuente de señales de curva. Por lo general, se deberá utilizar la señal de velocidad máxima (R-30), para indicar la restricción de la velocidad complementariamente	
P-5-1a CAMINO SINUOSO A LA IZQUIERDA		
P-5-2a CURVA EN "U" A LA DERECHA	Prevenir la presencia de curvas sumamente pronunciadas.	
P-5-2a CURVA EN "U" A LA IZQUIERDA		
P-61 DELINEADOR DE CURVA HORIZONTAL	Guía al conductor sobre el sentido de una curva pronunciada o que requiere atención por razones de seguridad vial.	



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.18

■ **Señales según características geométricas verticales.**

Pendiente longitudinal.

Señalan la aproximación a pendientes longitudinales adversas a la vía afectando la velocidad y frenado vehicular.

Tabla 4.8.7 – Señales preventivas por pendientes longitudinales





Código	Descripción	Símbolo
P-35 FUERTE PENDIENTE DE DESCENSO	Advierte al conductor de una fuerte pendiente de descenso	
P-35c FUERTE PENDIENTE DE ASCENSO	Advierte al conductor de una fuerte pendiente de ascenso	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.19

■ **Señales según características de superficie de rodadura.**

Señalan irregularidades en la superficie de rodadura, presentado el riesgo que si no se toma en cuenta puede causar daños a los vehículos.

Tabla 4.8.8 – Señales preventivas según superficie de rodadura




Código	Descripción	Símbolo
P-33a PROXIMIDAD REDUCTOR DE VELOCIDAD TIPO RESALTO	Advierte al conductor la propinación de un reductor de velocidad tipo resalto circular o trapezoidal Se colocara a un distancia mínima de 60 m antes de la ubicación de reductor de velocidad tipo resalto.	
P-33b UBICACIÓN DE REDUCTOR DE VELOCIDAD TIPO RESALTO	Advierte al conductor la ubicación de un reductor de velocidad tipo resalto.	
P-34 PROXIMIDAD DE BADÉN	Advierte al conductor la propinación de un badén.	
P-34a UBICACIÓN DE BADÉN	Advierte al conductor la ubicación de un badén.	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.20

■ **Señales según intercesiones con otras vías.**

Señalan la aproximación a una intercesión a nivel y la presencia de vehículos ingresando o girando.

Tabla 4.8.9 – Señales preventivas de intercesiones con otras vías

Código	Descripción	Símbolo
P-8 BIFURCACIÓN EN "Y"	Advierte al conductor que circula por una vía, la proximidad de una bifurcación o intersección en forma "Y"	
P-9a EMPALME EN ÁNGULO RECTO CON VÍA LATERAL ALA DERECHA	Advierte al conductor que circula de una vía, la proximidad de un empalme o intersección con otra vía ubicada a la derecha e izquierda en $\approx 90^\circ$	
P-9b EMPALME EN ÁNGULO RECTO CON VÍA LATERAL ALA IZQUIERDA		
P-10a EMPALME EN ÁNGULO AGUDO A LA DERECHA	Advierte al conductor que circula de una vía, la proximidad de un empalme o intersección con otra vía ubicada a la derecha e izquierda en \neq agudo	
P-10b EMPALME EN ÁNGULO AGUDO A LA IZQUIERDA		

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.22

■ **Señales por características de operación de la vía.**

Señalan la aproximación a una particularidad en la vía según las características de operación los cuales condicional a la normal circulación de los vehículos.

Tabla 4.8.10 – Señales preventivas por características de operación de la vía

Código	Descripción	Símbolo
P-48 ZONA DE PRESENCIA DE PEATONES	Advierte al conductor sobre el posible paso de peatones	
P-48a PROXIMIDAD DE CRUCE PEATONAL	Advierte al conductor la proximidad de un cruce o paso peatonal, en caso la vía se pavimentada debe complementarse con marcas en el pavimento.	
P-48b CRUCE PEATONAL	Advierte al conductor la ubicación de un cruce o paso peatonal	
P-56 ZONA URBANA	Advierte al conductor la proximidad de un centro poblado (Zona urbana). Se colocara a una distancia mínima de 200 m próxima a la zona urbana.	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.23

4.8.5. SEÑALES DE INFORMACIÓN.

Informan a los usuarios, los notables y principales puntos de paso (Abrás, ríos, túneles), posicionamiento y proximidad de lugares (Anexos, distritos, ciudades), lugares turísticos e arqueológicos, infraestructuras de cruce (Puentes), entre otros. Así mismo sirven de guía al lugar de destino.

4.8.5.1. Características.

■ **Color y forma.**

Los tableros son forma rectangular o cuadrada, en general son con fondo color verde, con tipografía y simbología de color blanco.

■ **Tipografía.**

Se recomienda usar la tipografía de la serie "E". A continuación, se muestra la los valores de alturas mínimas de letras $\langle h \rangle$ en función a la velocidad de diseño para leyendas simples (Que no superan dos líneas) y complejas (2 o más líneas de texto).

Tabla 4.8.11 – Altura mínima $\langle h \rangle$ de letras

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	Textos	Altura mínima $\langle h \rangle$ (cm)	
		Simple	Compleja
≤ 50	Mayúsculas	12.5	17.5
50 – 70	Mayúsculas y minúsculas	15	22.5
70 – 90	Mayúsculas y minúsculas	20	30
90 – 120	Mayúsculas y minúsculas	20	35

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Tabla 2.4

■ **Flechas.**

Se usan para indicar la dirección y sentido a tomar para llegar al destino. Las dimensiones están en función de la altura de letras más grandes.




Tabla 4.8.12 – Dimensiones de flechas de destino

$\langle V_d \rangle$ (km/h)	Dimensiones (cm)					
	A	B	C	D	E	R
20	38.0	29.0	9.5	3.3	42.5 – 62.5	2.0
25 – 32.5	45.6	34.8	11.4	4.0	51.0 – 75.0	2.4
40	55.9	42.6	14.0	4.9	62.5 – 87.5	2.9

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Tabla 2.6

Según las características de la vía, puede elegir el tipo de flecha se muestra a continuación.

Tabla 4.8.13 – tipo de flechas

Tipo	Descripción	Símbolo
A	Usado para indicar un grupo de destinos	
B		
C	Para letras menores de 20 cm	

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.26

4.8.5.2. Clasificación.

■ Señales de dirección.

Informan la ubicación o proximidad para llegar a algún lugar de destino a los conductores, codificando y nombrando las vías, así mismos orientan por ejemplo si es necesario tomar una salida o realizar un giro.

Ilustración 4.8.5 – Señales informativas de dirección



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.33

■ Señales de confirmación.

Confirma a los conductores el destino elegido, indicando la proximidad de los lugares continua a la que la vía conduce

Ilustración 4.8.6 – Señales informativas de confirmación



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.39

■ Señales identificación vial.

Codifican la ruta, como asignándole un nombre, símbolo, numeración, independiente mente para zonas urbanas y rurales.

Para zonas rurales, el diseño de señales está representada por escudos, emblemas círculos y otros.

Ilustración 4.8.7 – Señales informativas de identificación



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.40

Ilustración 4.8.8 – Señales informativas de identificación de ruta



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.41

■ **Señales de ubicación.**

Indica límites de jurisdicción de zonas urbanas, además identifica puntos relevantes, infraestructuras, lugares particulares entre otros.

Ilustración 4.8.9 – Señales informativas de localización

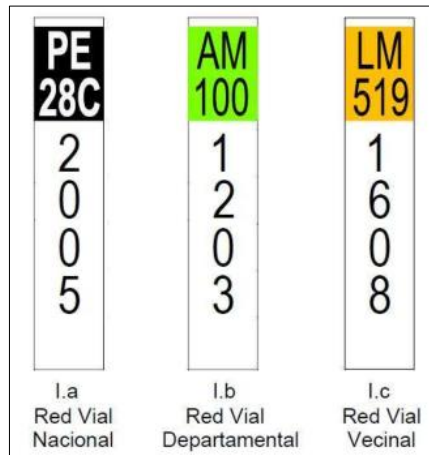


Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.43

Postes de kilometraje.

Tienen por finalidad indicar la distancia desde el punto de origen, segmentándola por 1 kilómetro; a partir de los hitos podremos ubicar las obras complementarias o reparaciones a efectuarse.

Ilustración 4.8.10 – Postes kilométricos (1-2a)



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor en calles y carreteras 2016 – Figura 2.44

4.8.6. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.

4.8.6.1. Generalidades.

Estas conformadas generalmente por formas pintadas en el pavimento, con el fin de ayudar a complementar los dispositivos de control de tránsito, puesto que tienen función de transferir instrucciones y mensaje que otros tipos de dispositivos no pueden hacer efectivamente. Para ello las marcas deberán ser uniformes respecto a su dimensionamiento, diseño, simbología, características, frecuencia de uso, colores, y materiales usados.

■ Colores.

Los colores utilizados en este proyecto se describen a continuación:

Blanco: Para separación de corrientes de tráfico en el mismo sentido, borde de calzada, demarcaciones (Longitudinales, transversal y elevadas), letras, flechas direccionales y estacionamiento.

Amarillo: Para áreas con condiciones especiales.

Azul: Para señales informativas tales como estaciones para movilidad reducida, separación de barriles en peajes.

Rojo: Para rampas de emergencia y zonas restrictivas.

4.8.6.2. Marcas planas en el pavimento.

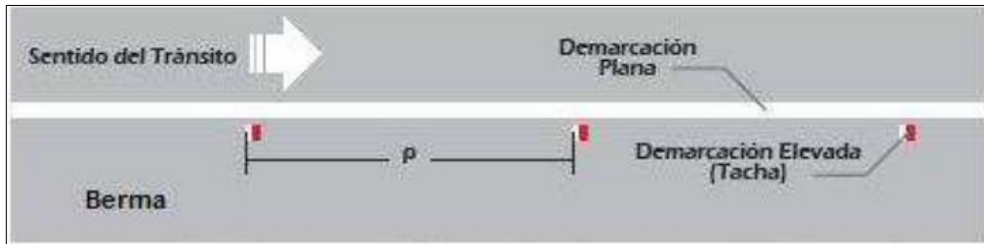
■ Líneas.

Línea borde de calzada:

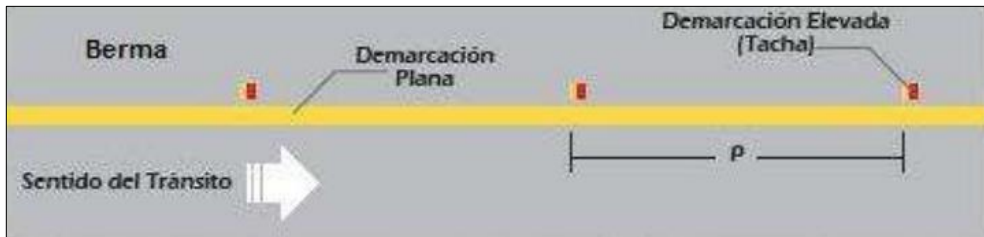
Son líneas continuas que demarcan los bordes de calzada de la superficie de rodadura del pavimento, es pintado de color blanco por razones de emergencia cuando está permitido estacionarse en la berma y de amarillo cuando no lo está.

Ilustración 4.8.11 – Tipo de líneas borde de calzada

(a) separador con línea entre carril y berma derecha



(b) separador con línea entre carril y berma derecha



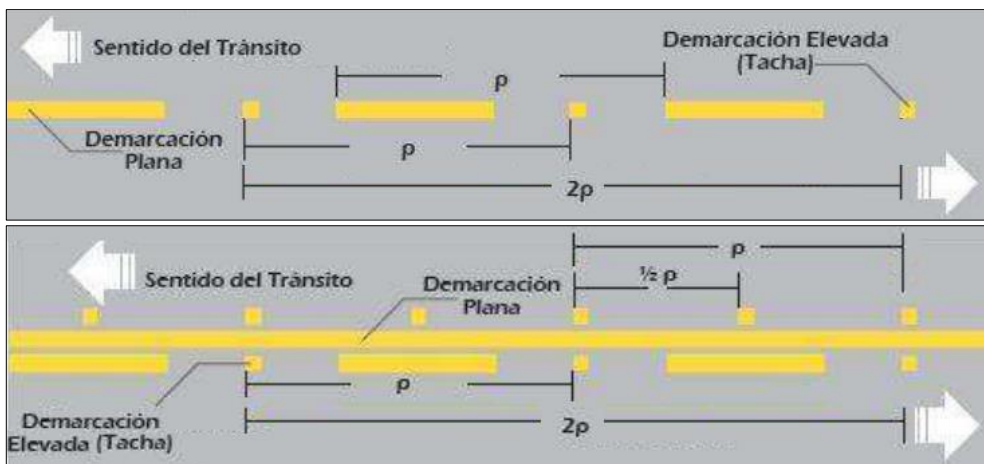
Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.3

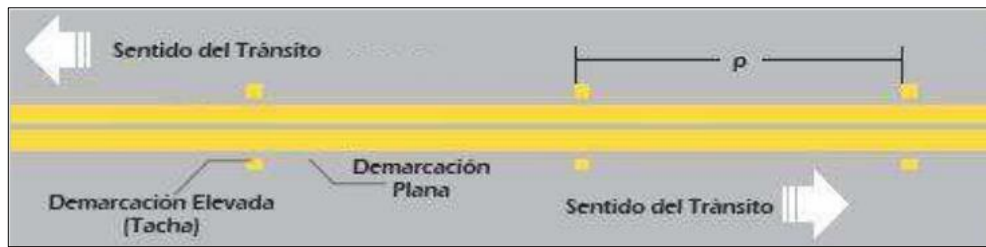
Línea central:

Se proyecta para separar los carriles, son de color amarillo, es segmentada cuando es permitido cruzar al carril continuo por adelantamiento vehicular y continua cuando está prohibido cruzar al otro carril ante este criterio de cruce de carriles pueden demarcarse líneas de combinación mixta. Además, se proyectarán líneas dobles en zonas donde haya escasa visibilidad.

Pueden reforzarse con demarcadores elevado (Tachas) y en caso de no contar con barreras de seguridad guardavía deben complementarse con postes tipo delineadores.

Ilustración 4.8.12 – Tipo de líneas centrales proyectadas





Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.6, 3.7 y 3.8

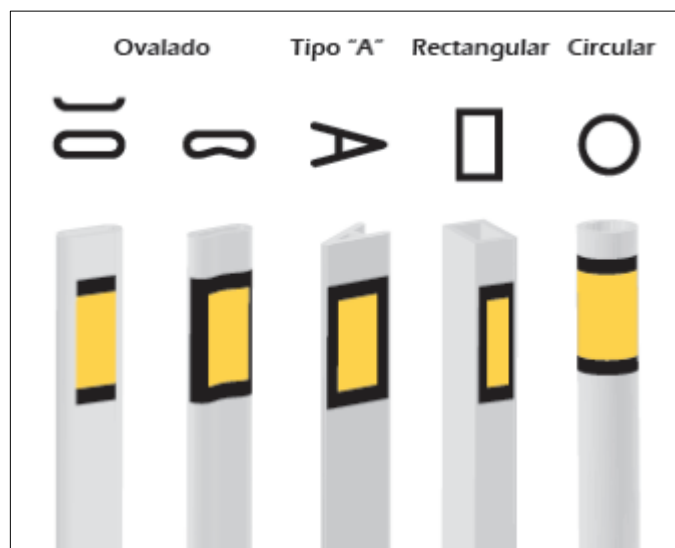
4.8.6.3. Delineadores elevados.

■ Postes delineadores:

Son señales de guía de giro direccional, colocados en forma longitudinal al borde de la vía del principio y final de una curva horizontal abarcando parte de la longitud de transición de la misma.

Deben de contar con cintas retrorreflectivas, y podrán ser de concreto, fibra de vidrio, perfil metálico. Pueden tener la siguiente forma que me muestra a continuación:

Ilustración 4.8.13 – Tipos de sección de postes delineadores

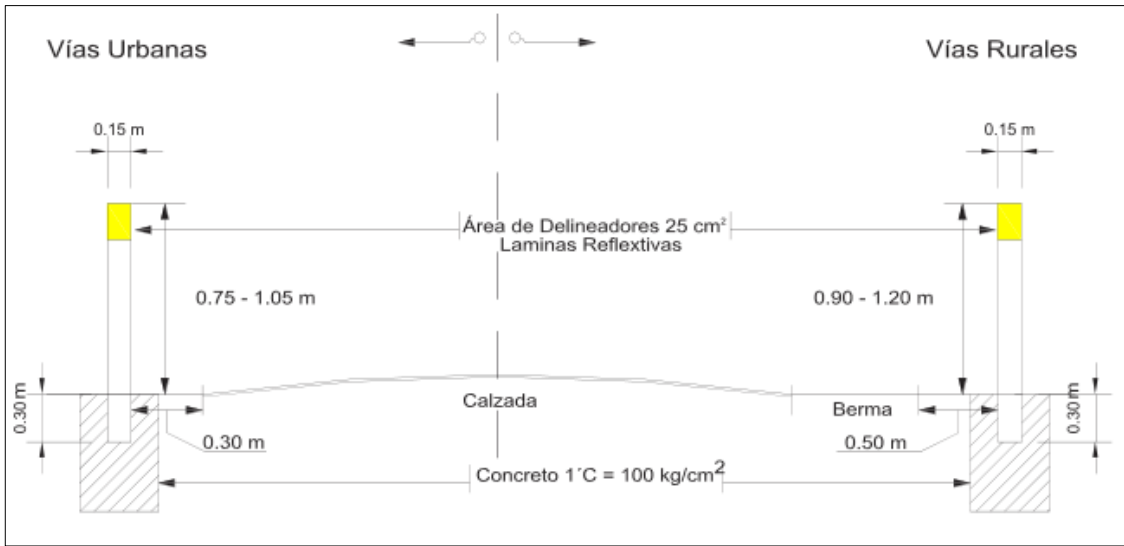


Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.58

Altura

La altura de la cinta retrorreflectiva debe ser uniforme, y la altura $\langle h \rangle$ debe estar entre las alturas $\langle 0.90 - 1.2 \rangle$ m para vías urbanas y de $\langle 0.75 - 1.05 \rangle$ m para vías urbanas, para este proyecto se usó el segundo rango de alturas.

Ilustración 4.8.14 – Ubicación en sección de postes delineadores



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.59

Espaciamiento.

El espaciamiento (e) está en función del radio de curvatura del diseño geométrico.

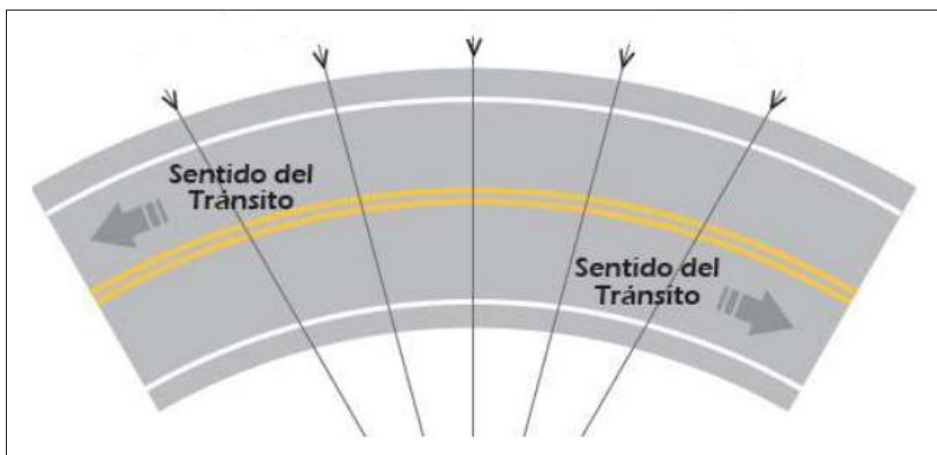
Tabla 4.8.14 – Espaciamiento de postes delineadores

$\langle R \rangle$ (m)	30	40	50	60	70	80	100	150	200	250	300	400	450	500	>500
$\langle e \rangle$ (m)	4	5	6	7	8	9	10	12.5	15	17	18.5	20	21.5	23	24

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Tabla 3.6

A continuación se muestra un ejemplo esquemático de la ubicación, y distribución en planta de los postes delineadores:

Ilustración 4.8.15 – Ubicación en planta de postes delineadores



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.60

■ **Delineador de curva horizontal.**

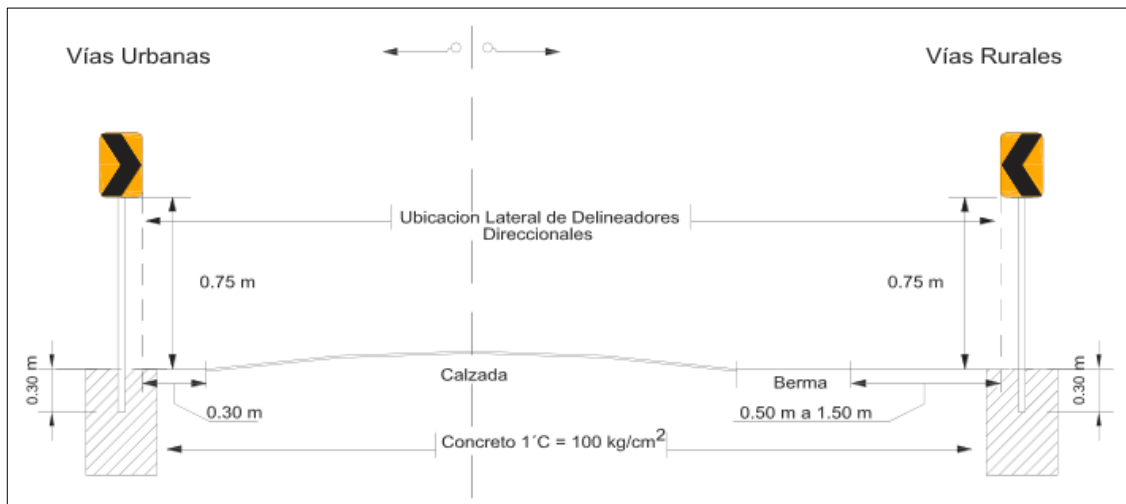
Esta codificado como P-61 "CHEVRON", Son señales de guía de giro direccional, colocados en el lado exterior y en forma longitudinal de una curva horizontal.

Ubicación:

Ilustración 4.8.16 – Vista de postes delineadores "CHEVRON"
(a) en perspectiva



(a) en sección transversal



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Figura 3.61, 3.63

■ **Espaciamiento:**

Tabla 4.8.15 – Espaciamiento de postes delineadores "CHEVRON"

$\langle R \rangle$ (m)	15	50	75	100	150	200	250	300
$\langle e \rangle$ (m)	5	10	12	15	20	22	24	27

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito 2016 – Tabla 3.7

V. DISCUSIÓN

Según la norma hay que cumplir con ciertos requisitos mínimos para el diseño vial.

La investigación realizada por Pino (2018): "Diseño para el mejoramiento de la carretera tramo C.P. Mariposa Leiva – Molino, Chocope, Ascope" con su estudio de suelos y demanda de tráfico, utilizaron el catálogo de estructuras de micro pavimento para determinar el espesor la capa de rodadura contractándose de la investigación actual no se utilizó el catalogo por no ajustase al diseño, pero cual se utilizó el método AASHTO para encontrar los espesores en función al estudio de tráfico y la capacidad portante del suelo.

La investigación realizada por CAJO, José (2014); "Diseño definitivo a nivel de carpeta asfáltica de la carretera Ferreñafe – Mamape (l=3.96km), Manuel Antonio Mesones Muro, Ferreñafe, Lambayeque", aplico la norma de la DG – 2013 para el diseño geométrico determinado como capa de rodadura con material de afirmado; para esta investigación se usó la norma más actual como la DG – 2018, y cruzando un centro poblado GALINDO se realizó un diseño de pavimento flexible en frio.

Paz, Rogelio (2018): "Diseño de mejoramiento de la carretera a nivel de pavimento flexible tramo Casma – Mojeque,, Casma, Ancash", se tomó un $\langle IMD < 400 \rangle$ Veh/día, determinando una $\langle V_d = 40 \rangle$ km/h, la pendiente transversal máxima alcanzada fue de 6.00% y radios mínimos de 50m. y con el actual estudio la pendiente varia con una pendiente transversal máxima de 8 % y para curvas horizontales con radios minimos de 30 m.

Caballero, Víctor: "Diseño del mejoramiento de la carretera a nivel de pavimento flexible tramo hito km119 – Caserío Higosbamba, Cajabamba, Cajabamba, Cajamarca", se obtuvo un ancho de carril de 3.00m con bermas de 0.60m y un peralte máximo de 8%, además de pendiente mínima y máxima de 0.42% y 7.95%, en cuanto al estudio las calzadas con la berma son iguales y el peralte máximo es de 8%, la pendientes (0.5 – 8)%.

Aguilar, Luis (2016): "Diseño Geométrico y Pavimento flexible para mejorar accesibilidad vial entre tres cp. Pomalca, Lambayeque", para su diseño de carretera utilizo los criterios de DG-2018, obteniendo un terreno ondulado el cual en el caso nuestro utilizando la misma norma, se usó para diseñar la carretera en una zona plana.

VI. CONCLUSIONES.

- Con el levantamiento topográfico, según los rangos de orografía el terreno es plano. Considerando para esta investigación una pendiente máxima transversal en curvas de 8% a acuerdo a la ubicación del proyecto que la mayor parte está en zona rural.
- Con los resultados Estudio de Mecánica de Suelos de la vía, se pudo determinar la capacidad de soporte de suelo que promedia a $\langle 0.95CB_r = 13\% \rangle$, lo cual no permite determinar los espesores que componen la infraestructura vial.
- Con el Estudio Hidrológico se determinó los caudales empíricos o teóricos máximos, para el diseñar las obras de drenaje, cuyas dimensiones geométricas puedan admitir estos caudales.
- Se hizo el diseño geométrico de vía, de acuerdo a la DG – 2018, considerando velocidades mínimas en curvas pronunciadas de 30 km/h, y peralte máximo de 8% según la ubicación de la vía.

VII. RECOMENDACIONES

- Al realizarse la ejecución se debe poner las señales informativas para evitar accidentes con los pobladores.
- Se recomienda una programación para darle mantenimiento a la vía y obras de drenaje para mantener su vida útil, cuando entre en funcionamiento, para que se encuentre en buen estado para el usuario.
- Tener en cuenta la calidad de los materiales para el proyecto.
- Utilizar la pintura de tráfico de buena calidad para la señalización de la vía.

VIII. REFERENCIAS

■ Entidades.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO.

Fuente: <http://www.munilaredo.gob.pe/>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – MTC

Fuente: <https://www.gob.pe/mtc>

Repositorio UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/>

Repositorio UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO (UPAO)

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/>

■ Normas:

Clasificación de suelos.

AASHTO – ASTM D-3282. U.S, 2015.

SUCS – ASTM D-2487. U.S, 2017.

■ Manuales:

MTC:

Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2016.

Diseño Geométrico DG-2018.

Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013.

Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014.

Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2016.

■ Libros:

APARICIO, Francisco. Fundamentos de hidrología de superficie, Grupo Noriega Editores, 1992. p. 13.

CASANOVA, Leonardo. Topografía Plana, Universidad de los Andes, 2002. pág. 208.

ESCOBAR, Gonzalo y ESCOBAR, Carlos. Mecánica de Suelos, Universidad Nacional de Colombia, 2002. pág. 13.

■ **Tesis:**

AGUILAR, Luis: “DISEÑO GEOMÉTRICO Y PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR ACCESIBILIDAD VIAL ENTRE TRES CP. POMALCA, LAMBAYEQUE” – Trujillo, UCV 2016.

Fuente: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10105>

CAJO, José; “DISEÑO DEFINITIVO A NIVEL DE CARPETA ASFÁLTICA DE LA CARRETERA FERREÑAFE – MAMAPE (L=3.96KM), MANUEL ANTONIO MESONES MURO, FERREÑAFE, LAMBAYEQUE” – Trujillo, UCV 2014.

Fuente: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10136>

CARDEÑAS, Bryan: “DISEÑO DE LA CARRETERA DE PAMPA LAGUNAS – JOLLUCO, CASCAS, GRAN CHIMÚ, LIBERTAD” – Trujillo, UCV 2017.

Fuente: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10136>

ESQUIVEL, Segundo y QUIÑONES, James: “ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL AFIRMADO ENTRE LAS LOCALIDADES DE SURUVARA Y LA CUCHILLA, SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD” – Trujillo, UCV 2014.

MOSCOL, Jorge y RODRÍGUEZ, Fernando: “DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO QUINTA ALTA, CUMUMBAMBA, PEÑA BLANCA Y SANTA CRUZ, HUAMACHUCO, SÁNCHEZ CARRIÓN, LA LIBERTAD”, – Trujillo, UCV 2016.

Fuente: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20637>

PINO, Cené y QUISPE, Betty: "DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO C.P. MARIPOSA LEIVA – MOLINO CHOCOPE, CHOCOPE, ASCOPE, LA LIBERTAD", – Trujillo, UCV 2018.

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31206>

VÁSQUEZ, José. "MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ENTRE EL CRUCE EMBARCADERO C.P DE PORCÓN ALTO Y EL CRUCE CAMPANARIO CARRETERA A SAN PABLO, CAJAMARCA" – Cajamarca, UCV 2014.

Fuente: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/481>

KANNO, José y QUIROZ, Christian: "DISEÑO DE LA CICLOVÍA COSTANERA AMIGABLE, TRAMO VÍCTOR LARCO HERRERA – HUANCHAQUITO, TRUJILLO, LA LIBERTAD" – Trujillo, UCV 2020

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53513>

OLIVARES, Mayra y PISCOYA Andy: "DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERCAMBIO VIAL A DESNIVEL ENTRE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE CON CARRETERA DE ACCESO AL PUERTO SALAVERRY – TRUJILLO" – Trujillo, UCV 2020

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48911>

CASTILLO, Antony y NOLASCO Herminia: "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL DE LA INTERSECCIÓN AVENIDAS MANSICHE Y PABLO CASALS, TRUJILLO" – Trujillo, UCV 2019

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38601>

PAZ, Rogelio: "DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO CASMA – MOJEQUE, CASMA, ANCASH" – Trujillo, UCV 2018

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36424>

ZAMUDIO, Heike; DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO PARUBAMBA – SHITABAMBA, CAJABAMBA, CAJAMARCA" – Trujillo, UCV 2018

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31210>

CABALLERO, Víctor: "DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA A NIVEL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO HITO KM119 – CASERÍO HIGOSBAMBA, CAJABAMBA, CAJAMARCA" – Trujillo, UCV 2018

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31203>

JULON, Yosseline: “DISEÑO DE LA CARRETERA PARQUE INDUSTRIAL HASTA LA INTERSECCIÓN CON LA VÍA DE EVITAMIENTO EN EL SECTOR EL MILAGRO” – Trujillo, UCV 2018

Fuente: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50100>

ANTÓN, Cristian y YANGUA, María: “EVALUACIÓN DE CANTERA KM. 0+860 Y CARABAMBA EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRAMO DV.LI119: CP. ANCUSH, JULCÁN, LA LIBERTAD” – Trujillo, UPAO 2020

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/6549>

BRICEÑO Torres y NARCIZO, Willy: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE LAS METODOLOGÍAS DE LA AASHTO-93 Y LA DEL INSTITUTO DEL ASFALTO PARA EL CAMINO VECINAL TRAMO JULCÁN – CP. CHUAN PARTE BAJA, JULCÁN, LA LIBERTAD” – Trujillo, UPAO 2019

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/65497>

VASQUEZ, Alejandro y VALDERRAMA, Antony: “ANÁLISIS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA AV. PROLONGACIÓN CESAR VALLEJO ENTRE LA AV. AMÉRICA Y AV. EL GOLF, MEDIANTE EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO, TRUJILLO” – Trujillo, UPAO 2019

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5406>

MANAYAY, Lenin y MUDARRA, Robert: “ESTUDIO DE TRANSITABILIDAD VIAL EN LA AVENIDA AEROPUERTO, HUANCHACO, TRUJILLO - LA LIBERTAD, APLICANDO LA METODOLOGÍA AASHTO 93” – Trujillo, UPAO 2018

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4173>

FLORES, Orlando y VALVERDE, Gerson: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAMIENTO DEL CAMINO VECINAL, TRAMO DESVÍO DE MARKAHUAMACHUCO – SANAGORÁN, SÁNCHEZ CARRIÓN - LA LIBERTAD” – Trujillo, UPAO 2019

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4178>

RUBIO, Heber: "EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. FEDERICO VILLARREAL DEL DISTRITO DE TRUJILLO, APLICANDO EL MÉTODO DEL PCI" – Trujillo, UPAO 2018

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5648>

BERMUDEZ, Carlos: "DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD EN LA PROLONGACIÓN AV. UNO Y LA PROLONGACIÓN SINCHI ROCA, EN EL CP. ALTO TRUJILLO, TRUJILLO, LA LIBERTAD" – Trujillo, UPAO 2018

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5380>

RAMIREZ, Angel: "DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y DRENAJE PLUVIAL DEL SECTOR MAMPUESTO BARRIO 2, EL PORVENIR, TRUJILLO" – Trujillo, UPAO 2021

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7298>

LARA, Diana: "DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR PARA EL SECTOR M" IID-20 ALTO NUEVO PACASMAYO, PACASMAYO, LA LIBERTAD" – Trujillo, UPAO 2019

Fuente: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5931>

IX. ANEXOS.

9.1. ANEXO 01: Documentos.

Imagen 9.1.1 – Solicitud: Solicitud de autorización

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Solicito: AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR ESTUDIOS ACADÉMICOS DE LA VÍA TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO RUTA LI-734.

Señor: Ing. CHAVEZ CASTRO, Miguel O.
Alcalde de la municipalidad distrital de Laredo.


Nosotros, **SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany** con DNI 46576744 y **VITTERI DAGA, Ebert Humberto** con DNI 43451526, estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería con código de estudiante: 7000164669 y 70001102528 respectivamente, de la Universidad CÉSAR VALLEJO, Ante usted con el debido respeto nos presentamos y solicitamos lo siguiente:


Que deseando realizar el proyecto de investigación que lleva por nombre "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD" solicitamos a usted la autorización para realizar los estudios técnicos con fines académicos en la área de influencia del proyecto, estudios que consiste en realizar, estudios topográficos, Excavación es calicatas para el estudio de mecánica de suelos, recorridos de zona para realizar estudios hidrológicos, estudio socioeconómicos, entre otros, estos estudios se harán con el fin de desarrollar proyecto de tesis.

POR LO EXPUESTO:

Rogamos y agradecemos pueda acceder a nuestra solicitud.

Trujillo, 02 de Junio del 2021


SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany
DIN: 46576744


VITTERI DAGA, Ebert Humberto
DNI: 43451526

Adjunto:
Anexo 1 – Ubicación de la vía



 

Imagen 9.1.2 – Solicitud: Solicitud de información técnica

"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Solicito: **INFORMACIÓN PARA REALIZAR ESTUDIOS ACADÉMICOS DE LA VÍA TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO RUTA LI-734.**

Señor: Ing. CHAVEZ CASTRO, Miguel O.
Alcalde de la municipalidad distrital de Laredo.

Nosotros, **SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany** con DNI 46576744 y **VITTERI DAGA, Ebert Humberto** con DNI 43451526, estudiantes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería con código de estudiante: 7000164669 y 70001102528 respectivamente, de la Universidad CÉSAR VALLEJO, Ante usted con el debido respeto nos presentamos y solicitamos lo siguiente:

Que deseando realizar el proyecto de investigación que lleva por nombre "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD" solicitamos a usted la información para realizar los estudios técnicos con fines académicos en la área de influencia del proyecto, como expediente técnico "ASFALTADO DE LA VIA GALINDO-LAREDO II ETAPA DEL DISTRITO DE LAREDO" y ejecuciones de obras realizados en la zona, entre otros, estos estudios se harán con el fin de tener antecedentes y referencia para desarrollar proyecto de tesis.

POR LO EXPUESTO:

Rogamos y agradecemos pueda acceder a nuestra solicitud.

Trujillo, 28 de Junio del 2021



SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany
DIN: 46576744



VITTERI DAGA, Ebert Humberto
DNI: 43451526

Adjunto:

Anexo 1 – Ubicación de la vía

9.2. ANEXO 02: Panel fotográfico.

Reconocimiento preliminar de la zona.

Imagen 9.2.1 – Estado situacional de la vía pavimentada



Imagen 9.2.2 – Estado situacional de la vía no pavimentada



Imagen 9.2.3 – Reconocimiento preliminar de la zona.



Levantamiento topográfico.

Imagen 9.2.4 – Levantamiento topográfico

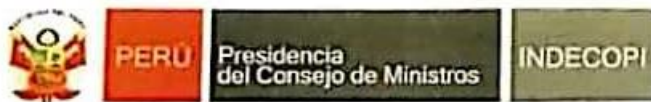


Calicatas.

Imagen 9.2.5 – Calicatas



9.3. ANEXO 02: Estudio de mecánica de suelos.



Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 96193

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 19542-2016/DSD - INDECOPI de fecha 05 de Octubre de 2016, ha quedado inscrita en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación CG CONCRETOS Y GEOTECNIA EIRL LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Distingue : Control de calidad; ensayo de materiales; prospección geológica

Clase : 42 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 657605-2016

Titular : CONCRETOS Y GEOTECNIA E.I.R.L.

País : Perú

Vigencia : 05 de octubre de 2026

Tomo : 482

Folio : 7


RAY MELONI GARCIA
Director
Dirección de Signos Distintivos
INDECOPI

 **CONCRETOS Y GEOTECNIA EIRL**
LABORATORIO DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

ING MIGUEL O CHÁVEZ CASTRO
ALCALDE


Rodvelt Medina Viquez
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 66293

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transitabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD.UNICO 2448679

MUESTRA: 1 CODIGO:

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO

CAPAS N°	5		5		5	
	56		25		12	
N° GOLPES POR CAPA	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8257.00	8410.00	8441.00	8545.00	8195.00	8305.00
PESO DEL MOLDE (gr)	3894.00	3894.00	4170.00	4170.00	3994.00	3994.00
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4363.00	4516.00	4271.00	4375.00	4201.00	4311.00
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm3)	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.06	2.14	2.02	2.07	1.99	2.04
% DE HUMEDAD	4.47	12.37	5.27	13.91	5.27	14.10
DENSIDAD SECA (gr)	1.97	1.90	1.92	1.82	1.89	1.79
CAPSULA N°	1	2	1	2	3	4
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	75.20	81.56	79.20	85.50	78.92	73.12
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	73.00	79.00	72.20	78.50	76.70	70.00
PESO DE LA TARA (gr)	22.70	22.90	22.70	22.90	22.60	21.60
PESO DEL AGUA (gr)	2.20	2.56	7.00	6.00	2.22	3.12
PESO DEL SUELO SECO (gr)	50.30	56.10	49.50	56.60	54.10	48.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.47	12.37	5.27	13.91	5.27	14.10

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
13/06/2019	9:54 a. m.	0	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%
14/06/2019	9:00 a. m.	24	2	0.020	0.0%	13	0.130	0.1%	13	0.130	0.1%
15/06/2019	9:00 a. m.	48	3	0.030	0.0%	15	0.150	0.1%	14	0.140	0.1%
16/06/2019	9:00 a. m.	72	3	0.030	0.0%	15	0.150	0.1%	15	0.150	0.1%

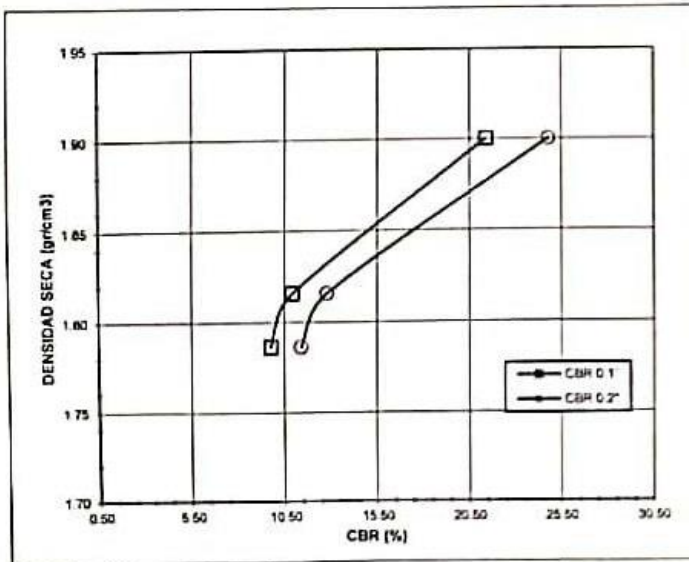
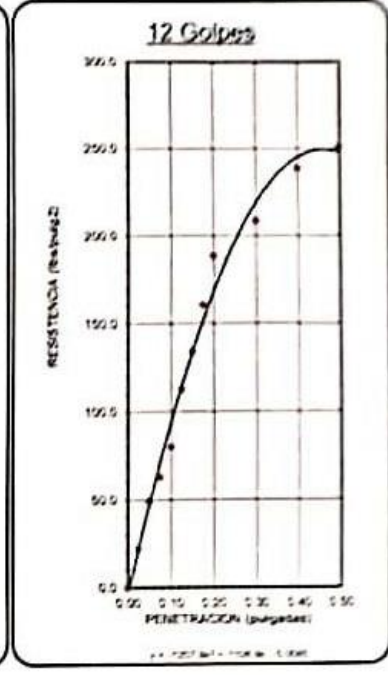
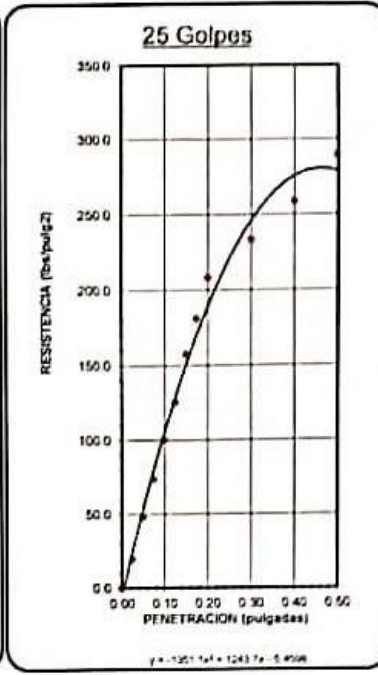
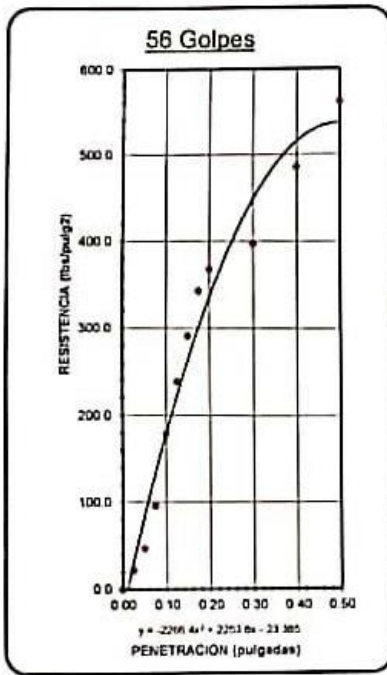
PENETRACION

PENETRACION N (mm)	PENETRACION N (pulg.)	CARGA STANDAR (lbs/pulg.)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
			Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%
0	0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
64	0.025		10.0	22.0	58.6		9.0	4.2	29.6		10.0	22.0	26.7	
127	0.050		21.3	47.0	113.8		22.0	48.5	57.9		22.3	49.2	51.8	
191	0.075		43.6	96.1	165.5		33.6	10.1	84.5		28.6	63.1	75.5	
254	0.100	1000	81.3	179.2	213.8	21.38	45.7	100.8	109.4	10.94	36.4	80.2	97.7	
318	0.125		108.4	239.0	258.5		57.0	27.8	132.6		51.1	112.7	118.3	
381	0.150		132.0	291.0	299.8		71.5	34.4	154.1		60.8	134.0	137.5	
445	0.175		155.4	342.6	337.7		82.3	40.4	174.0		72.9	160.7	155.1	
508	0.200	1500	166.9	368.0	372.0	24.80	94.6	66.3	192.1	12.81	85.6	188.7	171.2	
568	0.225		180.2	397.3	474.8	24.99	105.9	233.5	247.8	13.04	94.7	208.8	220.6	
627	0.250	1900	220.4	485.9	522.0	22.70	117.5	259.0	276.6	12.02	108.4	239.0	245.9	
687	0.275	2300	255.0	562.2	513.7	19.76	131.3	289.5	278.1	10.70	114.1	251.5	246.9	
747	0.300	2600												


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING MIGUEL O. CHAVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodvelt Medina Velasquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293

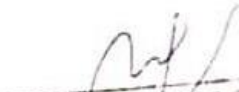


Nº GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm³)
56	24.80	1.90
25	12.81	1.82
12	11.41	1.79

RESULTADOS CBR	
CBR AL 100% DE M.D.S. (%)	24.80
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	12.30


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING MIGUEL O. CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodvelt Medina
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CP N° 62293

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD.UNICO 2448679

MUESTRA: 2 CODIGO:

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO


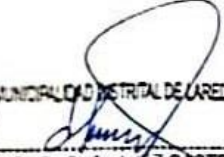
CAPAS N°	5				5							
	56				25				12			
N° GOLPES POR CAPA												
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8321.00		8446.00		8298.00		8365.00		9453.00		9568.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	3527.00		3927.00		3943.00		3943.00		5174.00		5174.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4394.00		4519.00		4355.00		4422.00		4279.00		4394.00	
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm3)	2115.00		2115.00		2115.00		2115.00		2115.00		2115.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.08		2.14		2.06		2.09		2.02		2.08	
% DE HUMEDAD	4.56		11.56		4.96		13.02		4.90		15.10	
DENSIDAD SECA (gr)	1.99		1.92		1.96		1.85		1.93		1.80	
CAPSULA N°	7	8	7	8	9	10	9	10	11	12	11	12
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	78.65	72.33	82.56	76.40	75.12	78.59	76.58	84.51	82.57	73.68	82.56	75.12
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	76.20	70.20	76.80	70.50	72.80	75.70	70.10	77.50	80.00	71.20	74.40	68.80
PESO DE LA TARA (gr)	22.80	23.10	22.80	23.10	22.10	21.60	22.10	21.60	24.20	23.50	24.20	23.50
PESO DEL AGUA (gr)	2.45	2.13	5.76	5.90	2.32	2.89	6.48	7.01	2.57	2.48	8.16	6.32
PESO DEL SUELO SECO (gr)	53.40	47.10	54.00	47.40	50.70	54.10	48.00	55.90	55.80	47.70	50.20	45.30
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.56		11.56		4.96		13.02		4.90		15.10	

EXPANSION

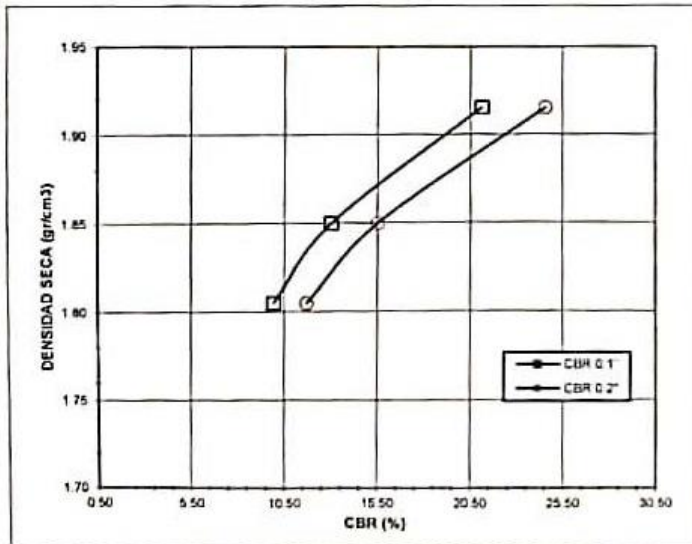
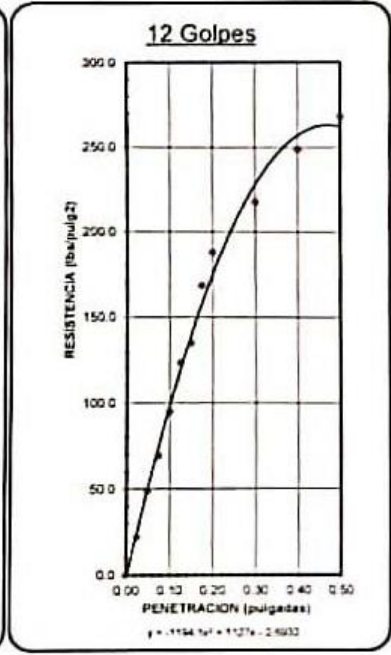
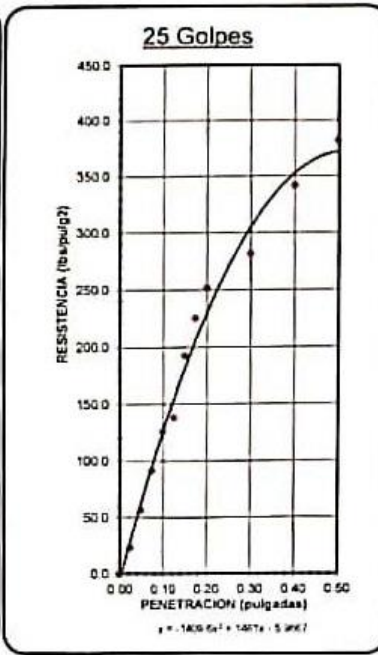
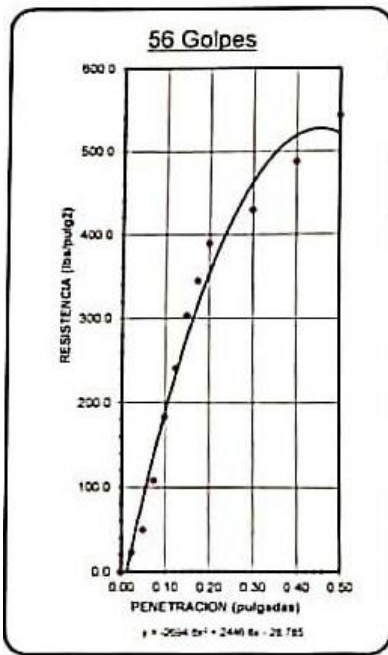
FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/06/2019	10:57 a. m.	0	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%
19/06/2019	10:57 a. m.	24	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	16	0.160	0.1%
20/06/2019	10:57 a. m.	48	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	26	0.260	0.2%
21/06/2019	10:57 a. m.	72	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	28	0.280	0.2%

PENETRACION

PENETRACION N (mm.)	PENETRACION N (pulg.)	CARGA STANDAR (lbs/pulg.)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
			Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%
0	0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
64	0.025		10.5	23.1	57.7		10.7	23.6	34.7		10.0	22.0	26.4	
127	0.050		22.6	49.8	112.2		25.7	56.7	68.4		22.3	49.2	52.2	
191	0.075		49.1	108.2	163.4		41.6	91.7	100.2		31.5	69.4	76.6	
254	0.100	1000	83.3	183.6	211.2	21.12	57.2	126.1	130.3	13.03	43.1	95.0	99.4	9.94
318	0.125		109.2	240.7	255.6		62.8	138.5	159.7		55.9	123.2	120.8	
381	0.150		137.4	302.9	296.6		87.3	192.5	185.2		61.2	134.9	140.7	
445	0.175		156.3	344.6	334.3		102.2	225.3	210.1		76.4	168.4	159.0	
508	0.200	1500	176.7	389.6	368.6	24.57	114.3	252.0	233.1	15.54	85.3	188.1	175.0	11.73
572	0.225	1800	194.8	429.5	472.2	24.85	127.8	281.6	307.7	16.19	98.7	217.6	226.6	12.03
635	0.250	2300	221.1	487.4	521.8	22.69	155.1	341.9	354.1	15.40	112.9	248.9	257.3	11.19
699	0.275	2600	246.0	542.3	517.6	19.91	173.3	382.1	372.3	14.32	121.7	268.3	262.2	10.08


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING MIGUEL O. CHAVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodolfo Medina
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293



Nº GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MAXIMA (g/cm³)
56	24.57	1.92
25	15.54	1.85
12	11.73	1.80

RESULTADOS CBR	
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	24.57
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.56

MUNICIPALIDAD URBANA DE LAREDO

 ING MIGUELO CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE

Rodvelt Medina Velasquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 1º 66293

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transitabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD UNICO 2446679

MUESTRA: 3 CODIGO:

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO

CAPAS N°	6		5		5	
	56		25		12	
N° GOLPES POR CAPA	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8385.00	8510.00	9426.00	9557.00	9451.00	9632.00
PESO DEL MOLDE (gr)	3968.00	3968.00	5133.00	5133.00	5179.00	5179.00
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4417.00	4542.00	4293.00	4424.00	4272.00	4453.00
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm ³)	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.09	2.15	2.03	2.09	2.02	2.11
% DE HUMEDAD	4.90	13.60	4.42	14.27	7.24	18.90
DENSIDAD SECA (gr)	1.99	1.89	1.94	1.83	1.88	1.77
CAPSULA N°	13 14	13 14	15 16	15 16	17 18	17 18
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	81.60 75.90	80.21 75.21	81.25 86.33	75.64 81.68	82.01 77.14	79.25 75.10
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	79.10 73.20	72.60 69.60	78.50 84.10	68.50 75.60	78.20 73.50	71.10 66.50
PESO DE LA TARA (gr)	22.30 23.10	22.30 23.10	24.50 24.60	24.50 24.60	24.50 24.10	24.60 24.10
PESO DEL AGUA (gr)	2.50 2.70	7.61 5.61	2.75 2.23	7.14 6.28	3.81 3.64	8.15 8.60
PESO DEL SUELO SECO (gr)	56.80 50.10	50.30 46.50	54.00 59.50	44.00 51.00	53.60 49.40	46.50 42.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.90	13.60	4.42	14.27	7.24	18.90

EXPANSIÓN

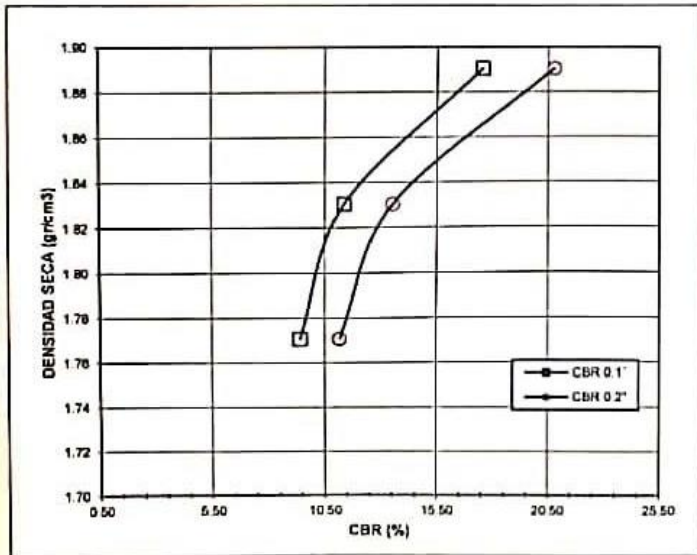
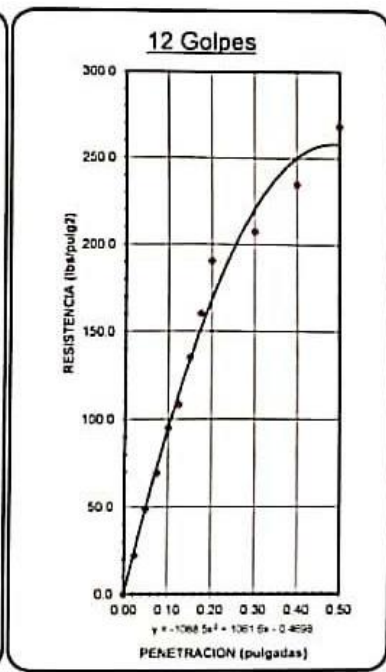
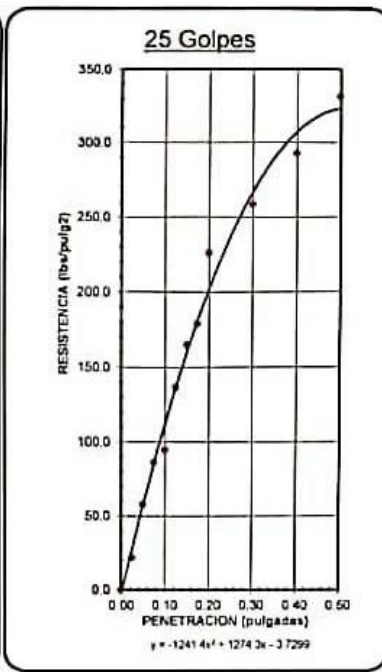
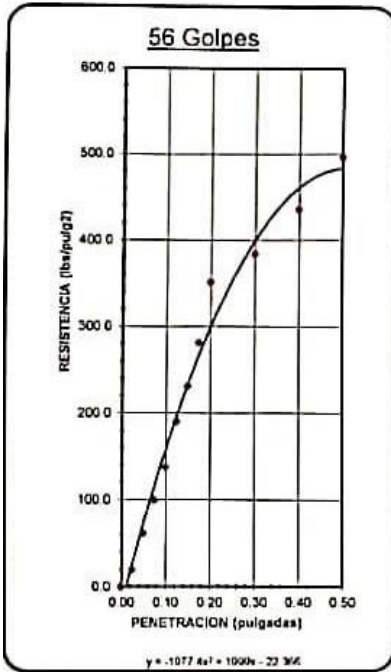
FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
20/06/2019	10.23 a. m.	0	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%
21/06/2019	10.23 a. m.	24	4	0.040	0.0%	14	0.140	0.1%	13	0.130	0.1%
22/06/2019	10.23 a. m.	48	4	0.040	0.0%	15	0.150	0.1%	14	0.140	0.1%
23/06/2019	10.23 a. m.	72	4	0.040	0.0%	16	0.160	0.1%	14	0.140	0.1%

PENETRACION

PENETRACION N (mm)	PENETRACION N (pulg)	CARGA STANDAR (lbs/pulg ²)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03						
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION				
			Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%			
0	0		0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0			0.0	0.0			
64	0.025		9.0	19.8	47.5			10.0	22.0	30.3			10.2	22.5	34.9		
127	0.050		28.0	61.7	92.6			26.4	58.2	59.7			22.1	48.7	49.4		
191	0.075		45.3	99.9	135.3			39.2	86.4	87.5			31.5	69.4	72.6		
254	0.100	1000	62.5	137.8	175.5	17.55		43.0	94.8	113.8	11.38		43.1	95.0	94.4	9.44	
318	0.125		86.4	190.5	213.3			62.1	136.9	138.5			49.2	108.5	114.8		
381	0.150		104.8	231.0	248.5			74.9	165.1	161.7			61.3	135.1	133.9		
445	0.175		127.4	280.9	281.3			81.3	179.2	183.3			72.8	160.5	151.6		
508	0.200	1500	159.4	351.4	311.7	20.78		102.7	226.4	203.4	13.56		86.4	190.5	168.0	11.20	
762	0.300	1900	174.2	384.0	408.2	21.48		117.3	258.6	268.1	14.11		94.1	207.5	219.8	11.57	
1016	0.400	2300	197.5	435.4	465.3	20.23		132.9	293.0	306.0	13.39		106.4	234.9	249.9	10.87	
1270	0.500	2800	225.1	496.3	482.6	16.57		150.4	331.6	323.1	12.43		121.8	268.5	258.2	9.63	


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO
 ING MIGUEL O CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodvel Medina Velásquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293



N° GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MAXIMA (g/cm³)
56	17.55	1.69
25	11.38	1.63
12	6.44	1.77

RESULTADOS CBR	
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	17.55
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.51

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING. MIGUEL O. CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE

Rodolfo Medina Velásquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transitabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD UNICO 2448679

MUESTRA: 4 CODIGO

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO

CAPAS N°	5				5				5			
	N° GOLPES POR CAPA											
	56				25				12			
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8257.00	8410.00	8441.00	8545.00	8195.00	8305.00						
PESO DEL MOLDE (gr)	3894.00	3894.00	4170.00	4170.00	3994.00	3994.00						
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4363.00	4515.00	4271.00	4375.00	4201.00	4311.00						
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm3)	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00						
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.02	2.14	2.06	2.07	1.99	2.04						
% DE HUMEDAD	5.27	12.37	4.47	13.91	5.27	14.10						
DENSIDAD SECA (gr)	1.92	1.90	1.97	1.82	1.89	1.79						
CAPSULA N°	1	2	1	2	3	4	3	4	5	6	5	6
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	75.20	81.56	79.20	85.50	78.92	73.12	82.00	77.50	77.69	72.15	87.40	94.70
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	73.00	79.00	72.20	79.50	76.70	70.00	74.10	71.30	75.30	69.50	79.30	86.40
PESO DE LA TARA (gr)	22.70	22.90	22.70	22.90	22.60	21.60	22.60	21.60	25.30	23.50	25.30	23.50
PESO DEL AGUA (gr)	2.20	2.56	7.00	6.00	2.22	3.12	7.90	6.20	2.39	2.65	8.10	8.30
PESO DEL SUELO SECO (gr)	50.30	56.10	49.50	56.60	54.10	48.40	51.50	49.70	50.00	46.00	54.00	62.90
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.47		12.37		5.27		13.91		5.27		14.10	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
13/06/2019	9:54 a. m.	0	0	0.000	0%	0	0.000	0%	0	0.000	0%
14/06/2019	9:00 a. m.	24	2	0.020	0.0%	13	0.130	0.1%	13	0.130	0.1%
15/06/2019	9:00 a. m.	48	3	0.030	0.0%	15	0.150	0.1%	14	0.140	0.1%
16/06/2019	9:00 a. m.	72	3	0.030	0.0%	15	0.150	0.1%	15	0.150	0.1%

PENETRACION

PENETRACION N (mm)	PENETRACION N (pulg.)	CARGA STANDAR (lbs/pulg.)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03						
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION				
			Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%	Lectura	lbs	lbs/pulg2	%			
0	0		0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0			0.0	0.0			
54	0.025		10.0	22.0	58.6			9.0	4.2	29.6			10.0	22.0	26.7		
127	0.050		21.3	47.0	113.8			22.0	48.5	57.9			22.3	49.2	51.8		
191	0.075		43.6	96.1	165.5			33.6	10.1	84.5			28.6	63.1	75.5		
254	0.100	1000	81.3	179.2	213.8	21.38		45.7	100.8	109.4	10.94		36.4	80.2	97.7	9.77	
318	0.125		108.4	239.0	258.5			57.0	27.8	132.6			51.1	112.7	118.3		
381	0.150		132.0	291.0	299.8			71.5	34.4	154.1			60.8	134.0	137.5		
445	0.175		155.4	342.6	337.7			82.3	46.4	174.0			72.9	160.7	155.1		
508	0.200	1500	166.9	368.0	372.0	24.80		94.6	60.3	192.1	12.81		85.6	188.7	171.2	11.41	
762	0.300	1900	180.2	397.3	474.8	24.99		105.9	233.5	247.8	13.04		94.7	208.8	220.6	11.61	
1016	0.400	2300	220.4	485.9	522.0	22.70		117.5	259.0	276.5	12.02		108.4	239.0	245.9	10.69	
1270	0.500	2600	255.0	562.2	513.7	19.76		131.3	289.5	278.1	10.70		114.1	251.5	246.9	9.60	

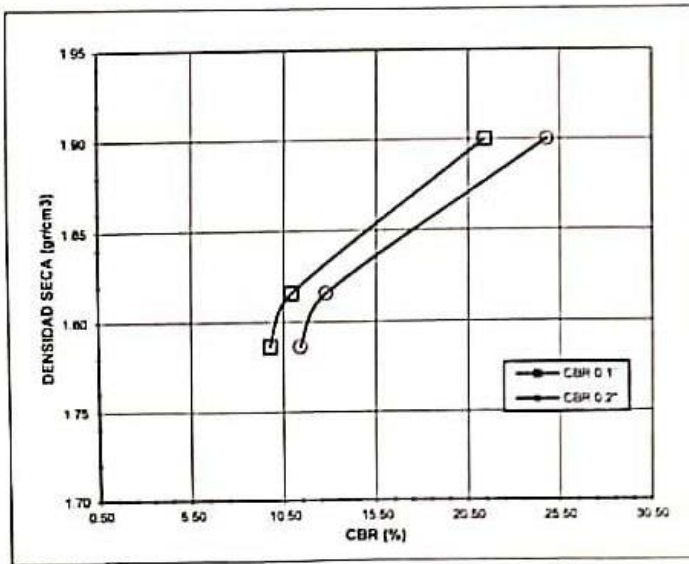
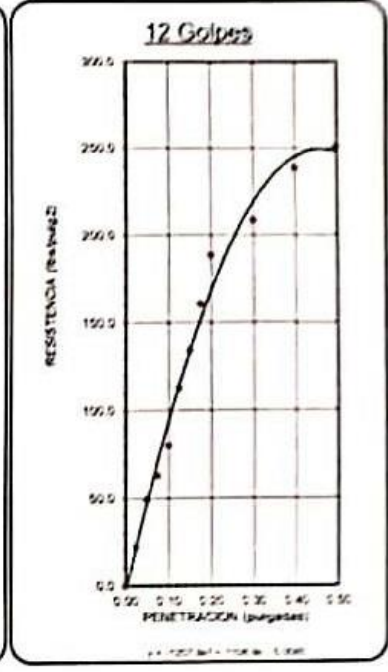
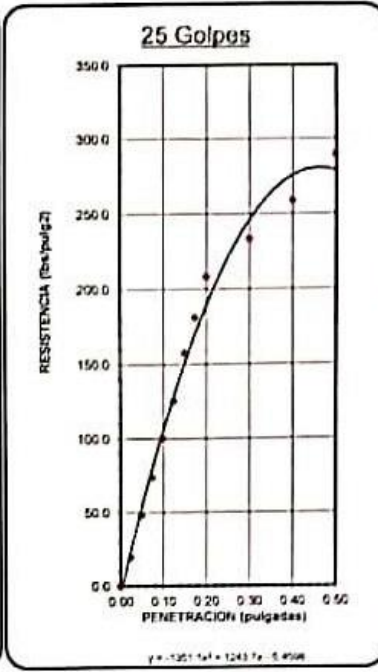
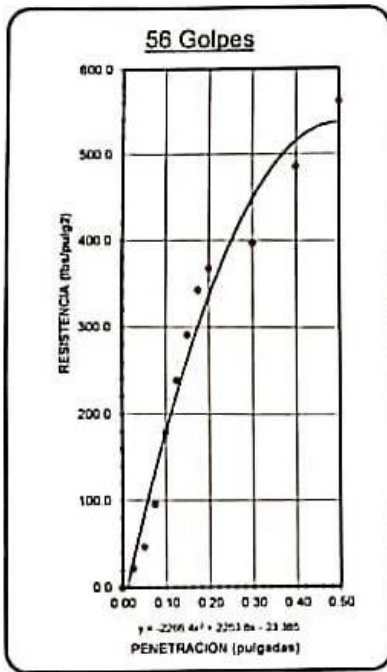
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

[Signature]

ING MIGUEL O CHAVEZ CASTRO
ALCALDE

[Signature]

Rodvelt Medina Melasquez
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 68293



Nº GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm³)
56	24.80	1.90
25	12.81	1.80
12	11.41	1.79

RESULTADOS CBR	
CBR AL 100% DE M.D.S. (%)	24.80
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	12.30


 MUNICIPALIDAD DISTRICTAL DE LAREDO

 ING MIGUEL O. CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodvelt Medina
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CP N° 62233

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD.UNICO 2448679

MUESTRA: 5 CODIGO:

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO

CAPAS N°	5				5							
	56				25				12			
N° GOLPES POR CAPA												
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA		SIN MOJAR		MOJADA	
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8321.00		8445.00		8298.00		8365.00		9453.00		9568.00	
PESO DEL MOLDE (gr)	3527.00		3927.00		3943.00		3943.00		5174.00		5174.00	
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4394.00		4519.00		4355.00		4422.00		4279.00		4394.00	
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm ³)	2115.00		2115.00		2115.00		2115.00		2115.00		2115.00	
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.08		2.14		2.06		2.09		2.02		2.08	
% DE HUMEDAD	4.56		11.56		4.96		13.02		4.90		15.10	
DENSIDAD SECA (gr)	1.96		1.99		1.92		1.85		1.93		1.80	
CAPSULA N°	8	9	7	8	9	10	9	10	11	12	11	12
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	78.65	72.33	82.56	76.40	75.12	78.59	76.58	84.51	82.57	73.68	82.56	75.12
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	76.20	70.20	76.80	70.50	72.80	75.70	70.10	77.50	80.00	71.20	74.40	66.80
PESO DE LA TARA (gr)	22.80	23.10	22.80	23.10	22.10	21.60	22.10	21.60	24.20	23.50	24.20	23.50
PESO DEL AGUA (gr)	2.45	2.13	5.76	5.90	2.32	2.89	6.48	7.01	2.57	2.48	8.16	6.32
PESO DEL SUELO SECO (gr)	53.40	47.10	54.00	47.40	50.70	54.10	48.00	55.90	55.80	47.70	50.20	45.30
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.56		11.56		4.96		13.02		4.90		15.10	

EXPANSION


FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/06/2019	10:57 a. m.	0	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%
19/06/2019	10:57 a. m.	24	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	16	0.160	0.1%
20/06/2019	10:57 a. m.	48	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	26	0.260	0.2%
21/06/2019	10:57 a. m.	72	2	0.020	0.0%	2	0.020	0.0%	28	0.280	0.2%

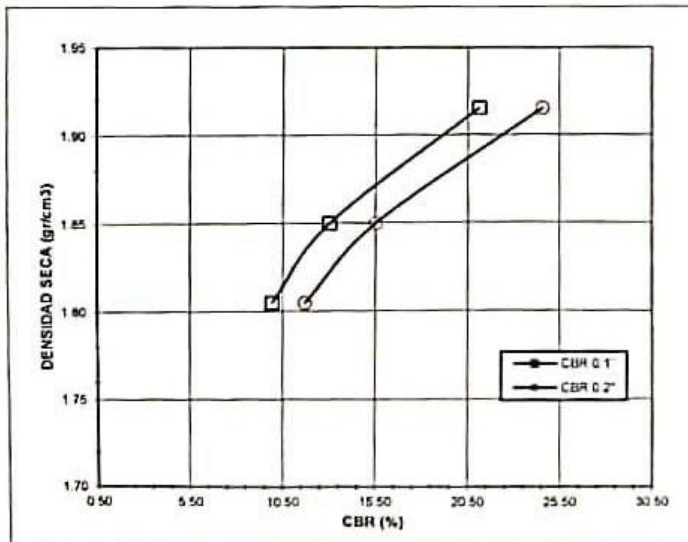
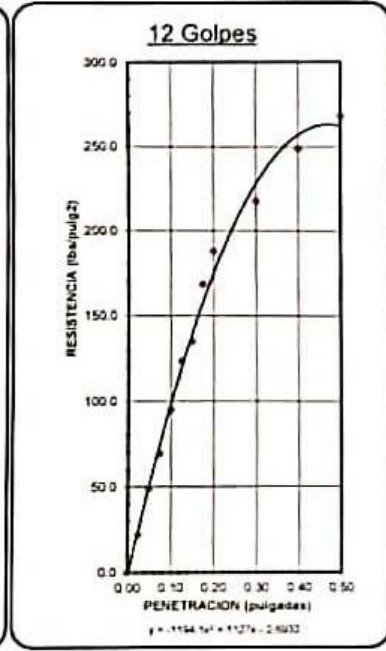
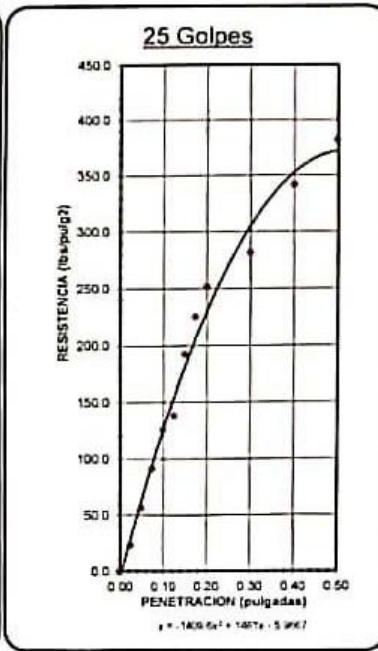
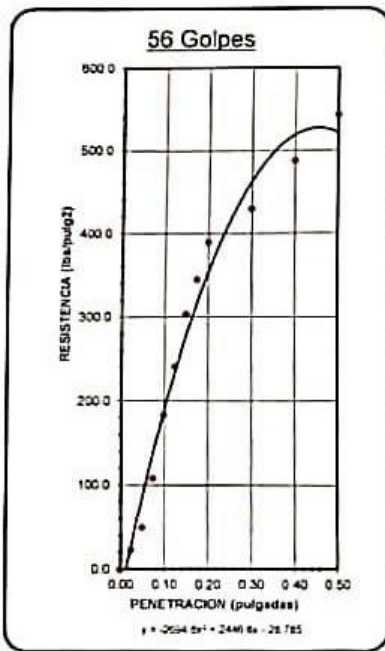
PENETRACION

PENETRACION N° (mm.)	PENETRACION N° (pulg.)	CARGA STANDAR (lbs/pulg ²)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03			
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
			Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%
0	0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	
5/8	0.031		10.5	23.1	57.7		10.7	23.6	34.7		10.0	22.0	26.4	
1 1/8	0.050		22.6	49.8	112.2		25.7	56.7	68.4		22.3	49.2	52.2	
1 3/8	0.075		49.1	108.2	163.4		41.6	91.7	100.2		31.5	69.4	75.6	
1 7/8	0.100	1000	83.3	183.6	211.2	21.12	57.2	126.1	130.3	13.03	43.1	95.0	99.4	9.94
2 1/8	0.125		109.2	240.7	255.6		62.6	138.5	159.7		55.9	123.2	120.8	
2 3/8	0.150		137.4	302.9	296.6		87.3	192.5	185.2		61.2	134.9	140.7	
2 7/8	0.175		156.3	344.6	334.3		102.2	225.3	210.1		76.4	168.4	159.0	
3 1/8	0.200	1500	176.7	389.6	368.6	24.57	114.3	252.0	233.1	15.54	85.3	188.1	175.9	11.73
3 3/8	0.200	1800	194.8	429.5	472.2	24.85	127.8	281.6	307.7	16.19	98.7	217.5	228.6	12.03
3 7/8	0.250	2300	221.1	487.4	521.8	22.69	155.1	341.9	354.1	15.40	112.9	249.9	257.3	11.19
4 1/8	0.300	2500	246.0	542.3	517.6	19.91	173.3	382.1	372.3	14.32	121.7	268.3	262.2	10.08


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING. MIGUEL C. CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE


 Rodolfo Medina
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 60293



N° GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)
56	24.57	1.92
25	15.54	1.85
12	11.73	1.80

RESULTADOS CBR	
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	24.85
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.73

MUNICIPALIDAD URBANA DE LAREDO

 ING MIGUEL O CHAVEZ CASTRO
 ALCALDE

Rodvelt Medina Velasquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 11 66293

CALIFORNIA BEARING RATIO (ASTM - D1883)

PROYECTO: "Mejoramiento de la transitabilidad de la Carretera del centro poblado Galindo del distrito de Laredo - Provincia de Trujillo - Departamento de La Libertad" COD.UNICO 2446679

MUESTRA: 6 CODIGO:

SOLICITANTE: PROFUNDIDAD: 1.5 m

LOCALIDAD: GALINDO DISTRITO: TRUJILLO

PROVINCIA: LAREDO REGION: LA LIBERTAD

CALIFORNIA BEARING RATIO

CAPAS N°	6		5		5	
	N° GOLPES POR CAPA		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA	SIN MOJAR	MOJADA
PESO DEL MOLDE + MUESTRA (gr)	8385.00	8510.00	9426.00	9557.00	9451.00	9632.00
PESO DEL MOLDE (gr)	3968.00	3968.00	5133.00	5133.00	5179.00	5179.00
PESO DEL SUELO HUMEDO (gr)	4417.00	4542.00	4293.00	4424.00	4272.00	4453.00
VOLUMEN DEL DEPOSITO (cm3)	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00	2115.00
DENSIDAD HUMEDA (gr)	2.09	2.15	2.03	2.09	2.02	2.11
% DE HUMEDAD	4.90	13.60	4.42	14.27	7.24	18.90
DENSIDAD SECA (gr)	1.99	1.89	1.94	1.83	1.88	1.77
CAPSULA N°	13 14	13 14	15 16	15 16	17 18	17 18
PESO DE LA TARA + MUESTRA (gr)	81.60 75.90	80.21 75.21	81.25 86.33	75.64 81.68	82.01 77.14	70.25 75.10
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (gr)	79.10 73.20	72.60 69.60	78.50 84.10	68.50 75.60	78.20 73.50	71.10 66.50
PESO DE LA TARA (gr)	22.30 23.10	22.30 23.10	24.50 24.60	24.50 24.60	24.60 24.10	24.60 24.10
PESO DEL AGUA (gr)	2.50 2.70	7.61 5.61	2.75 2.23	7.14 6.23	3.81 3.64	8.15 8.60
PESO DEL SUELO SECO (gr)	56.80 50.10	50.30 46.50	54.00 59.50	44.00 51.00	53.60 49.40	46.50 42.40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.90	13.60	4.42	14.27	7.24	18.90

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO (hrs)	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
20/06/2019	10:23 a. m.	0	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%	0	0.000	0.0%
21/06/2019	10:23 a. m.	24	4	0.040	0.0%	14	0.140	0.1%	13	0.130	0.1%
22/06/2019	10:23 a. m.	48	4	0.040	0.0%	15	0.150	0.1%	14	0.140	0.1%
23/06/2019	10:23 a. m.	72	4	0.040	0.0%	16	0.160	0.1%	14	0.140	0.1%

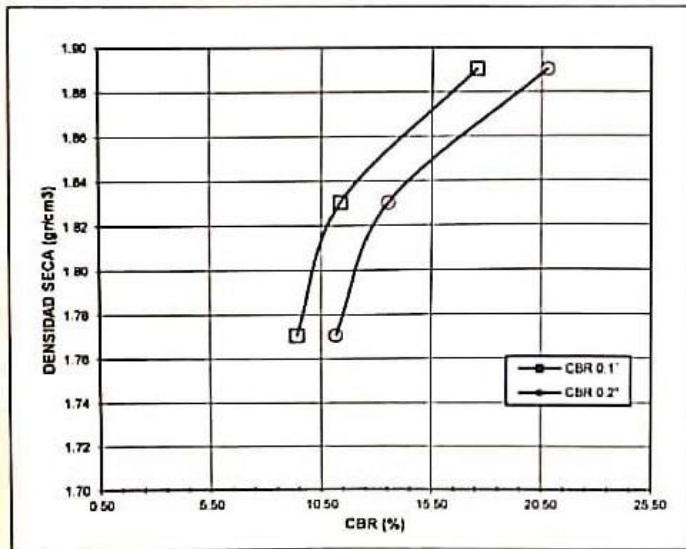
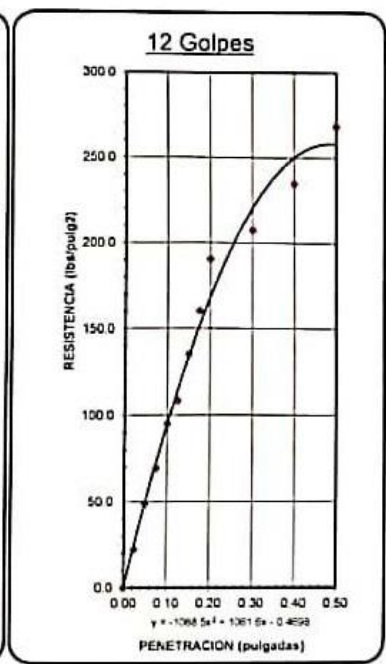
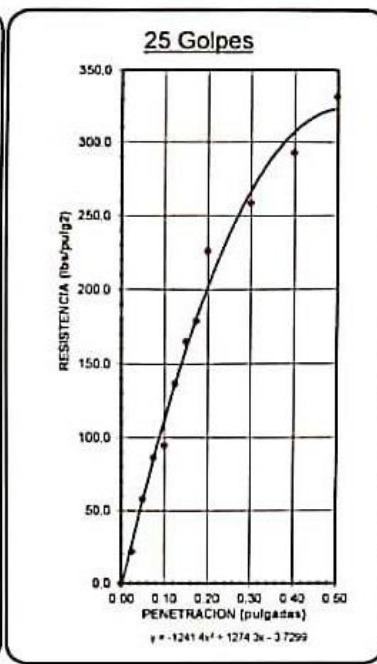
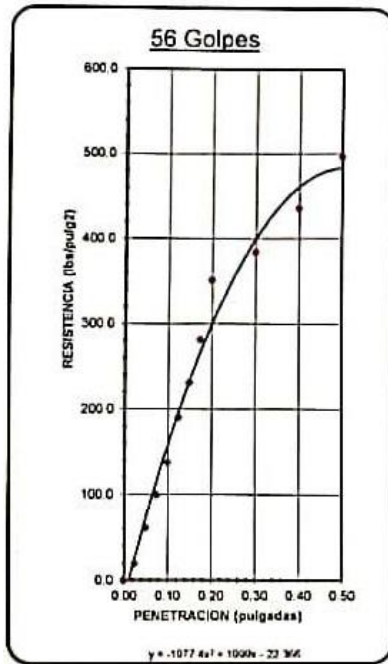
PENETRACION

PENETRACION N (mm)	PENETRACION N (pulg)	CARGA STANDAR (lbs/pulg ²)	MOLDE N° 01				MOLDE N° 02				MOLDE N° 03				
			CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
			Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	Lectura	lbs	lbs/pulg ²	%	
0	0		0.0	0.0	0.0					0.0	0.0	0.0			
64	0.025		9.0	19.8	47.5			10.0	22.0	30.3			10.2	22.5	24.9
127	0.050		28.0	61.7	92.6			26.4	58.2	59.7			22.1	48.7	49.4
191	0.075		45.3	99.9	135.3			39.2	86.4	87.5			31.5	69.4	72.6
254	0.100	1000	62.5	137.8	175.5	21.48		43.0	94.8	113.0			43.1	95.0	94.4
318	0.125		86.4	190.5	213.3	20.23		62.1	136.9	138.5	13.39		49.2	104.5	114.8
381	0.150		104.8	231.0	248.5	16.57		74.9	165.1	161.7	13.39		61.3	135.1	133.9
445	0.175		127.4	280.9	281.3	22.0		81.3	179.2	183.3	11.38		72.8	160.5	151.6
508	0.200	1500	159.4	351.4	311.7	20.78		102.7	226.4	203.4	13.56		86.4	190.5	168.0
762	0.300	1900	174.2	384.0	408.2	21.48		117.3	258.6	268.1	14.11		94.1	207.5	219.8
1016	0.400	2300	197.5	435.4	465.3	20.23		132.9	293.0	308.0	13.39		106.4	234.8	249.9
1270	0.500	2800	225.1	496.3	435.4	16.57		150.4	331.6	323.1	12.43		121.8	268.5	258.2


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

ING. MIGUEL C. CHAVEZ CASTRO
 ALCALDE


Rodvel Medina Velasquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293



Nº GOLPES	CBR (%)	DENSIDAD MAXIMA (gr/cm ³)
56	17.55	1.89
25	11.38	1.83
12	9.44	1.77

RESULTADOS CBR	
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	17.51
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.55

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

 ING. MIGUEL O. CHÁVEZ CASTRO
 ALCALDE

Rodvelt Medina Velasquez
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 66293

CAPITULO N° 01: CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

CANTERA AFIRMADO EL MILAGRO

Es de propiedad privada y se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas 711185.00 E, 9112947.00 N, a 27.80 km desde la progresiva 0+000 del proyecto con Esta cantera está conformada por material tipo aluvial.

Se estima una potencia de 80,000 m³ de material gravo limoso. Los fragmentos tienen forma alargada plana.

Dentro de la clasificación del sistema unificado SUCS, ha sido identificado como GM y por AASHTO A-1-a (0).

Motivo de que la cantera se encuentra a un costado de la carretera su explotación se puede realizar en cualquier época del año.

Explotación : Todo el año.

Equipo para explotación : Tractor s/oruga

Excavadora s/oruga

Cargador Frontal

Zaranda

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LAREDO

ING. MIGUEL O. CHÁVEZ CASTRO
ALCALDE

Propiedad : Privada.

Potencia : 80,000 m³.

Rendimiento : 80%.


Rodvelt Medina Velasquez
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 66293

Materiales a Extraer : Afirmado.

Utilización : Pavimento.

Tabla 5: Resumen de los ensayos de Cantera

CALICATA	HUMEDAD (W) %	L.P %	L.L %	I.P	% Pasante Malla 200	Clasificación		M.D.S Kg/cm ²	CBR (0.1")	
						SUCS	AASHTO		95%	100%
CANTERA	5.46	21	24	3	12.6	GM	A-1-a(0)	1.92	80.97	85.26

VIII. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

8.1. CALICATA: C-7 (E-1)

■ ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.

Peso de muestra seca $P_s = 1827.00$ gr
 Peso retenido (gr) P_r
 Porcentaje de peso (%): Retenido $\%P_r$
 Acumulados retenido $\%P_{ra}$
 Acumulado pasante $\%P_{rap}$

Tabla 8.1.1 – Análisis granulométrico por tamizado en función al peso del muestra

	Abertura de tamiz (a)	Pesos				Grano	Tipo
		Retenido $\langle P_r \rangle$	% Acumulados				
Código	(mm)	$\langle P_r \rangle$ (gr)	$\langle \%P_r \rangle$	$\langle \%P_{ra} \rangle$	$\langle \%P_{rap} \rangle$		
Pulgadas	3"	76.20	-	-	-	100.00	Gravos: $\langle P_r = 5.42 \rangle$ gr
	2½"	63.50	-	-	-	100.00	
	2"	50.60	-	-	-	100.00	
	1½"	38.10	-	-	-	100.00	
	1"	25.40	-	-	-	100.00	
	¾"	19.05	-	-	-	100.00	
	½"	12.70	3.45	0.19	0.19	99.81	
	⅜"	9.53	4.45	0.24	0.43	99.57	
Número	¼"	6.35	6.45	0.35	0.79	99.21	Grueso: $\langle P_r = 1,519.00 \rangle$ gr
	4	4.18	9.45	0.52	1.30	98.70	
	8	2.36	23.35	1.28	2.58	97.42	
	10	2.00	37.90	2.07	4.66	95.34	
	16	1.18	39.45	2.16	6.81	93.19	
	20	0.85	76.33	4.18	10.99	89.01	
	30	0.60	86.80	4.75	15.74	84.26	
	40	0.42	99.70	5.46	21.20	78.80	
	50	0.30	114.00	6.24	27.44	72.56	
	60	0.25	185.50	10.15	37.59	62.41	
	80	0.18	326.80	17.89	55.48	44.52	
	100	0.15	300.10	16.43	71.91	28.09	
200	0.07	259.60	14.21	86.12	13.88	Arenas: $\langle P_r = 1994.58 \rangle$ gr	
Plato ó Lavado		253.67	13.88	100.00	0.00		Fino (1)
			1,827.00	100.00	-	-	

(1) Limos, arcillas y suelos altamente orgánico

Gráfico 8.1.1 – Curva granulométrica



Coefficients de Allen Hazen.

Diámetros de porcentaje que pasan: D_{10} $a = 0.041$ mm
 D_{30} $a = 0.16$ mm
 D_{60} $a = 0.23$ mm

Coefficientes: Uniformidad $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.23}{0.041} = 5.61$

Gradación o curvatura $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.16)^2}{0.041(0.23)} = 2.71$

■ **CONTENIDO DE HUMEDAD.**

Contenido de humedad (%) $W = \frac{P_a}{m_s} \cdot 100$

Tabla 8.1.2 – Cálculo de contenido de humedad (W) por cada ensayo

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 2
Pesos (gr)	Tara (t)	50.73	52.58	50.81
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	148.70	138.83	159.63
	Tara + Muestra seca (P _s)	140.52	131.25	150.19
	Muestra seca (m _s =P _s -t)	89.79	78.67	99.38
	Agua (P _a =P _h -P _s)	8.18	7.58	9.44
Contenido de humedad (W) (%)		9.11	9.64	9.50

Contenido de humedad promedio $W = \bar{W} = 9.41$ %

■ **LÍMITES DE CONSISTENCIA.**

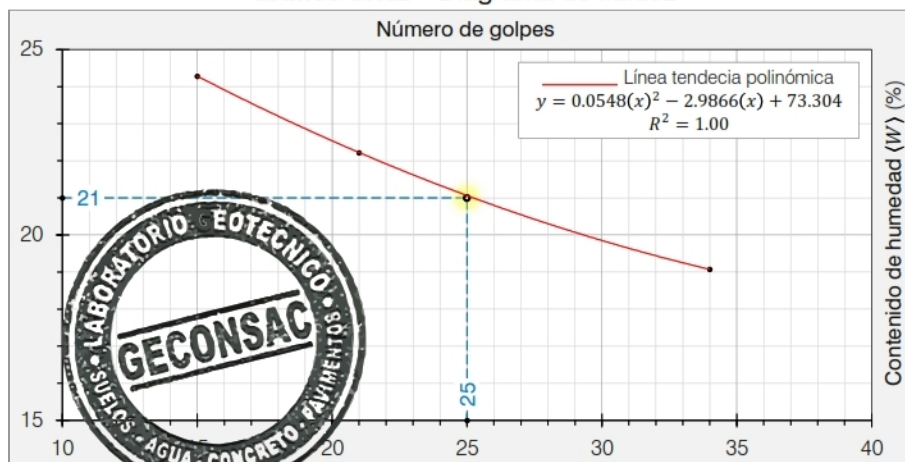
Limite líquido.

Tabla 8.1.3 – Cálculo de contenido de humedad (W) para limite liquido

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Número de golpes		15	21	34
Pesos (gr)	Tara (t)	10.52	10.34	10.60
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	14.41	14.19	12.91
	Tara + Muestra seca (P _s)	13.68	13.49	12.54
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	3.16	3.15	1.94
	Agua (P _a = P _h - P _s)	0.73	0.70	0.37
Contenido de humedad (W) (%)		23.10	22.22	19.07

Número de golpes 25 golpes

Gráfico 8.1.2 – Diagrama de fluidez



Limite líquido $L_l = 21.50$ %

Límite plástico.

Tabla 8.1.4 – Cálculo de contenido de humedad (W) para límite plástico

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Pesos (gr)	Tara (t)	11.43	10.03	10.05
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	12.39	10.91	10.89
	Tara + Muestra seca (P _s)	12.25	10.77	10.84
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	0.82	0.74	0.79
	Agua (P _a = P _h - P _s)	0.14	0.14	0.05
Contenido de humedad (W) (%)		17.07	18.92	6.33

Límite plástico $L_p = \bar{W} = 14.11 \%$

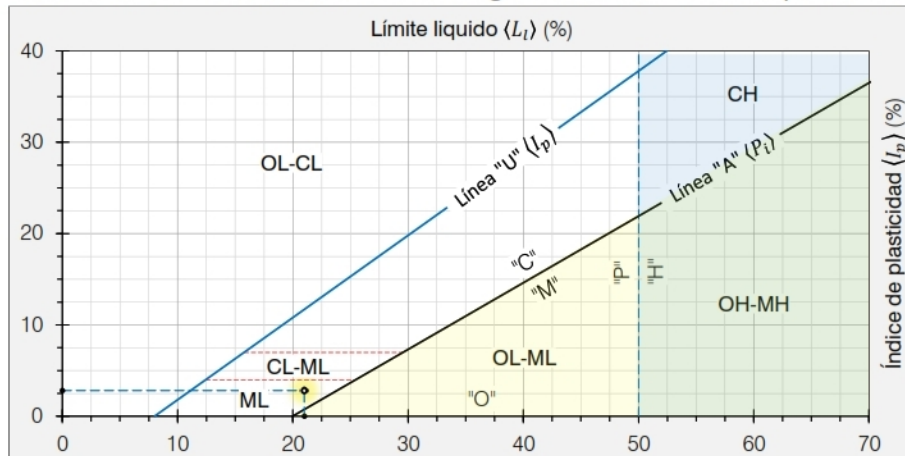
Índices derivados de los límites de Atterberg.

Índices: Plasticidad $I_p = L_l - L_p = 21.5 - 14.11 = 7.39 \%$
 Liqueidez o fluidez $I_f = \frac{W - L_p}{I_p} \cdot 100 = \frac{9.41 - 14.11}{7.39} \cdot 100 = 0 \approx 0 \%$
 Consistencia $I_c = \frac{L_l - W}{I_p} \cdot 100 = \frac{21.50 - 9.41}{7.39} \cdot 100 = 164 \approx 164 \%$
 Contracción $I_s = L_p - I_c = 7.39 - 164 = -149.43 \approx 0 \%$

■ **CLASIFICACIÓN DE SUELOS.**

Clasificación SUCS:

Gráfico 8.1.3 – Ubicación de suelos de granos finos en carta de plasticidad



Clasificación **ML**
 Nombre **Limo de baja compresibilidad**

Clasificación AASHTO:

Clasificación **A-1-a (0)**
 Nombre **Fragmento de piedra, grava y arena de excelente calidad**



■ **PESO ESPECÍFICO.**

Peso específico $\gamma = \frac{m_s}{m_s + (P_{pa} - P_{pam})}$

Tabla 8.1.5 – Cálculo de contenido de humedad (W) para limite liquido

Ensayos		E - 1	E - 2
Pesos (gr)	Picnómetro (p)	125.00	125.00
	Picnómetro + Agua (P _{pa})	679.60	681.60
	Picnómetro + Agua + Muestra (P _{pam})	743.70	746.50
	Tara (t)	10.00	10.00
	Tara + Muestra seca (P _s)	112.00	113.10
	Muestra seca (m _s = P _s - p)	102.00	103.10
	Peso específico (γ) (gr/cm ³)	2.69	2.70

Peso específico promedio $\gamma = \bar{\gamma} = 2.70 \text{ gr/cm}^3$

■ **COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO.**

Número de capas 5 capas

Volumen de molde V_m = 933 cm³

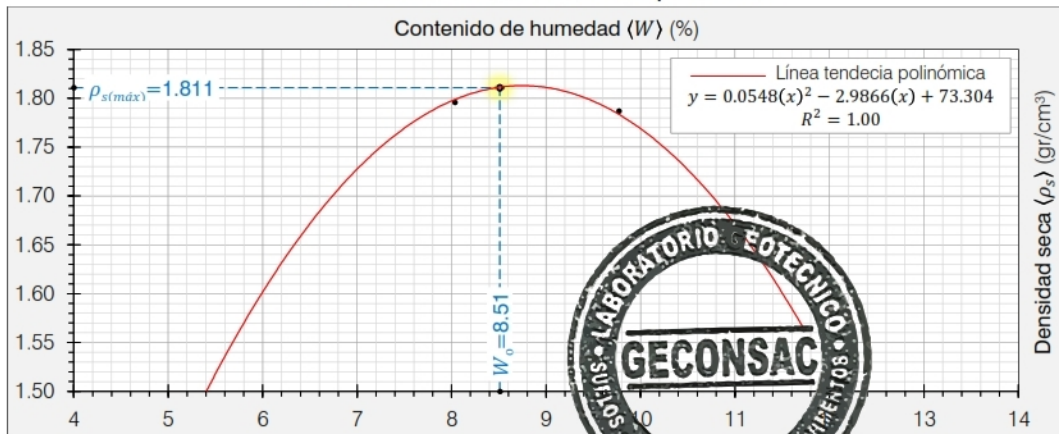
Densidad de muestra (gr/cm³): Húmeda $\rho_h = \frac{m_h}{V_m}$

Seca $\rho_s = \frac{\rho_h}{1 + \frac{W}{100}}$

Tabla 8.1.6 – Cálculo de densidad de suelos para proctor modificado

Nº	Descripción de ensayos	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4
	Número de golpes por capa	12	25	35	56
	Molde	4,280	4,280	4,280	4,280
1	Pesos (gr) Molde + Muestra húmeda (P _h)	5,755	6,090	6,110	5,910
	Muestra húmeda (m _h = P _h - P _m)	1,475	1,810	1,830	1,630
	Densidad de muestra húmeda (ρ _h) (gr/cm ³)	1.58	1.94	1.96	1.75
	Código	J-36	J-11	J-10	J-5
2	Pesos (gr) Tara (t)	9.69	10.17	10.41	10.26
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	97.54	108.75	94	120.61
	Tara + Muestra seca (P _s)	93.04	101.42	86.56	109.03
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	83.35	91.25	76.15	98.77
	Agua (P _a = P _h - P _s)	4.50	7.33	7.44	11.58
	Contenido de humedad (W) (%)	5.40	8.03	9.77	11.72
3	Densidad de muestra seca (ρ _s) (gr/cm ³)	1.50	1.80	1.79	1.56

Gráfico 8.1.4 – Curva de compactación



Máxima densidad seca $\rho_{s(máx)} = 1.811 \text{ gr/cm}^3$

Óptimo contenido de humedad W₀ = 8.51 %

■ **CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO.**

Ensayo de compactación.

Número de capas 5 capas
 Volumen de molde $V_m = 2,119 \text{ cm}^3$
 Densidad de muestra (gr/cm³): Húmeda $\rho_h = \frac{m_h}{V_m}$
 Seca $\rho_s = \frac{\rho_h}{1 + \frac{W}{100}}$

Tabla 8.1.7 – Cálculo de densidad de suelos para $\langle Cbr \rangle$

Nº	Descripción de ensayos	Molde 1	Molde 2	Molde 3	
	Número de golpes por capa	12	25	56	
1	Pesos (g) Molde + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$ Muestra húmeda $\langle m_h = P_h - P_m \rangle$	Molde $\langle P_m \rangle$	7,555	7,555	7,555
		Molde + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$	11,300	11,515	11,730
		Muestra húmeda $\langle m_h = P_h - P_m \rangle$	3,745	3,960	4,175
	Densidad de muestra húmeda $\langle \rho_h \rangle$ (gr/cm ³)	1.767	1.869	1.970	
	Código de tara	T-1	T-2	T-3	
2	Pesos (g) Tara + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$ Tara + Muestra seca $\langle P_s \rangle$ Muestra seca $\langle m_s = P_s - t \rangle$ Agua $\langle P_a = P_h - P_s \rangle$	Tara $\langle t \rangle$	10.04	10.24	10.55
		Tara + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$	86.00	100.13	93.25
		Tara + Muestra seca $\langle P_s \rangle$	82.94	93.87	85.36
		Muestra seca $\langle m_s = P_s - t \rangle$	72.90	83.63	74.81
		Agua $\langle P_a = P_h - P_s \rangle$	3.06	6.26	7.89
Contenido de humedad $\langle W \rangle$ (%)	4.20	7.49	10.55		
3	Densidad de muestra seca $\langle \rho_s \rangle$ (gr/cm ³)	1.696	1.739	1.782	

Ensayo de expansión.

Diámetro de disco espaciador $D_d = 6.429 \text{ cm}$
 Lectura dial (mm) L_d
 Altura de la muestra en el molde $h = 5'' = 127 \text{ mm}$
 Expansión (%) $e = \frac{L_d(f) - L_d(i)}{h} \cdot 100$

Tabla 8.1.8 – Porcentajes de expansión

Tiempo	Molde 1						Molde 2			
	$\langle L_d \rangle$	Expansión $\langle e \rangle$		$\langle L_d \rangle$	Expansión $\langle e \rangle$		$\langle L_d \rangle$	Expansión $\langle e \rangle$		
(día)	(h)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(%)
1	24	1.629	1.629	1.283	1.766	1.766	1.391	1.964	1.964	1.546
2	48	1.705	1.705	1.343	1.850	1.850	1.457	2.078	2.078	1.636
3	72	1.720	1.720	1.354	1.865	1.865	1.469	2.093	2.093	1.648
4	96	1.720	1.720	1.354	1.865	1.865	1.469	2.093	2.093	1.648



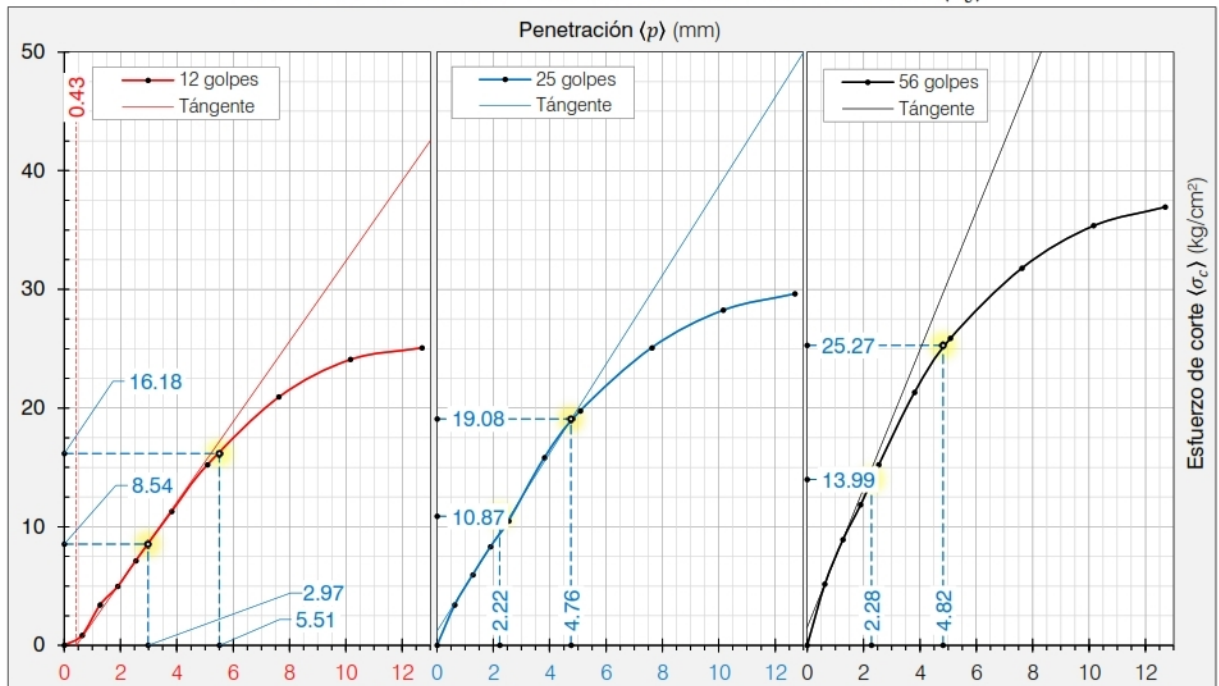
Ensayo de penetración.

Lectura dial (mm) L_d
 Carga (kg) $C = 0.000162(L_d^2) + 8.384329(L_d) + 27.66773$
 Área pistón de penetración $A_p = 19.35 \text{ cm}^2$
 Esfuerzo de corte (kg/cm^2) $\sigma_c = \frac{C}{A_p}$

Tabla 8.1.9 – Cálculo de Cargas $\langle C \rangle$ y Esfuerzos de corte $\langle \sigma_c \rangle$

Ítem	Penetración $\langle p \rangle$		$\langle t \rangle$ (min)	Molde 1			Molde 2					
	(pulg)	(mm)		$\langle L_d \rangle$ (mm)	$\langle C \rangle$ (kg)	$\langle \sigma_c \rangle$ (kg/cm^2)	$\langle L_d \rangle$ (mm)	$\langle C \rangle$ (kg)	$\langle \sigma_c \rangle$ (kg/cm^2)			
1	0.025	0.63	0.5	1	16.4	0.85	14	65.8	3.40	23	100.1	5.17
2	0.05	1.27	1.0	14	65.8	3.40	27	115.3	5.96	42	172.4	8.91
3	0.075	1.90	1.5	22	96.3	4.97	39	161.0	8.32	57	229.6	11.86
4	0.1	2.54	2.0	33	138.1	7.14	50	202.9	10.49	74	294.4	15.21
5	0.15	3.81	3.0	54	218.1	11.27	77	305.8	15.80	105	412.7	21.33
6	0.2	5.08	4.5	74	294.4	15.21	97	382.1	19.75	128	500.5	25.87
7	0.3	7.62	6.0	103	405.0	20.93	124	485.3	25.08	158	615.3	31.80
8	0.4	10.16	8	119	466.2	24.09	140	546.4	28.24	176	684.2	35.36
9	0.5	12.70	10	124	485.3	25.08	147	573.2	29.62	184	714.8	36.94

Gráfico 8.1.5 – Curvas de resistencia a esfuerzos de corte $\langle \sigma_c \rangle$



Relación de soporte de california (%) $Cbr = \frac{\sigma_c}{\sigma_r} \cdot 100$

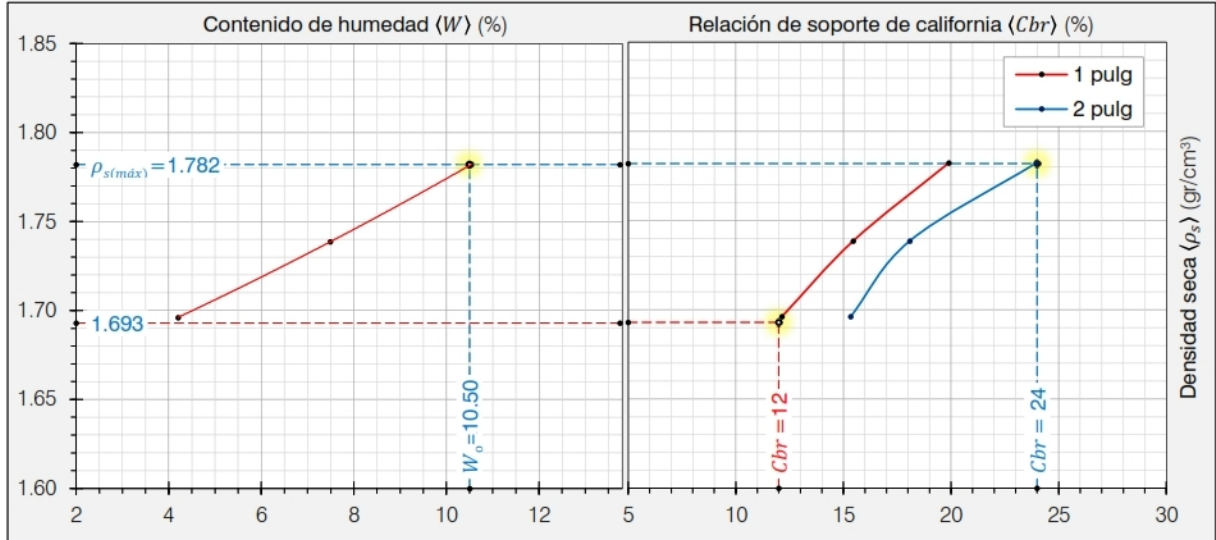


Valores corregidos.

Tabla 8.1.10 – Cálculo de $\langle Cbr \rangle$

Penetración (p)	Esfuerzo referente (σ_r)	Molde 1		Molde 3					
		(pulg)	(mm)	(σ_c) (kg/cm ²)	($\langle Cbr \rangle$) (%)	(σ_c) (kg/cm ²)	($\langle Cbr \rangle$) (%)		
0.10	2.54	1,000	70.31	8.54	12.14	10.87	15.46	13.99	19.89
0.20	5.08	1,500	105.46	16.18	15.34	19.08	18.09	25.27	23.96
Densidad de muestra seca (ρ_s) (kg/cm ³)				1.696		1.739		1.782	

Gráfico 8.1.6 – índice de resistencia del suelo

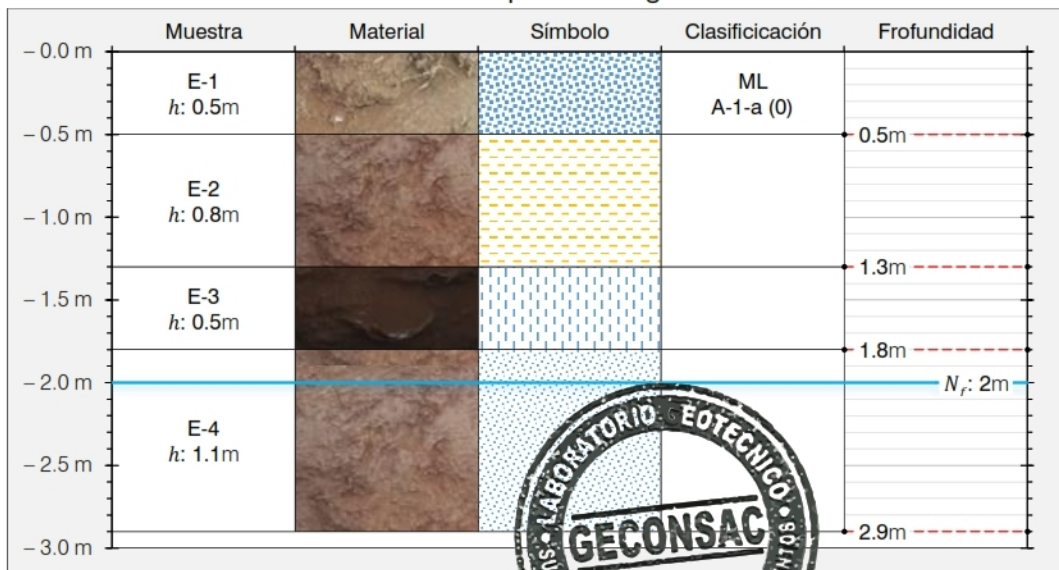


Óptimo contenido de humedad $W_o = 10.50\%$
 Máxima densidad seca $\rho_{s(máx)} = 1.782 \text{ gr/cm}^3$
 Máxima capacidad de soporte del suelo $Cbr = 24.00\%$
 Densidad seca $0.95\rho_{s(máx)} = 1.693 \text{ gr/cm}^3$
 Capacidad de soporte del suelo $0.95Cbr = 12.00\%$

■ **PERFIL ESTRATIGRÁFICO.**

Nivel freático $n_f = 2.00 \text{ m}$

Gráfico 8.1.7 – Análisis de perfil estratigráfico de la calicata



8.2. CALICATA: C-8 (E-1)

■ ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.

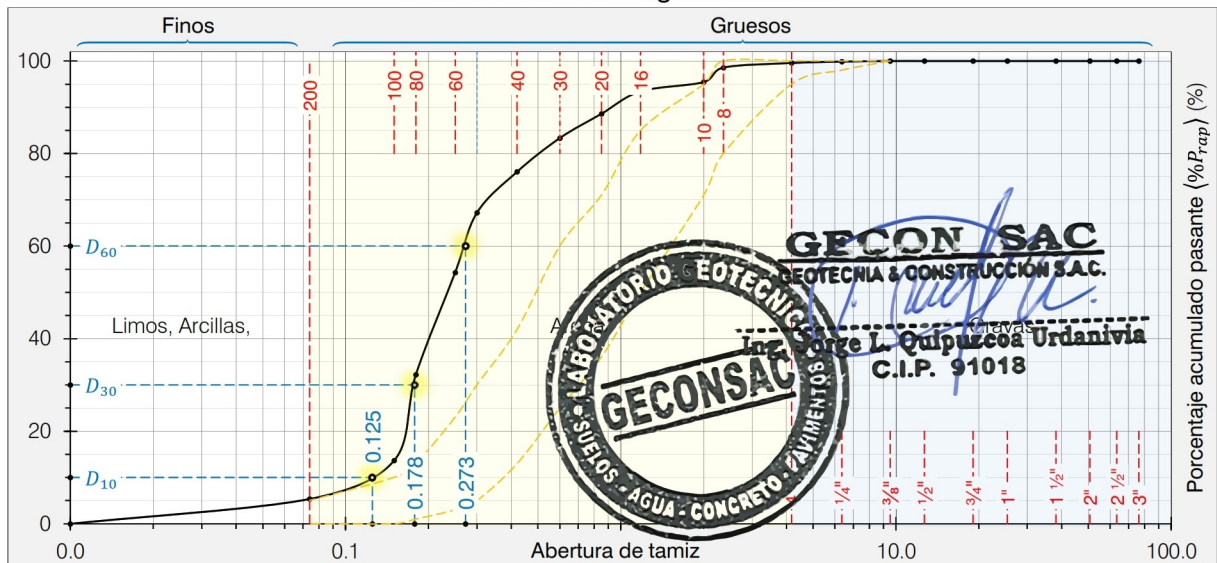
Peso de muestra seca $P_s = 1,755$ gr
 Peso retenido (gr) P_r
 Porcentaje de peso (%): Retenido $\%P_r$
 Acumulados retenido $\%P_{ra}$
 Acumulado pasante $\%P_{rap}$

Tabla 8.2.1 – Análisis granulométrico por tamizado en función al peso del muestra

	Abertura de tamiz (a)	Pesos				Grano	Tipo
		Retenido (P_r)	% Acumulados				
	Código (mm)	$\langle P_r \rangle$ (gr)	$\langle \%P_r \rangle$	$\langle \%P_{ra} \rangle$	$\langle \%P_{rap} \rangle$		
Pulgadas	3"	76.20	-	-	-	100.00	Gravadas: ($P_r = 7.49$) gr
	2½"	63.50	-	-	-	100.00	
	2"	50.60	-	-	-	100.00	
	1½"	38.10	-	-	-	100.00	
	1"	25.40	-	-	-	100.00	
	¾"	19.05	-	-	-	100.00	
	½"	12.70	-	-	-	100.00	
	¼"	6.35	2.25	0.13	0.13	99.87	
Número	4	4.18	5.24	0.30	0.43	99.57	Grueso: ($P_r = 1,660.78$) gr
	8	2.36	17.26	0.98	1.41	98.59	
	10	2.00	55.10	3.14	4.55	95.45	
	16	1.18	35.17	2.00	6.55	93.45	
	20	0.85	85.24	4.86	11.41	88.59	
	30	0.60	92.12	5.25	16.66	83.34	
	40	0.42	127.40	7.26	23.92	76.08	
	50	0.30	155.87	8.88	32.80	67.20	
	60	0.25	226.75	12.92	45.72	54.28	
	80	0.18	387.40	22.07	67.79	32.21	
100	0.15	325.78	18.56	86.36	13.64	Arenas: ($P_r = 1,653.29$) gr	
200	0.07	145.20	8.27	94.63	5.37		
Plato ó Lavado		94.22	5.37	100.00	0.00	Fino (!)	
		1,755.00	100.00				

(!) Limos, arcillas y suelos altamente orgánico

Gráfico 8.2.1 – Curva granulométrica



Coefficientes de Allen Hazen.

Diámetros de porcentaje que pasan: D_{10} $a = 0.125$ mm
 D_{30} $a = 0.178$ mm
 D_{60} $a = 0.273$ mm

Coefficientes: Uniformidad $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.23}{0.041} = 2.18$

Gradación o curvatura $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.16)^2}{0.041(0.23)} = 0.93$

■ **CONTENIDO DE HUMEDAD.**

Contenido de humedad (%) $W = \frac{P_a}{m_s} \cdot 100$

Tabla 8.2.2 – Cálculo de contenido de humedad (W) por cada ensayo

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 2
Pesos (gr)	Tara (t)	50.82	52.74	51.02
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	145.27	142.13	163.48
	Tara + Muestra seca (P _s)	135.25	132.82	151.14
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	84.43	80.08	100.12
	Agua (P _a = P _h - P _s)	10.02	9.31	12.34
Contenido de humedad (W) (%)		11.87	11.63	12.33

Contenido de humedad promedio $W = \bar{W} = 11.94$ %

■ **LÍMITES DE CONSISTENCIA.**

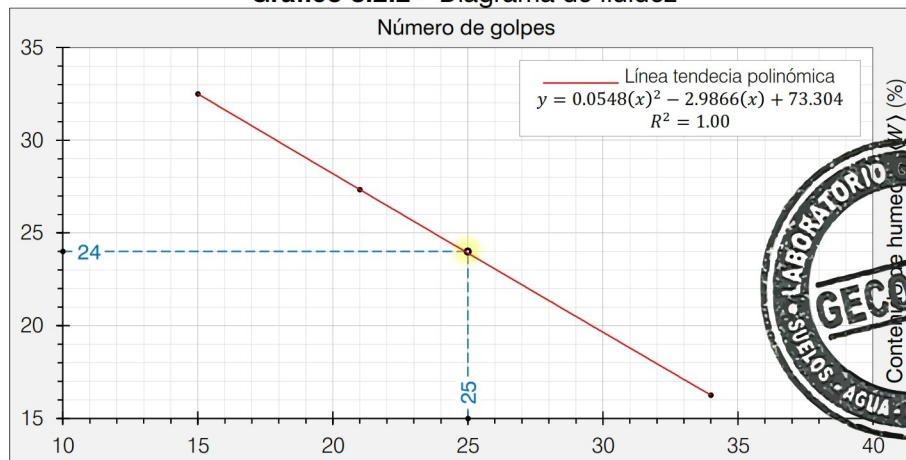
Limite líquido.

Tabla 8.2.3 – Cálculo de contenido de humedad (W) para limite liquido

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Número de golpes		15	21	34
Pesos (gr)	Tara (t)	10.47	10.75	10.42
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	15.24	14.29	13.21
	Tara + Muestra seca (P _s)	14.07	13.53	12.82
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	3.60	2.78	2.40
	Agua (P _a = P _h - P _s)	1.17	0.76	0.39
Contenido de humedad (W) (%)		32.50	27.34	16.25

Número de golpes 25 golpes

Gráfico 8.2.2 – Diagrama de fluidez



Limite líquido $L_l = 24$ %

Limite plástico.

Tabla 8.2.4 – Cálculo de contenido de humedad $\langle W \rangle$ para limite plástico

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Pesos (gr)	Tara $\langle t \rangle$	9.25	10.21	9.98
	Tara + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$	12.27	11.25	11.45
	Tara + Muestra seca $\langle P_s \rangle$	11.94	11.13	11.27
	Muestra seca $\langle m_s = P_s - t \rangle$	2.69	0.92	1.29
	Agua $\langle P_a = P_h - P_s \rangle$	0.33	0.12	0.18
	Contenido de humedad $\langle W \rangle$ (%)	12.27	13.04	13.95

Limite plástico $L_p = \bar{W} = 13.09 \%$

Índices derivados de los límites de Atterberg.

Índices de plasticidad $I_p = 10.91 \%$

■ **CLASIFICACIÓN DE SUELOS.**

Clasificación SUCS:

Clasificación ML

Nombre Limo de baja compresibilidad

Clasificación AASHTO:

Clasificación A-1-a (0)

Nombre Fragmentos de piedra, grava y arena de excelente calidad



8.3. CALICATA: C-9 (E-1)

■ ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.

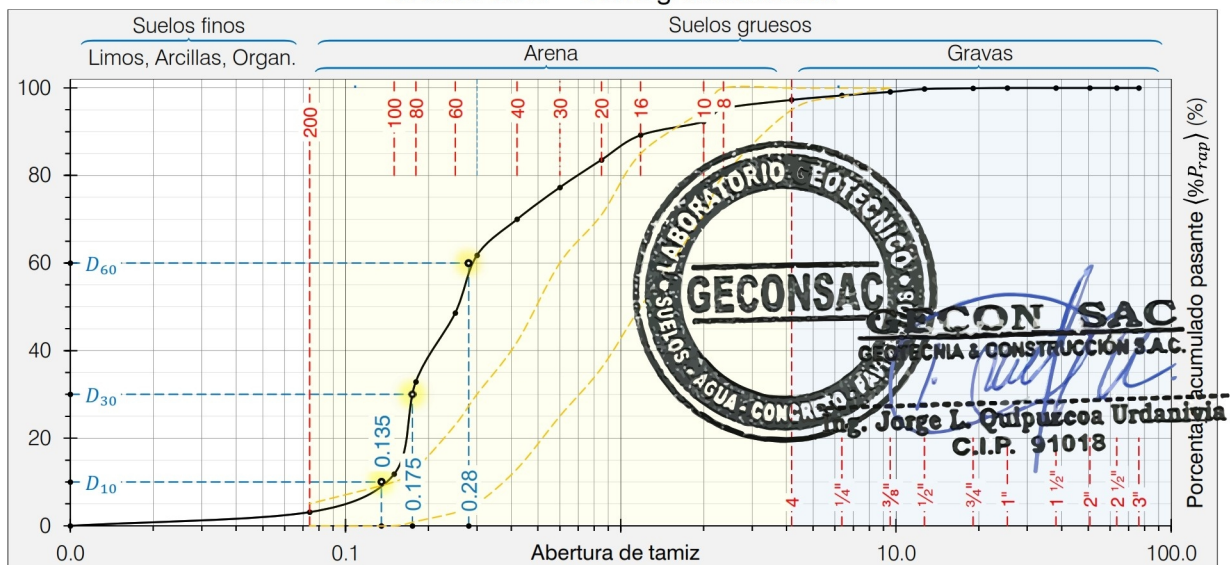
Peso de muestra seca $P_s = 1,445.00$ gr
 Peso retenido (gr) P_r
 Porcentaje de peso (%): Retenido $\%P_r$
 Acumulados retenido $\%P_{ra}$
 Acumulado pasante $\%P_{rap}$

Tabla 8.3.1 – Análisis granulométrico por tamizado en función al peso del muestra

	Abertura de tamiz (a)	Pesos				Grano	Tipo	
		Retenido (P_r)	% Acumulados					
	Código (mm)	$\langle P_r \rangle$ (gr)	$\langle \%P_r \rangle$	$\langle \%P_{ra} \rangle$	$\langle \%P_{rap} \rangle$			
Pulgadas	3"	76.20	-	-	100.00	Grano: ($P_r = 1399.76$) gr	Gravas: ($P_r = 24.82$) gr	
	2½"	63.50	-	-	100.00			
	2"	50.60	-	-	100.00			
	1½"	38.10	-	-	100.00			
	1"	25.40	-	-	100.00			
	¾"	19.05	1.00	0.07	0.07			99.93
	½"	12.70	2.50	0.17	0.24			99.76
	⅜"	9.53	9.66	0.67	0.91			99.09
Número	¼"	6.35	11.66	0.81	1.72	98.28	Graves: ($P_r = 1420.18$) gr	
	4	4.18	14.66	1.01	2.73	97.27		
	8	2.36	28.56	1.98	4.71	95.29		
	10	2.00	43.11	2.98	7.69	92.31		
	16	1.18	44.66	3.09	10.78	89.22		
	20	0.85	81.54	5.64	16.43	83.57		
	30	0.60	91.01	6.30	22.72	77.28		
	40	0.42	104.91	7.26	29.98	70.02		
	50	0.30	119.22	8.25	38.23	61.77		
	60	0.25	190.71	13.20	51.43	48.57		
	80	0.18	226.21	15.65	67.09	32.91		
	100	0.15	305.30	21.13	88.22	11.78		
200	0.07	125.05	8.65	96.87	3.13			
Plato ó Lavado		45.24	3.13	100.00	0.00	Fino (!)		
-		1,445.00	100.00	-	-	-	-	

(!) Limos, arcillas y suelos altamente orgánico

Gráfico 8.3.1 – Curva granulométrica



Coeficientes de Allen Hazen.

Diámetros de porcentaje que pasan: D_{10} $a = 0.1351$ mm
 D_{30} $a = 0.175$ mm
 D_{60} $a = 0.28$ mm

Coeficientes: Uniformidad $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.28}{0.135} = 2.07$

Gradación o curvatura $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.175)^2}{0.135(0.28)} = 0.81$

■ **CONTENIDO DE HUMEDAD.**

Contenido de humedad (%) $W = \frac{P_a}{m_s} \cdot 100$

Tabla 8.3.2 – Cálculo de contenido de humedad (W) por cada ensayo

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 2
Pesos (gr)	Tara (t)	51.38	53.23	51.46
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	148.35	139.48	160.28
	Tara + Muestra seca (P _s)	141.17	132.90	151.84
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	89.79	79.67	100.38
	Agua (P _a = P _h - P _s)	7.18	6.58	8.44
Contenido de humedad (W) (%)		8.00	8.26	8.41

Contenido de humedad promedio $W = \bar{W} = 8.22$ %

■ **LÍMITES DE CONSISTENCIA.**

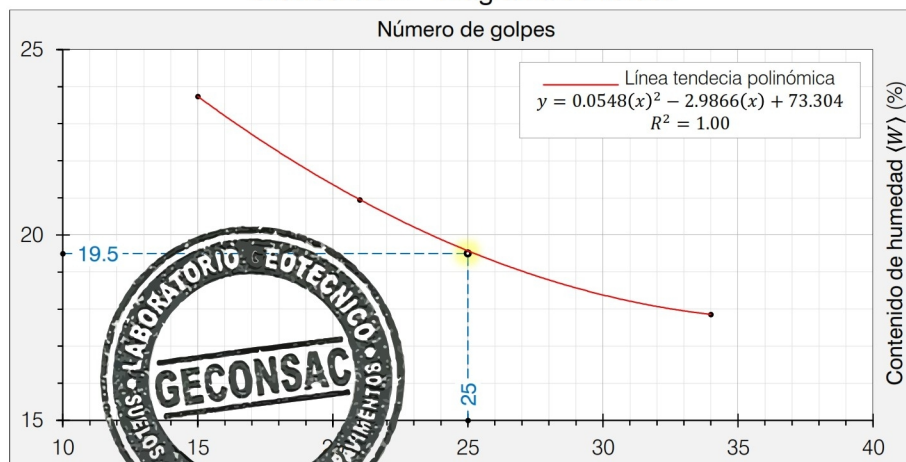
Limite líquido.

Cálculo de contenido de humedad (W) para limite liquido

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Número de golpes		15	21	34
Pesos (gr)	Tara (t)	11.04	10.86	11.12
	Tara + Muestra húmeda (P _h)	14.95	14.67	13.43
	Tara + Muestra seca (P _s)	14.20	14.01	13.08
	Muestra seca (m _s = P _s - t)	3.16	3.15	1.96
	Agua (P _a = P _h - P _s)	0.75	0.66	0.35
Contenido de humedad (W) (%)		23.73	20.95	17.86

Número de golpes 25 golpes

Gráfico 8.3.2 – Diagrama de fluidez



Limite líquido $L_l = 19.50$ %

Limite plástico.

Tabla 8.3.3 – Cálculo de contenido de humedad $\langle W \rangle$ para limite plástico

Ensayos		E - 1	E - 2	E - 3
Pesos (gr)	Tara $\langle t \rangle$	11.95	10.55	10.57
	Tara + Muestra húmeda $\langle P_h \rangle$	12.93	11.42	11.43
	Tara + Muestra seca $\langle P_s \rangle$	12.77	11.29	11.36
	Muestra seca $\langle m_s = P_s - t \rangle$	0.82	0.74	0.79
	Agua $\langle P_a = P_h - P_s \rangle$	0.16	0.13	0.07
	Contenido de humedad $\langle W \rangle$ (%)	19.51	17.57	8.86

Limite plástico $L_p = \bar{W} = 15.31 \%$

Índices derivados de los límites de Atterberg.

Índice de plasticidad $I_p = 4.19 \%$

■ **CLASIFICACIÓN DE SUELOS.**

Clasificación SUCS:

Clasificación ML

Nombre Limo de baja compresibilidad

Clasificación AASHTO:

Clasificación A-1-a (0)

Nombre Fragmento de piedra, grava y arena de excelente calidad



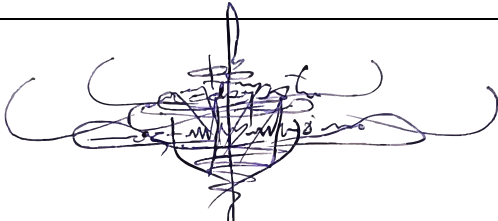

Declaratoria de Originalidad del Autor/ Autores

Nosotros, SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany y VITTERI DAGA, Ebert Humberto, egresados de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura/ Escuela profesional de Ingeniería Civil/ Taller de tesis de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO - Trujillo, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulado: "DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL TRAMO LAREDO – CERRO BLANCO, RUTA LI-734, DISTRITO DE LAREDO, TRUJILLO, LA LIBERTAD", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el trabajo de Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre del 2021.

SOLIS QUIÑONES, Ebber Dany	
DNI: 46576744	Firma 
ORCID: 0000-0001-5557-2688	
VITTERI DAGA, Ebert Humberto	
DNI: 43451526	Firma 
ORCID: 0000-0003-0098-1315	