FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES.

Estudio de tráfico, diseño geométrico, diseño hidrológico, drenaje, diseño de pavimento y presupuesto de la vía San Fernando - Yaguarcocha, cantón San Fernando - provincia del Azuay, longitud de 4 kilómetros.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autores:

PAÚL ANDRÉS PEÑA CABRERA.

CRISTOPHER RENÉ CABRERA GUAMBAÑA.

Director:

JUAN PABLO RIQUETTI MORALES

CUENCA, ECUADOR.

2016.

DEDICATORIA

A Dios por darme a las personas que amo en la vida, mi hermano Jean que en el lugar donde se encuentre, me da la voluntad, la fuerza de seguir adelante y nunca me ha dejado solo

A mi madre Nora, quien me inculco los mejores valores, la cual ha sido un ejemplo de lucha, superación, trabajo, me supo sacar adelante con todo su amor, esfuerzo y ha estado presente apoyándome toda mi vida y lo seguirá haciendo.

Mis abuelos Manuel y Rosa, los cuales constantemente me han demostrado su cariño.

Mi tío Pedro mi segundo padre el cual me quiso como a su hijo, ha velado por mí desde niño al igual que todos estos años

A mi padre Rene el cual me ha apoyado y me ha enseñado lo valioso que es ayudar al prójimo.

Mis hermanas Diana y Juliana al igual que a sus hijos, por el inmenso cariño que he recibido.

Mi padrino Ángel, mis tíos Wilson, Ruperto, Mariana, Leopoldina, Ligia ya que ellos son un ejemplo de trabajo, bondad, siempre me han apoyado económica y moralmente. A todos mis primos en especial a Steven

En fin, todos aquellos que me han ayudado para poder alcanzar una meta más en mi vida.

Cristopher Cabrera G.

Quiero dedicar esta tesis en primer lugar a Dios, luego a mis padres Marco y Ana, a mis hermanos Michelle y Johao que han sido la base fundamental en la realización de este proyecto. En especial a todas las personas que han influido de forma positiva en mi formación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA……..….ii

ÍNDICE DE CONTENIDOS……..….iii

ÍNDICE DE FIGURAS……...……..x

ÍNDICE DE TABLAS……..…....xiii

RESUMEN……..…….xvii

ABSTRACT……..….….xviii

INTRODUCCIÓN…….……..1

CAPÍTULO I. ESTUDIOS PRELIMINARES…….....…….....3

1.1 Generalidades…...……..……..….....3

1.1.1 Introducción…...……...…….……..……....3

1.1.2 Condiciones climáticas de la zona……..…….……3

1.1.3 Localización, descripción y justificación del proyecto…….....3

1.1.4 Estudio de las actividades socio económicos de la población…….……4

1.2 Topografía…….…….……...….…….…....…...5

1.2.1 Introducción y definición……..…….…….....5

1.2.2 Trazado de la poligonal……...……..…….…….…….5

1.2.3 Reconocimiento, ubicación de los puntos de inicio y fin de la carretera……....6

1.2.4 Levantamiento topográfico……..……...…6

1.2.5 Curvas de nivel…….……....…….…7

1.3 Estudio de suelos……...…….....7

1.3.1 Toma de muestras……...……...…....7

1.3.2 Ensayos de laboratorio…….....…….…8

1.3.2.1 Análisis granulométrico……..……...……...…8

1.3.2.2 Limite líquido……...…….……8

1.3.2.3 Límite plástico…...…….……..9

1.3.2.4 Índice de plasticidad……...……...….9

1.3.2.5 Índice de liquidez……..9

1.3.2.6 Contenido de humedad……...…….….9

1.3.2.7 Carta de plasticidad……..……...……10

1.3.2.8 Proctor modificado……..……11

1.3.2.9 Determinación del CBR……...…...…….…...11

1.3.3 Resultados de análisis de laboratorio….....……12

1.4 Estudio geológico……....……...…...……..13

1.4.1 Introducción…....…….…..……..…13

1.4.2 Características geológicas de la zona……...…..14

1.4.3 Zonas de inestabilidad……...…….14

1.4.4 Conclusiones…..…….…..14

1.4.5 Estudio de tráfico y población……...…….……...15

1.4.5.1 Determinación del TPDA……...……....15

1.4.5.2 El factor horario……...……..……16

1.4.5.3 Factor diario……...…….16

1.4.5.4 Factor semanal……...17

1.4.5.5 Factor mensual……..…….……..……17

1.4.5.6 Tráfico existente…...……..……18

1.4.5.7 Proyecciones del tráfico……...…...……18

1.4.6 Estudio de la población servida…….……19

1.4.6.1 Población demandante……...…….19

1.4.6.2 Población objetivo……...……...19

1.4.7 Clasificación de la vía según su orden….…….….20

1.4.7.1 Clasificación administrativa.....20

1.4.7.2 Clasificación técnica oficial……...…….20

1.4.7.2.1 Clasificación por capacidad TPDA……..21

1.4.7.2.2 Clasificación por jerarquía vial……21

1.4.7.2.3 Clasificación por la funcionalidad de la red vial…….22

CAPÍTULO II. DISEÑO HORIZONTAL Y VERTICAL DE LA VÍA.....….23

2.1 Dibujo y diseño……..……..……..…...……23

2.1.1 Normas de diseño……..….23

2.1.1.1 Derecho de vía…….....……23

2.1.1.2 Sección transversal de la vía……..……...….23

2.1.1.3 Ancho de corona……..……...……..……..24

2.1.1.4 Ancho de superficie de rodamiento……...….…24

2.1.1.5 Gradientes……...……...…25

2.1.1.6 Gradientes transversales…….....……25

2.1.1.7 Velocidad de diseño……..……..……..25

2.1.1.8 Distancia de visibilidad de parada……..……...28

2.1.1.9 Desarrollo del peralte…….....……32

2.1.1.10 Sobreancho……..……....….35

2.1.1.11 Longitudes de curvas……..…….…...…38

2.1.1.12 Grado de curvatura……..……..……38

2.1.1.13 Curvas circulares……..…….…...…38

2.1.1.14 Curvas verticales……..……..……..……40

2.1.1.15 Curvas verticales cóncavas……..……41

2.1.1.16 Pendientes…….……42

2.1.1.17 Taludes……...……...….……...……43

2.1.1.18 Cortes……...……...……..43

2.1.1.19 Rellenos……....…….…...……44

2.1.1.20 Cálculo de volúmenes……...……44

2.1.1.21 Movimiento de terracerías…….….……..44

2.1.1.22 Acarreo…….….....……...……45

2.1.1.23 Sobre acarreo……45

2.1.1.24 Préstamos y desperdicios……..……46

2.1.1.25 Curvas de masas……..……..46

2.2 Diseño definitivo…….……..……....…….……..….47

2.2.1 Diseño Horizontal……..……47

2.2.2 Diseño Vertical……..54

2.2.3 Diseño Transversal…….…56

2.2.4 Sección Transversal…….……..61

2.2.5 Materiales…….……..62

CAPÍTULO III: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE…….....68

3.1 Variables de entrada…..…...……..……...68

3.1.1 Cargas equivalentes en el periodo de diseño…….....…68

3.1.1.1 LEF (Load Equivalent Factor)…….....69

3.1.1.2 Factor de distribución por dirección……...69

3.1.1.3 Factor de distribución por carril……..…70

3.1.1.4 Índice de servicialidad……...…….……70

3.1.1.5 Factor camión……..…….....71

3.1.1.6 Factor de crecimiento…….……...……..…...72

3.1.1.7 Cálculo de ejes equivalentes en el diseño……..….73

3.2 Confiabilidad en el diseño……..…….……75

3.2.1 Desviación estándar del sistema……...……..…….……75

3.2.2 Módulo de resiliencia (Mr)……...……76

3.2.3 Módulo de los materiales que forman el pavimento…….…….77

3.3 Diseño estructural del pavimento…….……..…77

3.3.1 Determinación del número estructural requerido……...……...77

3.3.2 Coeficiente elástico de capas (ai)……...78

3.3.3 Factores de drenajes de capas (mi)……..…..80

3.3.4 Selección de los espesores de las capas…….…81

3.4 Diseño del pavimento definitivo……..……....83

CAPÍTULO IV: ESTUDIO HIDROLÓGICO……..…….……95

4.1 Drenaje superficial…….…...95

4.1.1 Intensidad de lluvias máximas……...……95

4.1.2 Caudal máximo para el diseño de estructuras de obra menor……..…..94

4.1.2.1 Coeficiente de Escorrentía……..95

4.1.2.2 Tiempo de Concentración...……95

4.1.2.3 Método empleado para la determinación del caudal……..95

4.2 Alcantarillas…….....…….……..102

4.2.1 Sección y tipo de alcantarillas……..……..……102

4.2.2 Carga permisible de entrada (HEP)……102

4.2.3 Velocidades máximas y mínimas en las alcantarillas……..……102

4.2.4 Diseño de alcantarilla circular…….....103

4.2.4.1 Coeficiente de rugosidad (n)…….....103

4.3 Drenaje subterráneo……...……104

4.3.1 Subdrenes…….……..……104

4.3.1.1 Cálculo de caudal en los subdrenes….……105

4.3.1.2 Profundidad y espaciamiento……105

4.3.1.3 Materiales y recomendaciones…….….105

4.4 Cunetas…….…….....106

4.4.1 Diseño de cunetas ….……...……...…....106

4.4.1.1 Cunetas laterales…….……..…..106

4.5 Estudio hidrológico e hidráulico del proyecto….…….110

4.5.1 Test de Kolmogorov Smirmov……..……..……..…….122

4.5.2 Diseño del caudal máximo……...……..125

4.5.3 Diseño de cunetas…….……..….127

4.5.4 Diseño hidráulico de cunetas……..……..……...128

4.5.5 Datos y resultados de cálculo…….…..129

4.5.6 Diseño de alcantarillas…….130

4.5.7 Flujo con control de salida……...……..……130

4.5.8 Cálculo de alcantarillas del proyecto…….……..……..134

CAPÍTULO V: PRESUPUESTO……..……..…….....….135

5.1 Determinación de rubros……...……..…135

5.2 Cantidades de obra……...….…..136

5.2.1 Objetivos……..……...…….136

5.2.2 Desarrollo…….…….…….….136

5.3 Análisis de precios unitarios……..…….……..…..136

CONCLUSIONES……..….…….…….....138

BIBLIOGRAFÍA……..……..….……...140

ANEXOS…….……...…….142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Determinación del proyecto vial……..4

Figura 1. 2 Carta de plasticidad……...10

Figura 1. 3 Formaciones geológicas del Ecuador……13

Figura 1. 4 Características del camino Agrícola/ Forestal……..…..21

Figura 2. 1 Gráfico de distancia de parada……....29

Figura 2. 2 Distancia de visibilidad de parada terreno plano……..……..30

Figura 2. 3 Distancia de visibilidad de parada en pendiente…….31

Figura 2. 4 Peralte de acuerdo al tipo de área…….……..33

Figura 2. 5 Esquema para determinar el sobreancho en un carril……..36

Figura 2. 6 Composición de curva circular……...39

Figura 2. 7 Representación de cálculo de curva de masa……..46

Figura 2. 8 Creación de alineación……..……..47

Figura 2. 9 Composición de alineación…….48

Figura 2. 10 Norma de diseño de alineación……48

Figura 2. 11 Configuración de curva y espiral……49

Figura 2. 12 Configuración de radio por defecto para curva…….…49

Figura 2. 13 Selección de tangentes con curvas para el diseño……..50

Figura 2. 14 Trazado de curvas entre tangentes……..50

Figura 2. 15 Notificación de incumplimiento de norma…….51

Figura 2. 16 Edición de etiquetas……..….51

Figura 2. 17 Valores predeterminados en etiquetas…….52

Figura 2. 18 Creador de estilo de etiqueta en curva……....52

Figura 2. 19 Vista de etiquetado……..53

Figura 2. 20 Configuración de la etiqueta PI…….…….53

Figura 2. 21 Asignación de etiquetas al diseño…….…….54

Figura 2. 22 Vista de etiqueta PI……54

Figura 2. 23 Colocación del ancho de calzada……55

Figura 2. 24 Valores de diseño de calzada…….…56

Figura 2. 25 Colocación del peralte en los carriles…….56

Figura 2. 26 Creación del perfil de terreno…….57

Figura 2. 27 Creación de perfil de diseño……...…58

Figura 2. 28 Configuración de curva vertical…….……58

Figura 2. 29 Diseño con la opción tangente con curva…….……..59

Figura 2. 30 Creación de la sección transversal…….…59

Figura 2. 31 Eje transversal de la calzada…….….60

Figura 2. 32 Sección transversal de la vía…….…….60

Figura 2. 33 Propiedades del ensamblaje…….….61

Figura 2. 34 Configuración de la calzada……..61

Figura 2. 35 Configuración de la cuneta……..……..…62

Figura 2. 36 Configuración del talud derecho……...62

Figura 2. 37 Sección definitiva del proyecto……....63

Figura 2. 38 Creación de la obra lineal…….63

Figura 2. 39 Asignación de objetivos en la obra lineal……..…….64

Figura 2. 40 Creación de las líneas de muestreo…….…64

Figura 2. 41 Vista de sección transversal por líneas de muestreo…….……..65

Figura 2. 42 Configuración para el cálculo de materiales……..….66

Figura 2. 43 Configuración de los materiales empleados……..…….66

Figura 3. 1 Peso y tipo de vehículos motorizados……...68

Figura 3. 2 Gráfica del módulo de resilencia……..…….76

Figura 3. 3 Nomograma para el diseño de pavimento flexible……78

Figura 3. 4 Esquema del número estructural…….……..82

Figura 3. 5 Grafica percentil-CBR. …….86

Figura 3. 6 Entrada de datos programa AASHTO93……...……87

Figura 3. 7 Verificación del número estructural……..……89

Figura 3. 8 Numero estructural de la base……91

Figura 3. 9 Número estructural de la subbase. …….……91

Figura 3. 10 Número estructural de la subrasante…….92

Figura 4. 1 Anuario meteorológico 2011…….…95

Figura 4. 2 Curvas de intensidad de lluvia……...……96

Figura 4. 3 Curvas de intensidad de lluvia Estación M142…….….97

Figura 4. 4 Zonificación de intensidad de lluvias……98

Figura 4. 5 Ecuaciones representativas de la zona…….….99

Figura 4. 6 Cuneta tipo……..…126

Figura 4. 7 Flujo con control de salida……..131

Figura 4. 8 Valor de Ke……..…133

Figura 4. 9 Longitud de quebrada en el sector de María Auxiliadora. ….….134

Figura 4. 10 Longitud de quebrada en el sector de Yaguarcocha…….….134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Ubicación del proyecto vial……..…4

Tabla 1.2 Percentiles de resistencia respecto al tráfico……...……..12

Tabla 1. 3 Conteo automático vehicular……....15

Tabla 1. 4 Consumo de combustibles de la provincia del Azuay……..…17

Tabla 1. 5 Clasificación Funcional de las vías en base al TPDAd…….20

Tabla 2. 1 Clasificación del ancho de calzada según el TPDA……..…24

Tabla 2. 2 Clasificación de superficies de rodadura…….….25

Tabla 2. 3 Clasificación de velocidad de diseño según el TPDA……..…27

Tabla 2. 4 Clasificación del radio y grado de curva…….….28

Tabla 2. 5 Distancia de parada para pendientes de 3%,6% y 9%.....32

Tabla 2. 6 Gradiente longitudinal para el desarrollo del peralte……...34

Tabla 2. 7 Peralte de acuerdo al radio y velocidad de diseño……..35

Tabla 2. 8 Sobreancho de acuerdo a radio y velocidad……37

Tabla 2. 9 Valor de K para curva vertical convexa……..41

Tabla 2. 10 Valor de K para curva vertical cóncava……42

Tabla 2. 11 Diseño recomendable para taludes…….43

Tabla 2. 12 Longitud de acarreo de acuerdo al tipo de máquina……..….45

Tabla 3. 1 Factor de distribución por carril……...69

Tabla 3. 2 Factor de distribución por carril……...70

Tabla 3. 3 Factores equivalentes de carga……71

Tabla 3. 4 Factores de crecimiento de tránsito…….…73

Tabla 3. 5 Cálculo de ejes equivalentes de diseño……..…..74

Tabla 3. 6 Confiabilidad de diseño……..…75

Tabla 3. 7 Desviación Estándar del sistema……76

Tabla 3. 8 Coeficiente elástico para carpeta asfáltica……..78

Tabla 3. 9 Coeficiente elástico para base y subbase……...79

Tabla 3. 10 Calidad de drenaje y tiempo de evacuación de agua…….....80

Tabla 3. 11 Selección del coeficiente de drenaje……...80

Tabla 3. 12 Espesores mínimos sugeridos…….…81

Tabla 3. 13 Tipos de vehículos……..83

Tabla 3. 14 Cantidad de TPDA…….…83

Tabla 3. 15 Factores de crecimiento……..84

Tabla 3. 16 Cantidad de LEF…….…84

Tabla 3. 17 Número de ESALS…….85

Tabla 3. 18 Trafico de Diseño……..….85

Tabla 3. 19 Percentil de diseño de subrasante……...85

Tabla 3. 20 % CBR-Percentil……..……..86

Tabla 3.21 Calculo del factor de equivalencia de carga…….…..88

Tabla 3. 22 Clasificación de los vehículos……88

Tabla 3. 23 Obtención de los ESALS……...…89

Tabla 3. 24 Aplicación de los factores y distribución de carril…….89

Tabla 3. 25 Materiales y porcentaje de CBR……..….90

Tabla 3. 26 Porcentaje de CBR y Modulo de resiliencia……..…...90

Tabla 3. 27 Módulo de resiliencia de cada capa…….....92

Tabla 3. 28 Sumatoria de cada número estructural…….…93

Tabla 3. 29 Espesores de cada capa……..…….94

Tabla 4. 1 Coeficiente de escorrentía……..……..…100

Tabla 4. 2 Velocidad máxima erosiva en cunetas…….....102

Tabla 4. 3 Coeficiente de rugosidad…….…103

Tabla 4. 4 Espaciamiento de Subdrenes……105

Tabla 4. 5 Valores del coeficiente de rugosidad o de Manning……...107

Tabla 4. 6 Características de cuneta triangular……109

Tabla 4. 7 Velocidad máxima admisible en canales y cunetas……109

Tabla 4. 8 Anuario meteorologico 1991……...110

Tabla 4. 9 Anuario meteorologico 1992…….…110

Tabla 4. 10 Anuario meteorologico 1993…….…...111

Tabla 4. 11 Anuario meteorologico 1994……111

Tabla 4. 12 Anuario meteorologico 1995……112

Tabla 4. 13 Anuario meteorologico 1996……112

Tabla 4. 14 Anuario meteorologico 1997……113

Tabla 4. 15 Anuario meteorologico 1998……113

Tabla 4. 16 Anuario meteorologico 1999……114

Tabla 4.17 Anuario meteorologico 2000…….114

Tabla 4. 18 Anuario meteorologico 2001……115

Tabla 4. 19 Anuario meteorologico 2002……115

Tabla 4. 20 Anuario meteorologico 2003……..…..116

Tabla 4. 21 Anuario meteorologico 2004…….……...116

Tabla 4. 22 Anuario meteorologico 2005……117

Tabla 4. 23 Anuario meteorologico 2006……117

Tabla 4. 24 Anuario meteorológico 2007……118

Tabla 4. 25 Anuario meteorológico 2008……118

Tabla 4. 26 Anuario meteorológico 2009……119

Tabla 4. 27 Anuario meteorológico 2010……119

Tabla 4. 28 Año y precipitación máxima correspondiente……..120

Tabla 4. 29 Muestra y orden de precipitación máxima……120

Tabla 4. 30 Valores calculados para el método de Gumbel…….122

Tabla 4. 31 Valores obtenidos del Test de Kolmogorov-Smirmov…….123

Tabla 4. 32 Distribución del estadístico del Test de Kolmogorov……..124

Tabla 5.1 Formato para costos…….137

ESTUDIO DE TRÁFICO, DISEÑO GEOMÉTRICO, DISEÑO HIDROLÓGICO, DRENAJE, DISEÑO DE PAVIMENTO Y PRESUPUESTO DE LA VÍA SAN FERNANDO - YAGUARCOCHA, CANTÓN SAN FERNANDO - PROVINCIA DEL AZUAY, LONGITUD DE 4 KILÓMETROS.

RESUMEN

La zona determinada como Yaguarcocha (Parroquia San Fernando, cantón San Fernando, provincia del Azuay, Ecuador) posee un desarrollado sector ganadero, que genera un gran porcentaje de lácteos para el consumo de la Provincia del Oro, por lo que es necesario mejorar la vía existente para reducir el tiempo de transporte de los productos. Para esto se realizara un diseño preliminar que incluye el estudio de tráfico, diseño geométrico, diseño hidrológico, drenaje, diseño de pavimento y la estimación del presupuesto para el proyecto vial San Fernando – Yaguarcocha.

Palabras clave: Mejorar, vía existente, diseño geométrico, diseño hidrológico, drenaje, pavimento, presupuesto.

Juan Pablo Riquetti Morales
Director de Titulación

Paúl Cornelio Cordero Díaz
Director de Escuela

Paúl Andrés Peña Cabrera

Cristopher René Cabrera Guambaña

Autores

TRAFFIC STUDY, GEOMETRIC DESIGN, HYDROLOGIC DESIGN, DRAINAGE, PAVEMENT DESIGN, AND BUDGET ESTIMATE FOR *SAN FERNANDO – YAGUARCOCHA* ROAD, SAN FERNANDO CANTON - AZUAY PROVINCE, 4 KILOMETERS LONG.

ABSTRACT

The area known as *Yaguarcocha* (San Fernando Parrish, San Fernando Canton, Azuay Province, Ecuador) has a developed livestock sector which produces a large percentage of the milk consumed in *El Oro* Province; therefore, it is necessary to improve the existing road so as to reduce the transport time of the products. In order to accomplish this objective, a preliminary design that includes traffic study, geometric design, hydrologic design, drainage, pavement design and budget estimate for the *San Fernando – Yaguarcocha* highway project will be carried out.

Keywords: Improvements, Existing Road, Geometric Design, Hydrologic Design, Drainage, Pavement, Budget.

Juan Pablo Riquetti Morales
Thesis Director

Paúl Cornelio Cordero Díaz
School Director

Paúl Andrés Peña Cabrera

Cristopher René Cabrera Guambaña

Authors

UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by:
Lic. Lourdes Crespo

Peña Cabrera Paúl Andrés,

Cabrera Guambaña Cristopher René

Trabajo de Titulación

Ing. Juan Pablo Riquetti, Msc.

Junio, 2016

ESTUDIO DE TRÁFICO, DISEÑO GEOMÉTRICO, DISEÑO HIDROLÓGICO, DRENAJE, DISEÑO DE PAVIMENTO Y PRESUPUESTO DE LA VÍA SAN FERNANDO - YAGUARCOCHA, CANTÓN SAN FERNANDO - PROVINCIA DEL AZUAY, LONGITUD DE 4 KILÓMETROS.

INTRODUCCIÓN

En primera instancia se realizará un análisis del estado actual de la vía para luego proceder a hacer un estudio de tráfico (TPDA) que nos servirá para hacer un estimado del flujo vehicular en la zona, en segunda instancia tenemos que realizar un levantamiento topográfico de todo el trayecto que se va a construir para saber el estado actual de la calzada, luego se procederá a realizar los estudios de suelos que nos ayudará a determinar con qué tipo de estrato estamos trabajando y la capacidad resistente del suelo.

Posteriormente realizaremos el diseño del sistema de drenaje necesario para un buen manejo de las aguas lluvias, tanto desde su recolección hasta su disposición hacia alguna fuente hidrográfica.

Por último con todos los datos que se han obtenido, se diseñará los espesores del pavimento flexible, base, sub base, mejoramiento, necesarios para su construcción.

OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar el pavimento flexible más eficiente para la vía San Fernando-Yaguarcocha, de 4 km de longitud.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la poligonal.
- Establecer el aforo vehicular en la vía.
- Determinar el adecuado trazado y diseño geométrico para el tramo de vía.
- Determinar las propiedades geotécnicas de la subrasante según la Norma Ecuatoriana Vial. (MTOP, 2013)
- Determinar el estado actual de la vía, dimensiones.
- Aplicar la metodología para determinar la estructura del pavimento.
- Determinar el estado de las alcantarillas, dimensiones y composición.
- Determinar el presupuesto necesario para realizar el proyecto.
- Entregar proyecto finalizado.

ALCANCES Y RESULTADOS

Con la aplicación de cada una de las especificaciones en los diferentes estudios realizados, se obtendrá un mejor diseño que ayudará a optimizar los recursos que se requieren para su construcción, a más de garantizar un buen desempeño y una durabilidad de tal manera que sea un beneficio para la sociedad

CAPITULO 1

ESTUDIOS PRELIMINARES

1.1 Generalidades

1.1.1 Introducción a los estudios preliminares

La presente tiene como finalidad tener un conocimiento general del proyecto, tomando en cuenta la ubicación, condiciones climáticas, y las principales formas de producción en el sector, además de conocer cuáles son los principales problemas que se pueden solucionar con la implantación del proyecto vial.

1.1.2 Condiciones climáticas de la zona

Para la estimación de las condiciones meteorológicas se ha tomado datos del INAHMI en su publicación denominado anuario meteorológico (INAMHI), para lo cual se basó en datos de la estación Pucara-Colegio Técnico Agropecuario (MB86), se escogió la misma debido a la similitud de características climáticas entre los cantones Pucará y San Fernando, por lo que se tomaron los siguientes datos: precipitación anual de 1014 mm.

1.1.3 Localización, descripción y justificación del proyecto

El proyecto vial está localizado entre las comunidades San Francisco y Yaguarcocha, en el cantón San Fernando, Provincia del Azuay en la siguiente grafica (Figura 1.1) se presenta su ubicación.

Figura 1. 1 Determinación del proyecto vial

Fuente: Google Earth, 2016.

Tabla 1. 1 Ubicación del proyecto vial

Comunidad	Latitud	Longitud	Cota
San Francisco	9652246.78 m S	693942.55 m E	2745
Yaguarcocha	9652760.16 m S	693263.37 m E	2822

En el sector, al existir una vía que es de vital importancia para el traslado de distintos tipos de materiales hacia los cantones de Santa Isabel y Pucará, al estar en mal estado dificulta el transporte de materiales, además de un problema de levantamiento de polvo que perjudica a los habitantes de las viviendas colindantes, provocando problemas respiratorios y a menudo se presentan baches que disminuyen la velocidad de circulación de los vehículos.

1.1.4 Estudio de las actividades socioeconómicas de la población

La principal actividad económica que se desarrolla en el sector es la ganadera, siendo la producción de leche y sus derivados la más destacada del cantón. También la compra y venta de ganado, es un factor productivo que aporte al mejoramiento de la economía del cantón. Dentro del campo agrícola esta la siembra de papas, maíz que son los más destacados. (Dirección financiera del G.A.D de San Fernando, 2014).

1.1 Topografía

1.2.1 Introducción y definición

Para la realización de los estudios topográficos es necesario coordinar con la población que está siendo beneficiada, tratando de recabar datos históricos como los principales problemas que se pueden dar en quebradas, ríos y especialmente con el comportamiento de fallas geológicas presentes en el trayecto de vía. La topografía se puede definir como la caracterización física de la vía, ya que comprende el "alineamiento horizontal, sus pendientes, sus distancias de visibilidad y sus secciones transversales". (MTOP, 2013).

1.2.2 Trazado de la poligonal

El trazado de la poligonal es uno de los pasos generales desde los cuales su busca establecer "puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles, replanteo de proyectos". (Casanova, 2012).

Las poligonales pueden ser de dos tipos: la poligonal abierta y la poligonal cerrada. Dentro de la aplicación de los distintos tipos de poligonales, están para replanteos viales la poligonal abierta que en si es la más fácil comprende los siguientes procedimientos:

A. Cálculo de acimutes o rumbos entre alineaciones (ley de propagación de los acimutes).

La ley de la propagación de los acimutes trata que a partir de un acimut conocido, conocer el valor de los acimutes desconocidos.

B. Cálculo de las proyecciones de los lados

C. Cálculo de las coordenadas de los vértices.

1.2.3 Reconocimiento y ubicación de los puntos de inicio y fin de la carretera

Procedemos a realizar el siguiente procedimiento:

- Primero colocamos puntos inicial (Xo) y final (Xf) y tomamos sus coordenadas.
- Se toman puntos de apoyo para Xo que serán los siguientes:

➢ Primer punto de apoyo de Xo (Apo1)=por lo general se toman casas adyacentes o cualquier tipo de referencia visible.

➢ Segundo punto de apoyo de Xo (Apo2)=Se suele poner estacas al borde de la vía

- Se toman puntos de apoyo para Xo que serán los siguientes:

➢ Primer punto de apoyo de Xf (Apf1)=por lo general se toman casas adyacentes o cualquier tipo de referencia visible.

➢ Segundo punto de apoyo de Xf (Apf2)=Se suele poner estacas al borde de la vía

De los puntos antes mencionados se toman las coordenadas respectivas.

- Luego se toma como referencia Apo1 se coloca la estación en ese punto y se hace girar en sentido horario hasta el punto p0 teniendo así el ángulo horizontal, de la misma forma se saca el ángulo horizontal para el caso del punto final.

1.2.4 Levantamiento topográfico

En el proyecto vial fue necesario para realizar el levantamiento topográfico, tomar como referencia el punto inicial Xo con el cual empezamos a relacionar con los diferentes puntos que se encontraban más adelante de tal manera de enlazarse con el punto final, estos puntos de enlace se los hace considerando un cambio de estación, de la misma forma se fueron tomando puntos de referencia a los costados del eje vial a una distancia de 20m, para lo cual todos los puntos que se tomaron estarán en coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) en el elipsoide WGS84.

1.2.4 Curvas de nivel

Las curvas de nivel dentro del estudio topográfico constituyen una parte fundamental dentro de la determinación de las cotas, e inclinaciones (pendientes) en un proyecto, pero antes necesitamos conocer cuál es el significado de una curva de nivel. Para Leonardo Casanova en su libro "Topografía Plana" define : a la curva de nivel como la traza que una superficie de terreno marcada sobre un plano horizontal que la intersecta, o como una línea continua que une puntos de igual cota o elevación.

Para esto se considera una equidistancia es decir que la altura o separación vertical entre cote y cota es igual para conocer dicha distancia definiremos la siguiente ecuación:

Equidistancia=(Escala con la que se trabaja)/(1000) (Casanova, 2012).

Existen distintos métodos para estimar las distancias horizontales entre las curvas de nivel en este caso citaremos el método analítico que aplicamos en nuestro caso.

1.3 Estudio de suelos

1.3.1 Toma de muestras

La toma de muestras es un procedimiento básico para poder analizar las propiedades del suelo.

El procedimiento que se sigue para el muestreo es el siguiente, siguiendo el eje de la vía desde el punto inicial del proyecto vial, haciendo excavaciones (calicatas) cada 500 m y con una profundidad de 1.5m, el material recolectado será el que se emplee para realizar los ensayos de laboratorio para definir la factibilidad del proyecto. (MTOP, 2013).

1.3.2 Ensayos de laboratorio

Con el material recolectado mediante el muestreo, procedemos a realizar ensayos en el laboratorio los mismos que comprenden: análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, contenido de humedad y la determinación del CBR (California Bearing Ratio), con los valores obtenidos podemos comparar con un modelo que está establecido por un sistemas definido que pueden ser la clasificación AASHTO(American Association State Highway and Transportation Officials) que generalmente es usada para proyectos viales y otro caso puede ser la SUCS que es menos usada.

1.3.2.1 Análisis Granulométrico

Realizamos los ensayos enmarcados en la siguiente categorización:

Los porcentajes retenidos el tamiz Nº4 se consideran gravas

Los porcentajes que pasan el tamiz Nº 4 y retenidos en el tamiz #200 son arenas

Los porcentajes que pasan el en el tamiz #200 son considerados limos y arcillas

Basados en las Normas INEN, ASTM Y AASHTO.

1.3.2.2 Límite Líquido

El limite líquido se define como la humedad donde por encima del suelo esta como fluido viscoso y por debajo de ella se encuentra en estado plástico. Para el límite líquido se emplea un aparato denominado Cuchara de casa grande que nos sirve para determinar la humedad del suelo, el procedimiento consta en que con 25 golpes del aparato (Cuchara de casa grande) el suelo se una 1.27 cm. (Das).

El limite líquido siempre es mayor que el límite plástico.

1.3.2.3 Límite Plástico

El límite plástico se lo define como el contenido de humedad, con el cual el suelo al ser enrollado en rollos de 3.2mm se agrieta. (Das)

L.P=Limite plástico

L.L=Límite Líquido.

1.3.2.4 Índice de plasticidad

Este término se relaciona con la diferencia entre los porcentajes de límite líquido y límite plástico.

IP=L.L-L.P (Das)(Ecuación1)

El valor del IP es siempre positivo, entero y porcentual.

1.3.2.5 Índice de liquidez

Es un parámetro que nos sirve para determinar el estado de consistencia del suelo, obtenido a partir de la siguiente expresión: (Das).

$$\mathrm{I.L.} = \frac{\mathrm{WN-L.P}}{\mathrm{I.P}} \text{(Ecuación2)}$$

Donde WN = Contenido de Humedad natural del suelo en el sitio.

1.3.2.6 Contenido de humedad

El contenido de humedad se refiere el porcentaje de humedad que está contenida en la muestra de suelo. (Das)

$$WN = \frac{WHumedo}{WSeco} * 10 \text{(Ecuación3).}$$

W húmedo= Peso húmedo de la muestra de suelo contenido del recipiente menos el peso seco del suelo en el recipiente.

Wseco= Peso seco del suelo del recipiente-peso de recipiente.

1.3.2.7 Carta de plasticidad. (Método de la SUCS)

Se trata de una tabla que separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos mediante una línea A, en la parte de arriba de la línea A se encuentran las arcillas inorgánicas y debajo los limos inorgánicos. Esta carta relaciona el índice de plasticidad con el limite líquido es así que para limites líquidos entre 10 y 30 en el caso de las arcillas están los de baja plasticidad, para el caso de los limos están los de baja compresibilidad, con limites líquidos mayores 30 y menores a 50 están los de mediana plasticidad y compresibilidad, con limites líquidos mayores a 50 están los de alta plasticidad y alta compresibilidad. (Das).

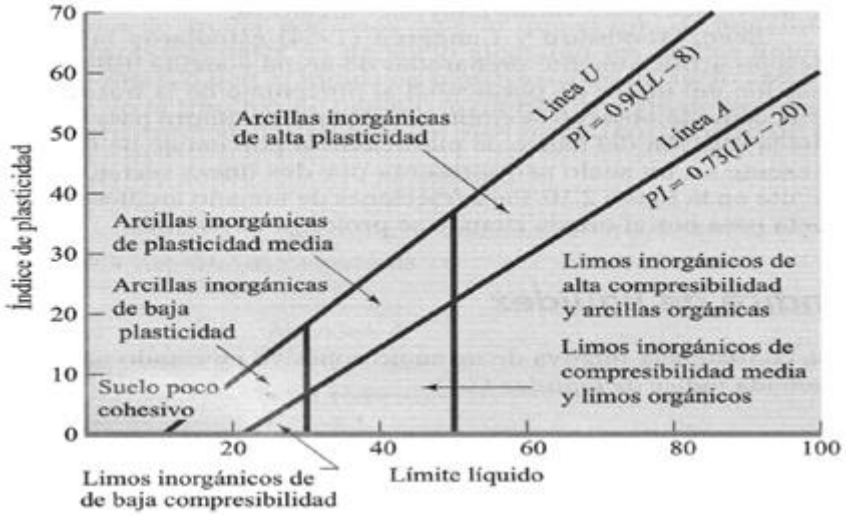


Figura 1. 2 Carta de plasticidad

Fuente: Das.

1.3.2.8 Proctor modificado

Este método también es conocido como relación humedad-densidad de suelos se usa un martillo de 4.54 Kg (10lb) y se deja caer a una altura de 45.7cm (ASTM D 1557-78).Mediante el γd seco máximo obtuvimos la W óptima.

1.3.2.9 Determinación del CBR

Para la determinación del CBR (Índice de Soporte de California) es necesario referirnos a las especificaciones del MTOP en la NEVI 12 Volumen 2-B, donde se define al CBR como la relación entre la tensión mecánica para penetrar 0.1" en un material dado y la tensión mecánica tensión necesario para la misma penetración en un material arbitrario adoptado como patrón.

$$\%\mathrm{CBR} = \frac{\sigma_{0.1''}\mathrm{muestra}}{\sigma_{0.1''}\mathrm{patrón}}$$

Además, en la misma norma considera que se deben realizar 3 tipos de ensayos como:

- Ensayo de compactación.
- Ensayo de esponjamiento (expansión).
- Ensayo de penetración.

Otro factor que está ligado con el %CBR es el Modulo de Resiliencia que representa el esfuerzo y la deformación recuperable en el ensayo triaxial.

Además para tener una proyección del %CBR que vamos a tomar en cuenta debemos conocer el número de ejes de 8.2 toneladas por carril de diseño, y de esta manera poder elegir el percentil con el que vamos a trabajar.

Tabla 1.2 Percentiles de resistencia respecto al tráfico

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

Fuente: MTOP,2013.

1.3.3 Resultados del Análisis de Laboratorio

Los resultados del análisis de Laboratorio se encuentran el ANEXO H.

1.4 Estudios geológicos

1.4.1 Introducción

La geología del Cantón San Fernando está conformada por la formación Tarqui como se puede observar en la figura (GEO-01).

Figura 1. 3 Formaciones geológicas del Ecuador

Fuente: GEO-01.

1.4.2 Características geológicas de la zona

El cantón San Fernando existen afloramientos del cuaternario y terciario generados en el Neógeno que están entre la edad entre en el plioceno y pleistoceno que se distribuyen en todo el territorio del cantón.

1.4.3 Zonas de inestabilidad

Las zonas de inestabilidad se pueden relacionar con los principales problemas estructurales que se presentan a lo largo del proyecto vial, entre los cuales se destacan deslizamientos por la inestabilidad de taludes y en algunos sectores se presentan hundimientos por la presencia de sequias que no están bien conducidas.

1.4.4 Conclusiones

Tomando en cuenta nuestro proyecto a la altura del tramo 3+000, se presentan pequeños deslizamientos que en época invernal son un problema constante debido a la obstaculización vial y a la altura del tramo 3+700 se presenta un hundimiento por la presencia de sequias que no tienen una correcta conducción por lo que afectan de manera directa a la vía. La Formación Tarqui está formada por rocas piro clásticas ácidas principalmente compuestas por flujos obscuros de granos finos de composición andesita.

Por lo general esta formación es muy compacta, no se presentan grandes desplazamientos, y en si presenta grandes características, al ser una toba riolítica o también denominada piedra de cantera, su uso en todo tipo de construcción es de gran uso debido a la dureza y resistencia que presenta.

1.4.5 Estudio de tráfico

1.4.5.1 Determinación del TPDA

El TPDA por sus siglas se define como Tráfico Promedio Diario Anual, representa el tráfico total que circula en un año, dividido para 365, es decir el tráfico promedio por día.

Para la determinación del TPDA emplearemos el método de los factores, para esto necesitamos tener el conteo automático el mismo que obtuvimos del departamento de factibilidad del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Tabla 1. 3 Conteo automático vehicular.

DIRECCION DE ESTUDIOS - DEPARTAMENTO DE FACTIBILIDAD - MTOP
CONTEO AUTOMATICO DE TRAFICO
CARRETERA: SAN FERNANDO - YAGUARCOCHA
FECHA: SEMANA 16 AL 22 DE NOVIEMBRE DEL 2015
TRAMO: SAN FERNANDO - YAGUARCOCHA
UBICACIÓN: KM 2 VIA A Shaglli

HORAS	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
00:00-01:00	20	47	28	18	45	66	94
01:00-02:00	12	25	20	21	35	45	58
02:00-03:00	8	10	5	10	40	49	97
03:00-04:00	10	25	16	18	25	26	70
04:00-05:00	30	26	29	31	24	40	35
05:00-06:00	52	48	39	40	45	50	57
06:00-07:00	120	124	122	128	98	115	93
07:00-08:00	248	239	236	241	201	189	106
08:00-09:00	228	208	189	201	187	186	200
09:00-10:00	194	194	200	198	198	222	217
10:00-11:00	198	215	227	215	225	268	336
11:00-12:00	210	209	223	210	228	269	252
12:00-13:00	202	239	216	208	239	279	394
13:00-14:00	259	230	223	210	288	335	310
14:00-15:00	240	275	238	222	226	354	458
15:00-16:00	277	250	235	241	299	337	330
16:00-17:00	232	242	230	239	320	280	295
17:00-18:00	249	264	251	249	309	422	368

18:00-19:00	273	200	190	180	273	369	408
19:00-20:00	186	173	164	157	225	230	190
20:00-21:00	154	155	147	135	213	209	189
21:00-22:00	130	107	102	99	159	186	134
22:00-23:00	100	79	75	61	130	163	63
23:00-24:00	68	54	50	20	75	98	40
TOTALES	**3700**	**3638**	**3455**	**3352**	**4107**	**4787**	**4794**
%	**13.29%**	**13.07%**	**12.41%**	**12.04%**	**14.76%**	**17.20%**	**17.22%**

Se lo realiza a través de conteos manuales durante 7 días seguidos sin que se cuente con que hayan sucedido eventos especiales. (MTOP, 2003).Adjunto en el ANEXOA.

El tráfico observado (TO) en nuestro proyecto es la suma de los conteos manuales de todos los días de la semana, por lo tanto el TO es de 2250 vehículos y no se tomó en cuenta las 611 motocicletas.

1.4.5.2 El Factor horario (FH)

Transforma el volumen vehicular registrado en un determinado número de horas a volumen diario promedio.

$$\text{FH} = \frac{\text{\# de veh.del día (conteo automático)}}{\text{\# de veh.del conteo automático correspondientes a las horas del conteo manual}}$$

(Ecuación4).

$\text{FH} = \frac{4794}{3359} = 1.427.$

1.4.5.3 Factor diario (FD)

Transforma el volumen diario promedio a volumen semanal promedio.

$$\text{FD} = \frac{\text{Promedio diario semanal del conteo automático.}}{\text{\# de veh.del día (conteo automático).}}$$ (Ecuación5).

$$FD = \frac{27833/7}{4794}$$

$$FD = 0.829$$

1.4.5.4 Factor semanal (FS)

Transforma el volumen semanal promedio en volumen mensual promedio.

$$FS = \frac{\frac{\text{suma del tráfico semanal del conteo automático}}{\text{numero de semanas del conteo}}}{\text{trafico total de la semana del conteo automático}} \qquad \text{(Ecuación6).}$$

$$FS = \frac{\frac{27833}{1}}{27833} = 1$$

1.4.5.5 Factor mensual (FM).

Transforma el volumen mensual promedio en tráfico promedio diario anual (TPDA).

Tabla 1. 4 Consumo de combustibles de la provincia del Azuay.

PRODUCTO	CONSUMO COMBUSTIBLE AÑO 2014 (EN GALONES)				
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
EXTRA	4,557,568	4,308,070	4,543,080	4,588,660	4,835,309
SUPER	569,776	536,965	558,614	580,805	575,407
DIESEL 2	1,045,927	1,251,417	1,112,744	1,187,597	1,251,546
PREMIUM	3,833,995	3,762,398	3,726,065	3,874,931	4,192,633
TOTAL	**10,007,266**	**9,858,850**	**9,940,503**	**10,231,993**	**10,854,895**

JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
4,467,620	4,706,150	4,562,977	4,726,763	4,925,932	4,594,505	5,154,221	**55,970,855**
518,698	583,679	624,209	590,255	632,378	553,908	633,775	**6,958,469**
1,108,784	1,091,639	1,147,747	1,242,822	1,109,963	1,076,108	1,147,035	**13,773,329**
3,787,456	4,122,804	4,037,359	4,138,892	4,268,070	4,001,768	4,247,689	**47,994,060**
9,882,558	**10,504,272**	**10,372,292**	**10,698,732**	**10,936,343**	**10,226,289**	**11,182,720**	**124,696,713**
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL DE COMBUSTIBLES AL AÑO (EN GALONES):							**10391393**

Fuente: (SHE, 2014).

$$FM = \frac{\text{promedio mensual de consumo de combustibles}}{\text{consumo del mes del conteo vehicular}}$$ (Ecuación7).

$$FM = \frac{10391393}{10226289}$$

FM= 1.01

TPDA=To*FH*FD*FS*FM. (Ecuación8)

1.4.5.6 Tráfico existente (To)

Es aquel tráfico que circula en la carretera antes del mejoramiento y el registrado durante los conteos diarios.

TPDA=1.427*0.829*1*1.01*372

TPDA= 445 vehículos.

1.4.5.7 Proyecciones del tráfico

Por lo general el tráfico se proyecta a 15 o 20 años dependiendo la estimación que se proponga.

$$\text{Tráfico Futuro} = \text{Tráfico. Actual}(1 + i)^{n}$$ (Ecuación9)

i=tasa de crecimiento poblacional definido en el inciso 1.4.6.2

n= 15 años

Tráfico actual= TPDA

$$\text{Tráfico Futuro} = 445(1 + \frac{0.079}{100})^{15}$$

Tráfico futuro=451

1.4.6 Estudio de la población servida

Este tipo de estudio contempla las personas que van a ser beneficiadas se clasifican de acuerdo a los siguientes tópicos.

1.4.6.1 Población demandante

Se refiere a la población que requiere el servicio. En el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en el último censo poblacional la población del cantón San Fernando era de 3993 personas (INEC).

1.4.6.2 Población objetivo

La población objetivo se refiere principalmente a la parte que realmente se puede atender teniendo todas las condiciones que pueden afectar a que todos sean atendidos como se merecen.

Tomando la proyección de la población del cantón San Fernando de 3993 personas y la tasa crecimiento anual de 0.079% y usando la fórmula de proyección para 15 años tendríamos los siguientes resultados:

$$\text{Poblac. Futura} = \text{Poblac. Actual}(1 + \text{i})^{\text{n}} \qquad \text{(Ecuación10)}$$

i=0.079%

n=15 años

$$\text{Poblac. Futura} = 3993(1 + 0.00079)^{15}$$

$$\text{Poblac. Futura} = 4040.57.$$

Para el año 2030 tendríamos una población de 4041 personas aproximadamente que sería nuestra población objetivo.

1.4.7 Clasificación de la vía según su orden

Para el proyecto vial se ha asumido las siguientes características como son de su transitabilidad, administrativa y por último por la norma vigente de la NEVI 12 (técnica oficial)

1.4.7.1 Clasificación administrativa

De acuerdo a las competencias que corresponde la vía está dirigida al G.A.D del cantón San Fernando siendo un tipo de vía rural que se conecta al asentamiento urbano.

1.4.7.2 Clasificación técnica oficial

De acuerdo al Ministerio de transporte y obras públicas la misma le ha clasificado de la siguiente manera.

1.4.7.2.1 Clasificación por capacidad (TPDA)

Este tipo de clasificación tiene en cuenta los límites en que se manejan el TPDA, el mismo que es el tráfico esperado al final del periodo de diseño.

Tabla 1. 5 Clasificación Funcional de las vías en base al TPDAd

Clasificaciòn Funcional de las Vìas en base al $TPDA_d$			
Descripciòn	Clasificaciòn Funcional	Tràfico Promedio Diario Anual ($TPDA_d$) al año de horizonte	
		Limite Inferior	Limite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovia o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Fuente: MTOP,2013

Donde:

C1: Carretera mediana capacidad

C2: Carretera convencional básica

C3: Camino Agrícola/ Forestal

El tiempo que debe resistir o tiempo proyectado del proyectado:

n=20 años	Proyecto de rehabilitación y mejoras
n=30 años	Proyectos especiales de nuevas vías
N=40 años	Megaproyectos nacionales.

1.4.7.2.2 Clasificación por jerarquía vial

Según lo establecido en la NEVI-12 y basados en el Plan Estratégico de Movilidad presentan las siguientes características:

1. Camino agrícola/forestal

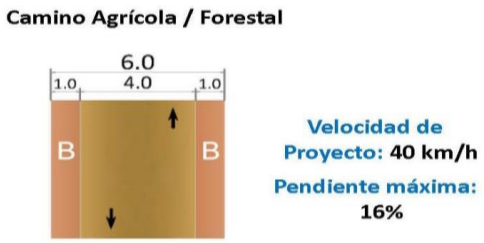


Figura 1. 4 Características del camino Agrícola/ Forestal

Fuente: (MTOP, 2013).

Ancho de 6m

Veredas de 1m a cada lado

Velocidad: 40 km/h

Pendiente máxima 16 %.

Hemos visto la adaptación de este criterio de jerarquización vial tomando en cuenta las características antes descritas.

1.4.7.2.3 Clasificación por la funcionalidad de la red vial

Se considera un camino vecinal en el cual consta una red de caminos que sirven para dar salida a productos de zonas rurales.

- Clasificación por condiciones orográficas

Comprenden las siguientes características relacionadas con el terreno que tiene que ver con la pendiente el cual por ser una vía ya existente las pendientes oscilan entre el 5% por lo cual es un terreno llano.

- Clasificación por número de calzadas

Es un tipo de carretera de calzada única en el cual se tiene un mismo ancho compartido.

- Clasificación en función de la superficie de rodamiento

Para este tipo de proyecto vial la superficie es natural del terreno forma parte del eje vial.

CAPITULO 2

DISEÑO HORIZONTAL Y VERTICAL DE LA VÍA

2.1 Dibujo y diseño

2.1.1 Normas de diseño

Las principales normas que se van a usar son las del MOP-2003 y las de la norma de construcción vial NEVI-12 en las cuales se atenderán todos los conceptos de construcción vial.

2.1.1.1 Derecho de vía

Este término se refiere al Art. 3 del capítulo I de la Ley de Caminos y el Art. 4 del Reglamento aplicativo de la ley antes mencionado señala que en el momento que se presente la necesidad de ocupar el terreno para adecuaciones viales se dispondrá de 25m a los costados del eje vial y sobre el cual se puede colocar los cerramientos, y a partir de esto a 5 m se puede construir las casas.

2.1.1.2 Sección transversal de la vía

La sección transversal de la vía depende de la capacidad que tendrá la misma al tráfico presente, y también depende de la factibilidad o la disponibilidad del suficiente terreno para la instauración del ancho necesario de sección transversal. Refiriéndonos a la Norma del MOP-2003 el ancho transversal se toma desde el pavimento, espaldones, taludes interiores, cunetas hasta el límite del talud exterior.

En la misma norma se dispone de una tabla para el escogimiento del ancho adecuado de acuerdo al tráfico.

Tabla 2. 1 Clasificación del ancho de calzada según el TPDA

	CUADRO VIII-1	
Clase de carretera	Ancho de calzada	
	Recomendable	Absoluto
RI o RII>8000 TPDA	7,3	7,3
I 3000 a 8000 TPDA	7,3	7,3
II 1000 a 3000 TPDA	7,3	6,5
III 300 a 1000 TPDA	6,7	6
IV 100 a 300 TPDA	6	6
V menos de 100 TPDA	4	4

Fuente: MTOP,2013.

En la misma especificación se refiere a que la cuenta se deberá colocar a 30 cm de la rasante por condiciones económicas.

2.1.1.3 Ancho de corona

El ancho de la corona depende del ancho de calzada y del ancho de berma que escojamos para lo cual en la MOP-2003 está de 3m a 3,5m y el ancho de berma de 0,5 a 3m todas estas condiciones están condicionadas al tráfico y a la capacidad de terreno disponible.

2.1.1.4 Ancho de superficie de rodamiento

El ancho normalmente que considera el MOP-2003 es de 6m considerando carriles de 3m cada uno, cabe resaltar que el mismo dependerá de la topografía del terreno en este caso se toma un ancho de 4m debido a que la vía ya está construida y alrededor del proyecto vial ya se encuentran edificaciones.

2.1.1.5 Gradientes

Las gradientes en este caso al ser una vía ya construida dependerán de la factibilidad que tengamos para poder escoger la mejor gradiente tomando en cuenta las condiciones de drenaje como un factor predominante, ya que a medida que tan bueno sea el pavimento se deberá tomar un mayor valor de gradiente cuando las condiciones del pavimento sean malas.

2.1.1.6 Gradientes transversales

La gradiente transversal que se requiere depende de las condiciones del terreno para lo cual el MOP-2003 dispone de la siguiente tabla de acuerdo al grado de tráfico(TPDA).

Tabla 2. 2 Clasificación de superficies de rodadura

CLASIFICACION DE SUPERFICIES DE RODADURA		
Clase de Carretera	Tipo de Superficie	Gradiente Transversal (Porcentajes)
R-I o R-II > 8000 TPDA	Alto grado estructural: concreto asfáltico u hormigón	1,5-2
I 3000 a 8000 TPDA	Alto grado estructural: concreto asfáltico u hormigón	1,5-2
II 1000 a 3000 TPDA	Grado estructural intermedio	2
III 300 a 1000 TPDA	Bajo grado estructural: Doble Tratamiento Superficial Bituminoso D.T.S.B.	2
IV 100 a 300 TPDA	Grava o D.T.S.B.	2,5-4 *
V Menos de 100 TPDA	Grava, Empedrado, Tierra	4
* Para caminos vecinales tipo 5 y 5E.		

Fuente: MTOP,2003.

Tomando en cuenta nuestro caso escogemos una gradiente de 4% debido a que las condiciones de tráfico encajan dentro de ese rango.

2.1.1.7 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño según el MOP-2003 nos define la calidad de servicio y de fluidez que puede tener la vía tomando en cuenta ciertos aspectos relacionados con el tipo de terreno, la comodidad de los conductores desde el punto de vista de la presencia de obstáculos, y el factor que influye en todo proyecto que es el financiero.

Se recomiendo que para tramos consecutivos no haya un cambio máximo de 20 Km/h del mismo modo la señalética juega un papel importante, ya que mediante la misma se puede advertir a los usuarios sobre la reducción o aumento de velocidad.

En la misma norma se dispone de una tabla (Tabla 2.3) que regulado por la topografía, la importancia vial, y su clasificación vial presenta las distintas de velocidad de diseño:

Tabla 2. 3 Clasificación de velocidad de diseño según el TPDA

VELOCIDADES DE DISEÑO (Km/h)

CATEGORIA DE LA VIA	TPDA ESPERADO	VELOCIDAD DE DISEÑO Km/h											
		BASICA				PERMISIBLE EN TRAMOS DIFICILES							
		(RELIEVE LLANO)				(RELIEVE ONDULADO)				(RELIEVE MONTAÑOSO)			
		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal.		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.		Para el cálculo de los elementos del trazado del perfil longitudinal.		Utilizada para el cálculo de los elementos de la sección transversal y otros dependientes de la velocidad.	
		Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta	Recom	Absoluta
R-I o R-II (Tipo)	> 8000	120	110	100	95	110	90	95	85	90	80	90	80
I	Todos	3000-8000	110	100	100	90	100	80	90	80	80	80	80
II	Todos	1000-8000	100	90	90	85	90	80	85	80	70	70	50
III	Todos	300-1000	90	80	85	80	80	60	80	60	60	60	40
IV	TIPO 5, 6 y 7	100-300	80	60	80	60	60	35	60	35	50	35	25
V	4 y 4E	< 100	60	50	60	50	50	35	50	35	40	25	25

Notas:

- Los valores recomendados se emplearán cuando el T.P.D.A. es cercano al límite superior de la respectiva categoría de vía.
- Los valores absolutos se emplearán cuando el T.P.D.A. es cercano al límite inferior de la respectiva categoría de vía y/o el relieve sea difícil o escarpado.
- La categoría IV incluye además los caminos vecinales tipo 5, 5E 6 y 7 contenidos en el manual de caminos vecinales "Berger-Protecva" 1984 y categoría V son los caminos vecinales 4 y 4E.
- En zonas con perfiles de meteorización profundo (estribaciones) requerirán de un diseño especial considerando los aspectos geológicos.
- Para la categoría IV y V en caso de relieve escarpado se podrá reducir la Vd min a 20 Km/h.

Fuente: MTOP,2003.

Para nuestro caso hemos escogido la clasificación vial III, tipo de topografía montañosa para lo cual la velocidad recomendado es de 60 Km/h y el absoluto de 40 Km/h

Tabla 2. 4 Clasificación del radio y grado de curva

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Paralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32° 44´	30.8	30	38° 12´
40	0.17	60.0	60	19° 06´	54.8	55	20° 50´
50	0.16	98.4	100	11° 28´	89.5	90	12° 44´
60	0.15	149.2	150	7° 24´	135.0	135	8° 29´
70	0.14	214.3	215	5° 20´	192.9	195	5° 53´´
80	0.14	280.0	280	4° 05´	252.0	250	4° 35´
90	0.13	375.2	375	3° 04´	335.7	335	3° 25´
100	0.12	492.1	490	2° 20´	437.4	435	2° 38´
110	0.11	635.2	635	1° 48´	560.4	560	2° 03´
120	0.09	872.2	870	1° 19´	755.9	775	1° 29´

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8%			Peralte máximo 10%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	28.3	30	38° 12´	26.2	25	45° 50´
40	0.17	50.4	50	22° 55´	46.7	45	25° 28´
50	0.16	82.0	80	14° 19´	75.7	75	15° 17´
60	0.15	123.2	120	9° 33´	113.4	115	9° 58´
70	0.14	175.4	175	6° 33´	160.8	160	7° 10´
80	0.14	229.1	230	4° 59´	210.0	210	5° 27´
90	0.13	303.7	305	3° 46´	277.3	275	4° 10´
100	0.12	393.7	395	2° 54´	357.9	360	3° 11´
110	0.11	501.5	500	2° 17´	453.7	455	2° 31´

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

De acuerdo a la tabla 2.4 tenemos para una velocidad de diseño de 40 Km/h, y un peralte máximo de 10% los siguientes datos que se obtienen son un radio mínimo de 45m y un grado de curva de 25°28´.

2.1.1.8 Distancia de visibilidad de parada

La normativa de la NEVI-12 se refiere a aspectos técnicos que se presentan en la AASHTO en donde define el concepto de distancia de visibilidad de parada como la suma de las distancias que comprenden: la primera distancia es la distancia que se recorre hasta que el conductor ya sea por su habilidad percibe y reacciona hasta aplicar los frenos; la otra distancia está comprendido por la que recorre hasta que se detiene una vez accionado los frenos del automotor.

Definimos como D a la distancia de visibilidad de parada

d1: distancia de percepción

d2: distancia de recorrido con los frenos accionados

Por tanto:

D=d1+d2 (Ecuación11)

En la siguiente figura 2.1 podemos encontrar una gráfica demostrativa de la distancia de visibilidad de parada.

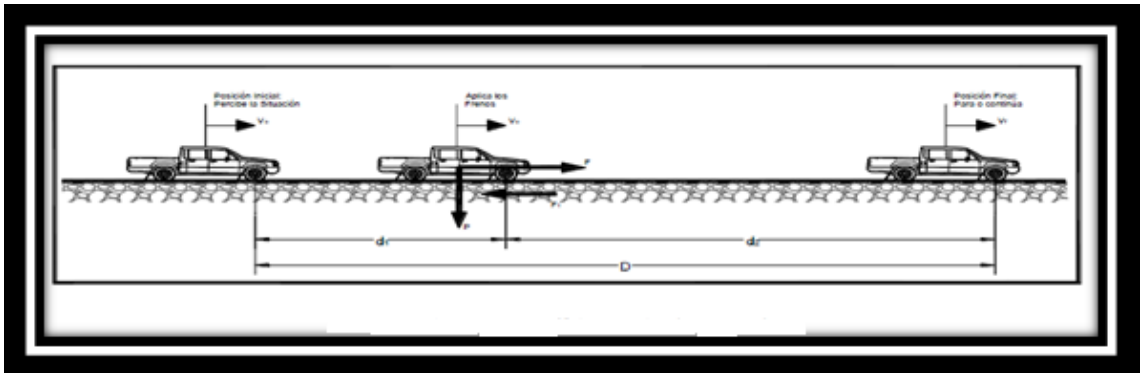


Figura 2. 1 Gráfico de distancia de parada.

Fuente: MTOP,2003

Definiendo la variable d1 involucra a tanto al tiempo de percepción, y la velocidad a la que se mueve por lo cual se emplea la siguiente fórmula para su estimación

d1=0,278vt (Ecuación12).

Se estima según estudios que t se puede tomar como un tiempo de 2,5 seg.

V: velocidad inicial del automotor en Km/h.

Para la distancia d2 se ocupa la siguiente formulación:

$$d2 = \frac{v^2}{254*f}$$ (Ecuación13).

f: coeficiente de fricción entre la llanta y la superficie de rodamiento

Este factor depende del diseño de las llantas y el espesor de la llanta, también del tipo de a superficie d rodadura y de las condiciones climáticas.

Existen ciertos valores que están definidos dependiendo el tipo de terreno donde estén:

a) En terreno Plano

Velocidad de Diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Parada
Km/h	Km/h	Tiempo (s)	Distancia (m)	f	(m)	(m)
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	30 - 30
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	45 - 45
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57 - 63
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74 - 85
70	67 - 70	2.5	43.8 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94 - 111
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.6	0.30	64.2 - 83.9	113 - 139
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.4	0.30	77.7 - 106.2	131 - 169
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157 - 205
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	180 - 246

Figura 2. 2 Distancia de visibilidad de parada terreno plano

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

b) En Pendiente de Bajada y Subida

Velocidad de Diseño	Distancia de Parada en Bajadas (m)			Distancia de Parada en Subidas (m)		
Km/h	3%	6%	9%	3%	6%	9%
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

c) Decisión para evitar Maniobras

Velocidad de Diseño	Distancia de Decision para Evitar la Maniobra (m)				
Km/h	a	b	c	d	e
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	365	405
110	265	455	335	390	435

Figura 2. 3 Distancia de visibilidad de parada en pendiente

Fuente: (MTOP, 2013).

Con una velocidad de diseño de 40 Km/h tenemos un tiempo de reacción de 2.5 segundos en una distancia de 27.8m, una distancia de frenado de 16,6m y otra de parada de 45 m, asimismo un coeficiente de fricción de 0.38, toda esta información corresponde para terrenos planos.

Se elaboró la siguiente tabla en la cual se muestran los valores a ser utilizados en el proyecto vial en el caso de las distancias de subidas y bajadas para pendientes de 3%, 6% y 9%.

Tabla 2. 5 Distancia de parada para pendientes de 3%,6% y 9%

Velocidad de diseño de 40 Km/h	Pendiente de 3%.	Pendiente de 6%.	Pendiente de 9%.
Distancia de parada en bajada(m).	45.7	47.5	49.5
Distancia de parada en subida(m).	43.2	42.1	41.2

Fuente: MTOP,2003.

2.1.1.9 Desarrollo del peralte

Para el cambio de una alineación recta a una curva, se tiene que realizar una transición de tal manera que se pase de una sección normal a peraltada o viceversa según nos dice el MOP-2003.

El peralte en las secciones curvas se realiza para contrarrestar los efectos de la fuerza centrífuga en una longitud suficiente como para poder mitigarla.

El peralte máximo a ser escogido para nuestra vía en función de la Norma Ecuatoriana vial (MTOP, 2013), en donde manifiesta que se considera montañosa a una zona donde su gradiente longitudinal sea de máximo el 16% por lo tanto en la siguiente tabla tomada de la citada fuente nos da un peralte máximo del 10%.

Tasa de Sobreelevación, "e" en (%)	Tipo de Area
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Figura 2. 4 Peralte de acuerdo al tipo de área

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

El radio de peralte necesario se determinará con la ayuda de 3 métodos:

a) Haciendo girar la calzada alrededor de su eje. (terrenos montañosos)

b) Haciendo girar la calzada alrededor de su borde interior. (terrenos llanos)

c) Haciendo girar la calzada alrededor de su borde exterior.

Los pasos que se deben seguir para el cálculo de la longitud del peralte es de la siguiente manera:

1) Se determina si la transición del peralte lo hacemos a lo largo de la curva de enlace.

2) Se determina la sobreelevación que produce el peralte e.

$$h=e*b \qquad \text{(Ecuación14)}$$

h= sobreelevación (m)

e= peralte (%)

b= ancho de calzada (m)

Es para el caso de giro alrededor del eje.

3) Para el cálculo de la longitud de desarrollo en función del gradiente de borde (i).

$$L = \frac{h}{2*i} = \frac{e*b}{2*i} \qquad \text{(Ecuación15)}$$

$$i = \frac{e*b*L}{2}$$ (Ecuación16)

El valor de la gradiente (i) se lo hace de acuerdo a la velocidad de circulación en la (Tabla 2.6) de la MOP-2003.

Tabla 2. 6 Gradiente longitudinal para el desarrollo del peralte

GRADIENTE LONGITUDINAL (i) NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL PERALTE

V_D, KM/h	VALOR DE (i), %	MAXIMA PENDIENTE EQUIVALENTE.
20	0,800	1:125
25	0,775	1:129
30	0,750	1:133
35	0,725	1:138
40	0,700	1:143
50	0,650	1:154
60	0,600	1:167
70	0,550	1:182
80	0,500	1:200
90	0,470	1:213
100	0,430	1:233
110	0,400	1:250
120	0,370	1:270

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

4) Se calcula la longitud de transición del bombeo, entonces determinamos la diferencia entre el eje y el borde de la vía.

$$S = \frac{b*P}{2}$$ (Ecuación17)

S= Diferencia entre el eje y el borde de la vía

P= pendiente transversal de la vía(%)

b= ancho de la calzada(m)

5) Por último se calcula la longitud de transición:

Lt=L+X (Ecuación18)

Cuando el desarrollo del peralte se lo hace sin curva de enlace se lo puede distribuir a 2/3 en la sección recta, y 1/3 en la sección curva. Para casos difíciles se puede coger 0,5 L en la sección recta y 0,5L de la curva circular.

En la T para una velocidad de diseño de 40 Km /h y un peralte máximo de 10% se tiene una longitud de transición mínima de 51m.

Tabla 2. 7 Peralte de acuerdo al radio y velocidad de diseño

Elementos de Diseño para Curvas Horizontales y Velocidades de Diseño, e max. 10%

R	Vp=30km/h			Vp=40km/h			Vp=50km/h			Vp=60km/h			Vp=70km/h			Vp=80km/h			Vp=90km/h			Vp=100km/h			Vp=110km/h		
		L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)	
(m)	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.2	56	84	2.5	61	92
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.2	50	75	2.7	56	84	3.1	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.9	50	75	3.5	56	84	4.1	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.6	44	66	3.1	50	75	3.8	56	84	4.3	61	92
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.8	44	66	3.3	50	75	4.0	56	84	4.6	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.4	39	59	3.0	44	66	3.6	50	75	4.3	56	84	5.0	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.2	33	50	2.9	39	59	3.5	44	66	4.2	50	75	5.1	56	84	5.9	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.2	39	59	3.9	44	66	4.6	50	75	5.6	56	84	6.4	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.7	33	50	3.5	39	59	4.3	44	66	5.1	50	75	6.2	56	84	7.1	61	92
700	SN	0	0	SI	22	33	2.3	28	42	3.1	33	50	4.0	39	59	4.8	44	66	5.8	50	75	6.9	56	84	8.0	69	103
600	SN	0	0	SI	22	33	2.7	28	42	3.6	33	50	4.5	39	59	5.5	44	66	6.5	50	75	7.8	62	94	9.0	77	116
500	SN	0	0	2.3	22	33	3.1	28	42	4.2	33	50	5.3	39	59	6.4	46	69	7.6	57	86	8.9	71	107	9.9	85	127
400	SI	17	26	2.8	22	33	3.8	28	42	5.0	33	50	6.3	41	62	7.5	54	81	8.8	67	100	9.8	78	117	R_{min} = 456		
300	2.2	17	26	3.6	22	33	4.8	28	42	6.3	38	57	7.8	51	77	9.0	65	97	99	75	112	R_{min} = 360					
250	2.6	17	26	4.2	22	33	5.6	30	45	7.1	43	64	8.7	57	86	9.7	70	105	R_{min} = 275								
200	3.1	17	26	5.0	26	39	6.6	36	53	8.2	49	74	9.6	63	94	R_{min} = 210											
175	3.5	17	26	5.6	29	43	7.1	38	56	8.8	53	79	9.9	65	97.0												
150	4.0	19	29	6.2	32	48	7.8	42	63	9.4	57	85	R_{min} = 160														
140	4.3	21	31	6.4	33	49	8.1	44	66	9.6	58	87															
130	4.5	22	32	6.7	34	52	8.5	46	69	9.8	59	88															
120	4.8	23	34	7.0	36	54	8.8	48	71	10.0	60	90															
110	5.1	24	37	7.4	38	57	9.1	49	74	R_{min} = 115																	
100	5.5	26	40	7.7	40	59	9.5	51	77																		
90	5.9	28	42	8.2	42	63	9.8	53	79																		
80	6.4	31	46	8.6	44	66	10.0	54	81																		
70	6.9	33	50	9.1	47	70	R_{min} = 75																				
60	7.5	36	54	9.6	49	74																					
50	8.2	39	59	10.0	51	77																					
40	9.1	44	65	R_{min} = 45																							
30	9.9	47	71																								
	R_{min} = 25																										

e_{max} = 10.0%
R = Radio de curva
V = Velocidad de diseño
e = Tasa de superelevación
L = Longitud mínima de transición
SN = Sección Normal
SI = Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal
C: = Carriles
CIFRAS REDONDEADAS

Fuente: (MTOP, 2013)

2.1.1.10 Sobreancho.

El sobreancho que se requiere en las curvas circulares depende de 2 condiciones:

a) El ancho requerido para describir la curva debe aumentarse debido a la trayectoria que describen los ejes delanteros y traseros.

b) El ancho debe aumentarse debido a la velocidad ya que si un vehículo se mantiene circulando a grandes velocidades el ancho debe ser mayor por la dificultad para describir la curva con facilidad.

Podemos observar un esquema del sobreancho en la (Figura 2.5)

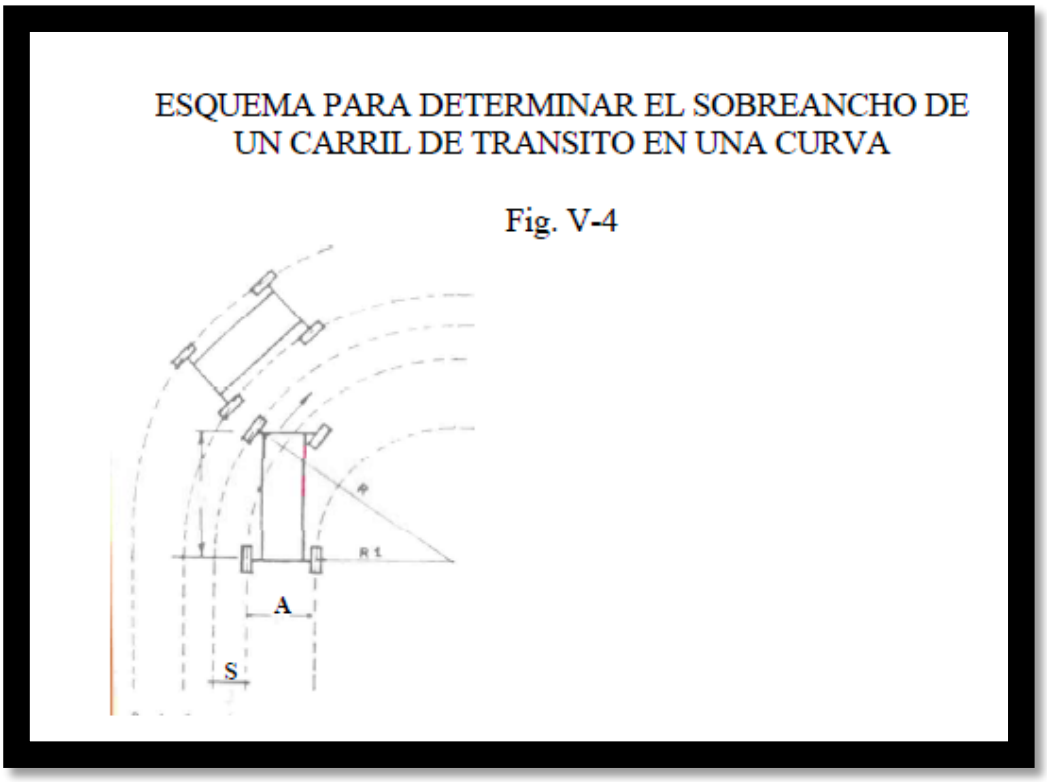


Figura 2. 5 Esquema para determinar el sobreancho en un carril

Fuente: (MTOP, 2013)

$$R1 + A = \sqrt{R^2 + L^2} \quad \text{(Ecuación19)}$$

$$R1 + A = R - S \quad \text{(Ecuación20)}$$

$$R - S = \sqrt{R^2 + L^2} \quad \text{(Ecuación21)}$$

$$S = R - \sqrt{R^2 + L^2} \quad \text{(Ecuación22)}$$

R=Radio de la curva circular

S= Sobreancho (metros)

A=Ancho del vehículo (metros)

V=Velocidad de diseño Km/h

Según la tabla 2.7. (MTOP, 2003) Se puede determinar el sobre ancho necesario para determinadas velocidades de diseño y radios.

Por lo tanto para nuestra velocidad de diseño de 40 Km/h, radio mínimo de 45m y longitud del vehículo de 6m, el sobre ancho está entre un radio de 42 y 50 por tanto tomamos un valor de sobre ancho de 1m.

Tabla 2. 8 Sobreancho de acuerdo a radio y velocidad

VARIACION DEL VALOR DEL SOBREANCHO PARA EL VEHICULO DE DISEÑO
Valor del sobreancho para diferentes velocidades de diseño
Número de carriles: 1
L(m)= 6

Radios(m)	20	25	30	35	40	45	50
18	1,50						
20	1,37	1,48					
25	1,13	1,23	1,33	1,43			
30	0,97	1,06	1,15	1,25			
35	0,86	0,94	1,03	1,11			
40	0,77	0,85	0,93	1,01			
42	0,74	0,82	0,89	0,97	1,05		
50	0,64	0,71	0,79	0,86	0,93		
56	0,59	0,66	0,72	0,79	0,86	0,92	
60	0,56	0,62	0,69	0,75	0,82	0,88	
70	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	
75	0,47	0,53	0,59	0,64	0,70	0,76	0,82
80	0,45	0,50	0,56	0,62	0,67	0,73	0,78
85	0,43	0,48	0,54	0,59	0,65	0,70	0,75
90	0,41	0,46	0,52	0,57	0,62	0,67	0,73
100	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,68
110	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,59	0,64
120	0,33	0,38	0,42	0,47	0,52	0,56	0,61
130	0,31	0,36	0,40	0,45	0,49	0,53	0,58
140	0,30	0,34	0,38	0,42	0,47	0,51	0,55
150		0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,53
160		0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51
180			0,32	0,36	0,40	0,44	0,47
200				0,34	0,37	0,41	0,44
210				0,33	0,36	0,40	0,43
230				0,31	0,34	0,37	0,41
250					0,32	0,36	0,39
275					0,31	0,34	0,37
300						0,32	0,35
315						0,31	0,34
330						0,30	0,33
350							0,32
375							0,31

Fuente: (MTOP, 2003)

2.1.1.11 Longitudes de curvas

Según la denominación dada por el MOP-2003 es la longitud comprendida entre donde empieza la curva simple(PC) y donde termina la curva simple (PT) denominada lc.

$$lc = \frac{\pi R \alpha}{180} \qquad \text{(Ecuación23)}$$

2.1.1.12 Grado de curvatura

Para la definición de este término necesitamos tomar como referencia a conceptualización dada por el MOP-2003 considera que es un ángulo formado por un 20 m. Es el valor máximo a la que se puede recorrer la curva tomando en cuenta el peralte máximo

$$\frac{Gc}{20} = \frac{360}{2\pi R} \qquad \text{(Ecuación24)}$$

2.1.1.13 Curvas circulares

Según el MOP-2003 son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas y pueden ser simples y compuestas.

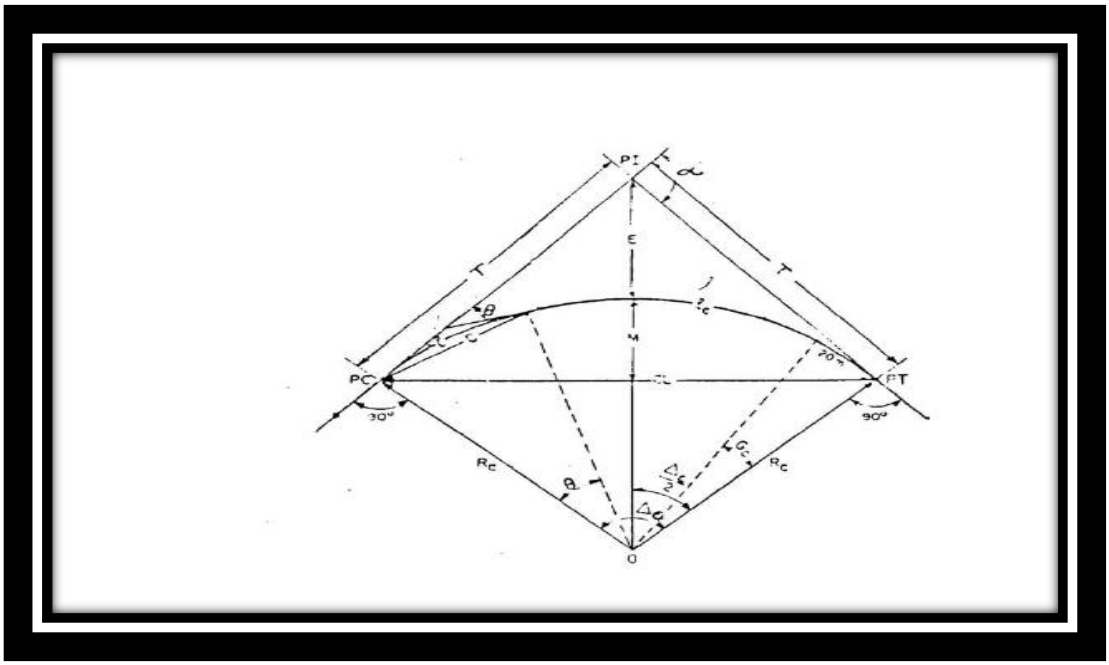


Figura 2. 6 Composición de curva circular

Fuente: (MTOP, 2003)**.**

PI: Punto de intersección de las pendientes

PC: Punto donde empieza la curva

PT: Punto donde termina la curva

α: Ángulo de deflexión de los tangentes

Δc: Ángulo central de la curva circular

θ: Ángulo de deflexión a un punto sobre la curva circular

Gc: Grado de curvatura de la curva circular

Rc: Radio de la curva circular

T: Tangente de la curva circular

E: External

M: Ordenada media

C: Cuerda

CL: Cuerda larga

L: Longitud de un arco

Le: Longitud de la curva circular.

2.1.1.14 Curvas verticales

La norma de construcción vial MOP-2003 cita dos tipos de curvas verticales como son:

Las curvas verticales cóncavas y las convexas.

Refiriéndonos a las curvas verticales convexas se toma en cuenta la altura de ojo del conductor de 1.15m y la altura que se puede observar sobre la via de 0.15 m, de tal manera se puede formular de la siguiente forma:

$$L = \frac{AS^2}{426} \qquad \text{(Ecuación 25)}$$

L= Longitud de las curvas convexas, en metros

A= Diferencia de las gradientes, expresadas en porcentaje

S= Distancia de visibilidad de parada, en metros

$$L=K.A \qquad \text{(Ecuación26)}$$

Para el valor K existen ciertas tablas de referencia en cuanto a la velocidad de diseño y para las diversas de clases de carretera.

Tabla 2. 9 Valor de K para curva vertical convexa

Indice K para el cálculo de la longitud de curva vertical convexa

Velocidad (Km/h)	Longitud Controlada por Visibilidad de Frenado		Longitud Controlada por Visibilidad de Adelantamiento	
	Distancia de visibilidad de frenado (m)	Indice de Curvatura K	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	Indice de Curvatura K
20	20	0,6	-	-
30	35	1,9	200	46
40	50	3,8	270	84
50	65	6,4	345	138
60	85	11	410	195
70	105	17	485	272
80	130	26	540	338
90	160	39	615	438
El indice de curvatura es la Longitud (L) de la curva de las pendientes (A) K= L/A por el porcentaje de la diferencia algebraica				

Fuente: MTOP,2013.

El índice de curvatura K es de 3.8 para curvas convexas

2.1.1.15 Curvas verticales cóncavas

Las mismas necesitan ser o suficientemente largas, teniendo en cuenta la longitud de los rayos de un vehículo que debe ser la misma que la distancia de visibilidad necesaria para la parada de un vehículo.

$$L = \frac{AS^2}{122+3.5S} \qquad \text{(Ecuación27)}$$

Para la fórmula se considera una distancia de los faros de 60 cm para los faros del vehículo y un grado de divergencia de los rayos de luz con respecto al eje longitudinal del vehículo.

El factor K también depende de la clase de carretera y de la velocidad de diseño.

Tabla 2. 10 Valor de K para curva vertical cóncava

Índice para el cálculo de la longitud de curva vertical cóncava

Velocidad (Km/h)	Distancia de visibilidad de frenado (m)	Indice de Curvatura K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18
70	105	23
80	130	30
90	160	38
El índice de curvatura es la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) K = L/A por el porcentaje de la diferencia algebraica.		

Fuente: MTOP,2013.

El valor de K de nuestro proyecto para la curva vertical cóncava es de 9.

2.1.1.16 Pendientes

Se necesitan pendientes suaves generalmente tomando un valor mínimo de 0.5% y los valores máximos se deben determinar tomando en cuenta la facilidad de drenaje y la capacidad de que un motor se esfuerzo mucho y por ende pueda interrumpir el tráfico debido a la pérdida de fuerza en el vehículo.

Las pendientes se toman en cuenta de acuerdo al ángulo formado por cada 100m de avance horizontal expresado en forma porcentual y las mismas que pueden ser de ascenso o descenso. (MTOP, 2003).

2.1.1.17 Taludes

Según el MOP-2003 los taludes ya sea tanto en corte como en relleno sirven para dar seguridad y una buena apariencia a la vía. La pendiente que puede tener los taludes dependerá de las características dependerá de los suelos, características generales de la vía tomando la pendiente más económica sin descuidar los ya mencionados aspectos.

Para terrenos ondulados o montañosos se considerará el costo alto que implica el movimiento de tierras, diferente que para terrenos planos.

Tabla 2. 11 Diseño recomendable para taludes

VALORES DE DISEÑO RECOMENDABLES DE LOS TALUDES EN TERRENOS PLANOS		
Clase de Carretera	TALUD	
	CORTE	RELLENO
R-I o R-II > 8000 TPDA	3:1 * **	4:1
I 3000 a 8000 TPDA	3:1	4:1
II 1000 a 3000 TPDA	2:1	3:1
III 300 a 1000 TPDA	2:1	2:1
IV 100 a 300 TPDA	1,8-1:1	1,5-2:1
V Menos de 100 TPDA	1,8-1:1	1,5-2:1

Fuente:(MTOP, 2003)**.**

2.1.1.18 Cortes

Los cortes en terrazas son generalmente tomados en cuenta para evitar la erosión de los taludes, para lo cual se requiere de una pendiente con relación peralte huella en el orden de 1:1 a 1:5, pero esta relación puede aumentaran a 1:2 ó 1.3 tomando en cuenta si el agua baja por el terreno natural está amenazando a la vía. Los escalonamientos pueden ser tomados en relación 0.75:1 ò 1:1 de tal manera que interrumpa la trayectoria en la bajada de las lluvias.

También para este tipo de escalonamientos es necesario considerar la infiltración, para lo cual en materiales que son filtrantes como las rocas diaclasas con buzamiento hacia la vía, se debe dejar un corte en el escalón con una pendiente adecuada de tal manera que pueda drenar el agua mediante esta especie de canal que va a quedar dentro del escalón.

Por otro lado se usa vegetación para prevenir la erosión en los escalones.

2.1.1.19 Rellenos

Los rellenos constituyen una necesidad en casos en que sobre el proyecto vial se presenten ciertas características, que no permitan el adecentamiento de las mismas debido a causas naturales sea el caso de pantanos, o tipos de suelos con capacidades técnicas malas por estos mencionados casos y la diversidad que pueden presentarse es que se emplean los rellenos.

2.1.1.20 Cálculo de volúmenes

Para este caso se empleará el método de las áreas medias en el cual que tanto para corte y relleno se toma en cuenta el área frontal y la contigua de la parte superior y la misma se multiplica por la distancia entre las secciones en metros. (sjnavarro).

2.1.1.21 Movimiento de terracerías

El movimiento de terracerías dependerá de un factor económico que depende de el volumen de terracerías con las que se va a trabajar, por lo cual es impredecible determinar con exactitud la cantidad. Es decir, el movimiento de terracerías se considera desde el proceso de aflojar, acarrear y llevar el material hasta un sitio de acopio.

2.1.1.22 Acarreo

El acarreo comprende el transporte de material desde el sitio donde se excavo hasta el sitio de disposición el mismo es expresado en m3/Km para lo cual se puede considerar el acarreo libre este concepto se refiere al acarreo de material sin incurrir en sobrecostos que generalmente es la empresa contratante la que sufre este fenómeno. (Medellin).

2.1.1.23 Sobre acarreo

El sobreacarreo se produce cuando la distancia real de acarreo es mayor a la distancia real de acarreo libre por lo cual esto influye en un costo que no estaba previsto en los rubros de excavación. La suma de la longitud de acareo y sobre acarreo nos da como resultado una longitud total de acarreo con la cual vamos a elegir la máquina necesaria para emplear en la obra.

Tabla 2. 12 Longitud de acarreo de acuerdo al tipo de máquina

MÁQUINA	LONGITUD TOTAL DE ACARREO (LTA)
Tractor con bulldozer	LTA < 100 m
Tractor más traílla	100 m < LTA < 400m
Mototraílla	400 m < LTA < 2000 m
Camiones de acarreo	2000 m < LTA

Fuente: (Medellin).

2.1.1.24 Préstamos y desperdicios

Los préstamos y desperdicios dependerán del porcentaje de esponjamiento en el cual se puede determinar un coeficiente (Ce) del 30% el que es un supuesto ya que no siempre se va a llegar a cumplir, pero nos sirve para la estimación para el diagrama de curva de masas por lo tanto a este porcentaje de esponjamiento puede irse regulando en la manera que los valores encajen en el gráfico.

2.1.1.25 Curvas de masas

La curva de masa es ascendente cuando se tiene cortes o sea un signo positivo y cuando hay más terraplenes o rellenos es descendente y con signo negativo de tal forma nosotros podemos controlar que exista un equilibrio de tal manera que se pueda compensar los cortes con los rellenos por esta razón es de gran ayuda. (USON).

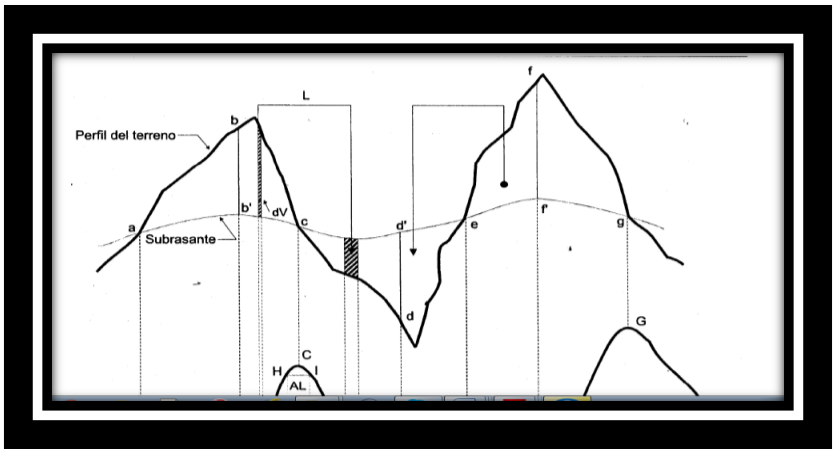


Figura 2. 7 Representación de cálculo de curva de masa

Fuente: (USON)**.**

2.2 Diseño definitivo

2.2.1 Diseño Horizontal

Con la ayuda del software AutoCAD Civil 3D 2015 versión estudiantil, se procedió a realizar el diseño geométrico horizontal, vertical y transversal el mismo que se muestra en los siguientes pasos que seguimos.

En nuestro caso como ya contamos con los puntos topográficos, y las respectivas curvas de nivel proporcionadas por el G.A.D de San Fernando procedemos a ubicar la alineación de nuestro proyecto vial para lo cual en el menú “Inicio” ubicamos el botón “alineación” y damos click en las herramientas de creación de alineaciones como se ilustra en la Figura 2.8.

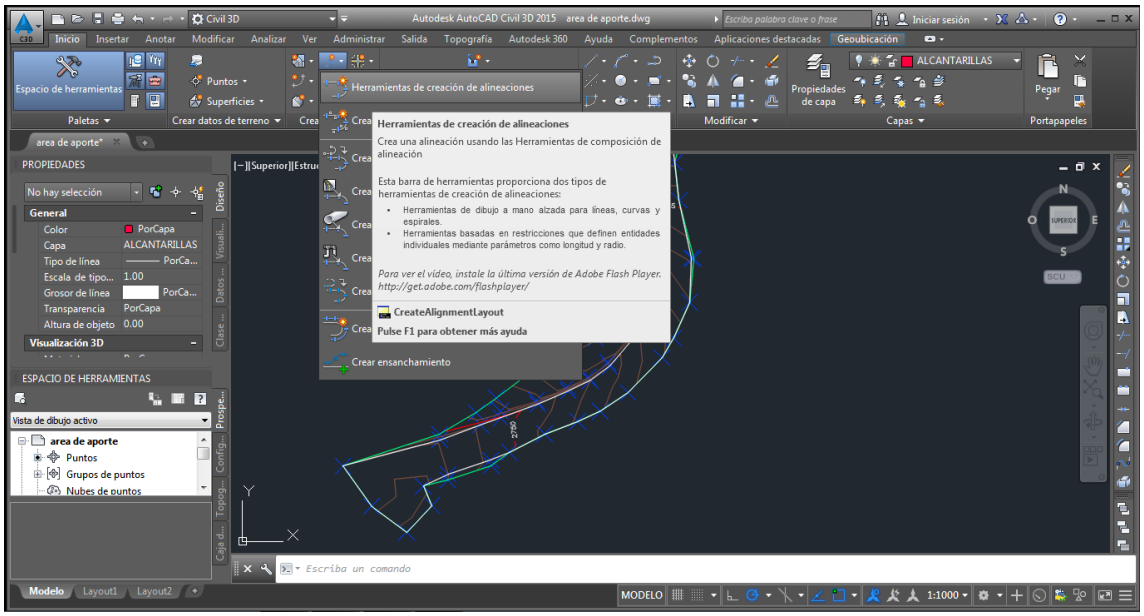


Figura 2. 8 Creación de alineación

Fuente: (Autodesk, 2015)

Por consiguiente se abre una ventana que tiene por título Crear alineación y llenamos la información como se muestra en la ilustración contigua.

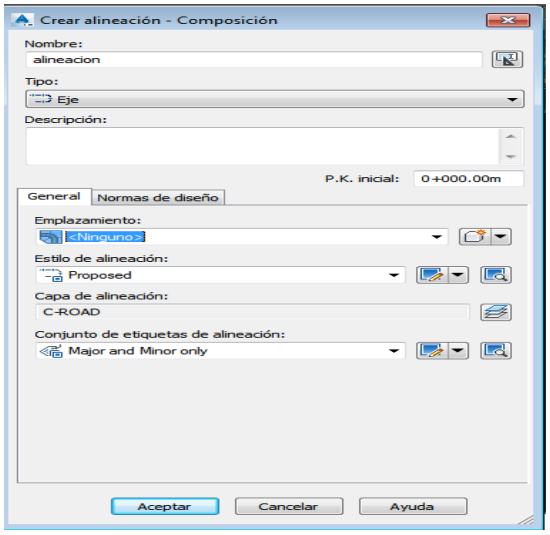


Figura 2. 9 Composición de alineación

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Una vez realizada estas modificaciones damos click en Normas de diseño y ubicamos nuestra velocidad de diseño que es de 40 Km/h para nuestro caso, del mismo modo seleccionamos el peralte máximo permitido que es del 10%(emáx=10%).

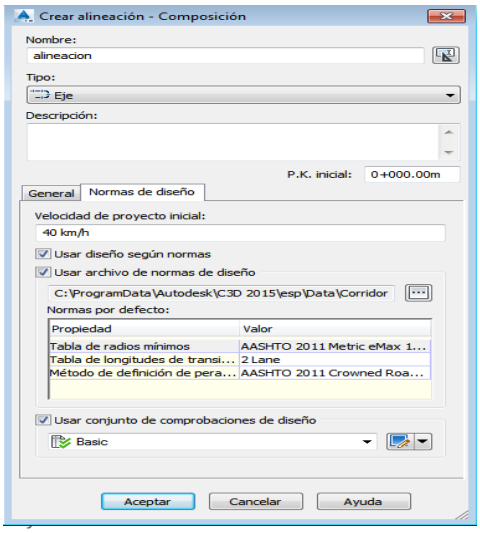


Figura 2. 10 Norma de diseño de alineación

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Inmediatamente se nos abre una barra de herramientas de composición de alineación, para lo cual seleccionamos la configuración de curva y espiral.

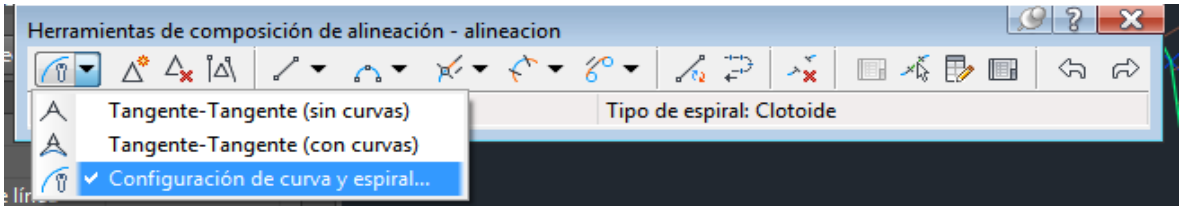


Figura 2. 11 Configuración de curva y espiral

Fuente: (Autodesk, 2015)

Después procedemos a la configuración de curvas, en el mismo se coloca un radio por defecto, el mismo que para nuestro proyecto es de 45 Km/h.

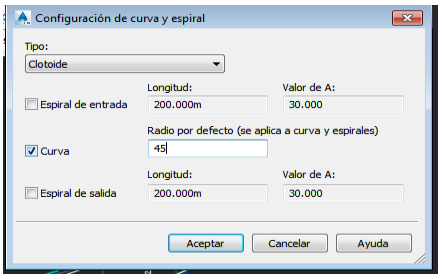


Figura 2. 12 Configuración de radio por defecto para curva

Fuente: (Autodesk, 2015)

Para la alineación se usará la tangente-tangente (con curvas).

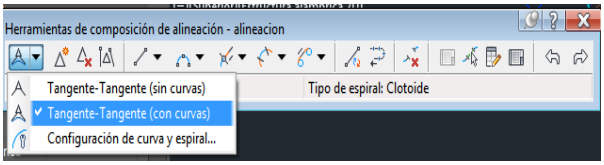


Figura 2. 13 Selección de tangentes con curvas para el diseño

Fuente: (Autodesk, 2015).

Las curvas que usaremos están en la opción Más curvas fijas y seleccionamos curva fija (dentro extremo entidad, punto de paso).

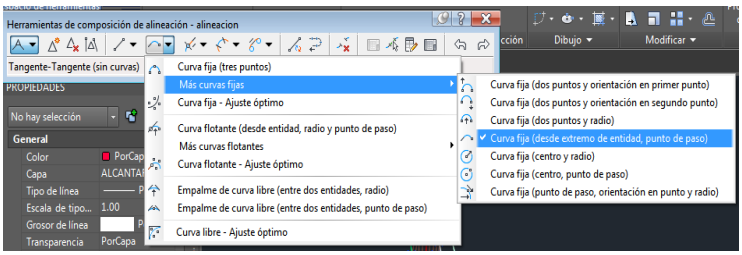


Figura 2. 14 Trazado de curvas entre tangentes

Fuente: (Autodesk, 2015).

De tal manera que nos quede nuestra alineación de esta forma, los símbolos de advertencia aparecen porque en este caso la alineación no está cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma para lo cual se debe hacer la corrección necesaria.

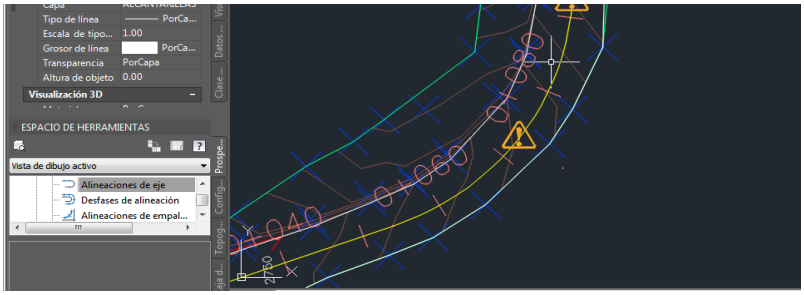


Figura 2. 15 Notificación de incumplimiento de norma

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Abrimos las etiquetas de alineación para editarlas.

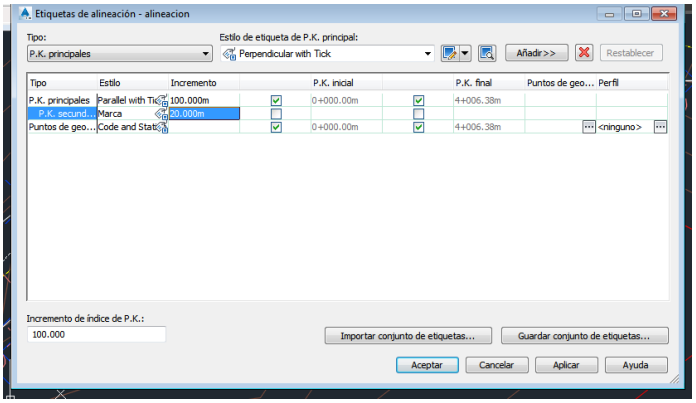


Figura 2. 16 Edición de etiquetas

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

La configuración de las etiquetas de alineación debe quedar de la siguiente manera, en el cual se debe incluir las abscisas de inicio y fin de curva.

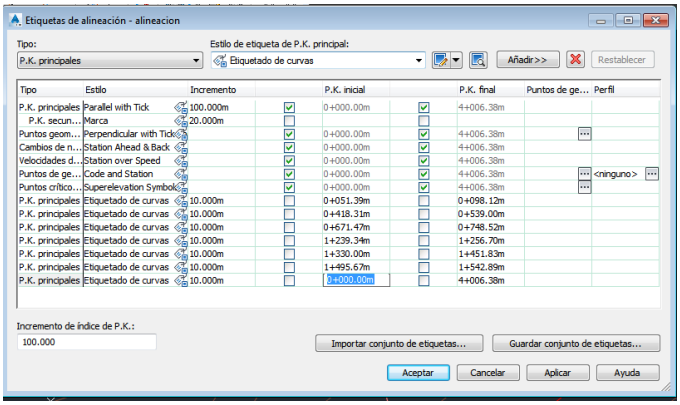


Figura 2. 17 Valores predeterminados en etiquetas

Fuente: (Autodesk, 2015).

Luego creamos un patrón de marcado por Km para lo cual entramos en la opción creador de estilos de etiqueta de tal manera que tenga similitud con lo mostrado a continuación.

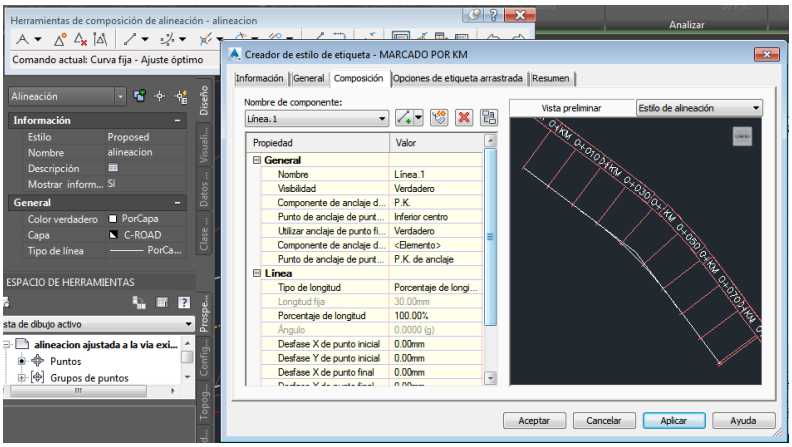


Figura 2. 18 Creador de estilo de etiqueta en curva

Fuente: (Autodesk, 2015)

Las etiquetas antes generadas se muestran a continuación plasmadas en la vista en planta.

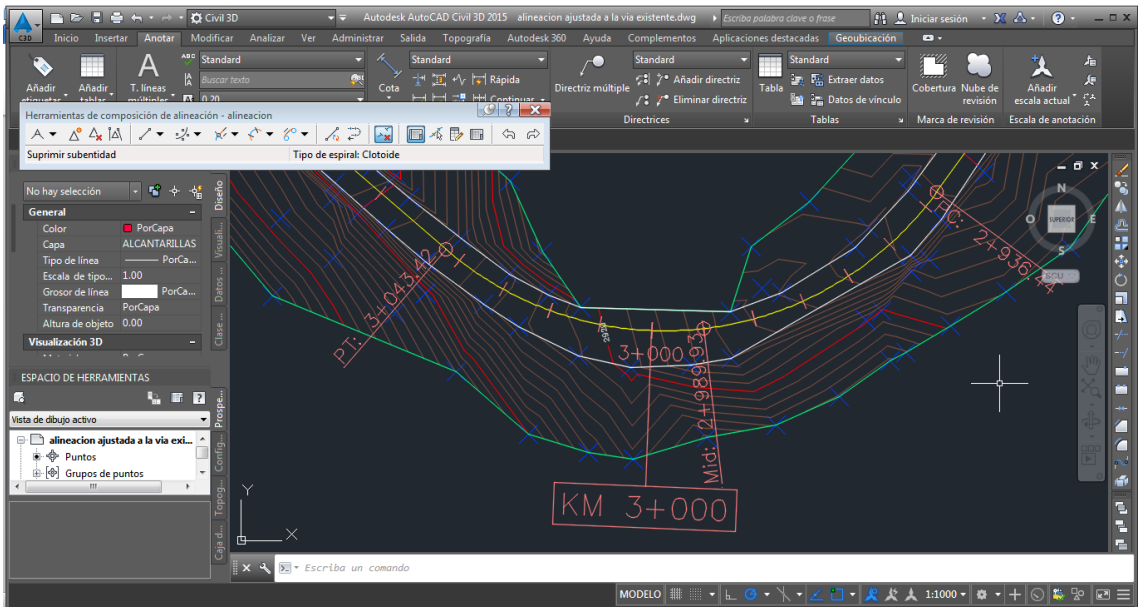


Figura 2. 19 Vista de etiquetado

Fuente: (Autodesk, 2015).

En creador de estilo de etiqueta en contenido seleccionamos esta celda, y luego antes de los símbolos (< >) colocamos el prefijo PI.

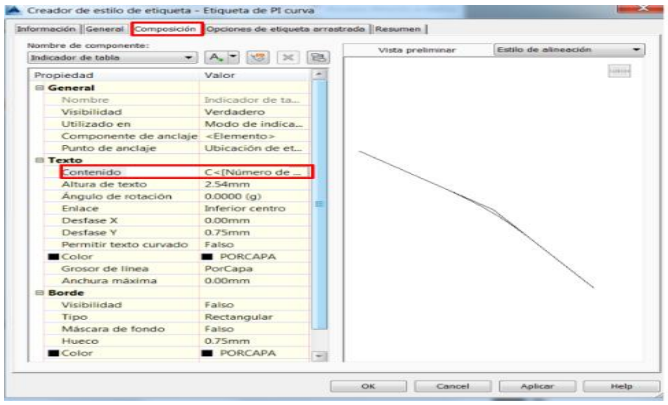


Figura 2. 20 Configuración de la etiqueta PI

Fuente: (Autodesk, 2015)

En el menú Anotar seleccionamos Añadir etiquetas en elementos ponemos alineación, en tipo de etiqueta colocamos Segmento múltiple, para la etiqueta de línea ponemos slope only, en el caso de las etiquetas de curva y espiral debemos seleccionar editar la configuración y de acuerdo a los datos que consideremos, una vez configurado podemos ir añadiendo a las espirales y curvas que deseemos.

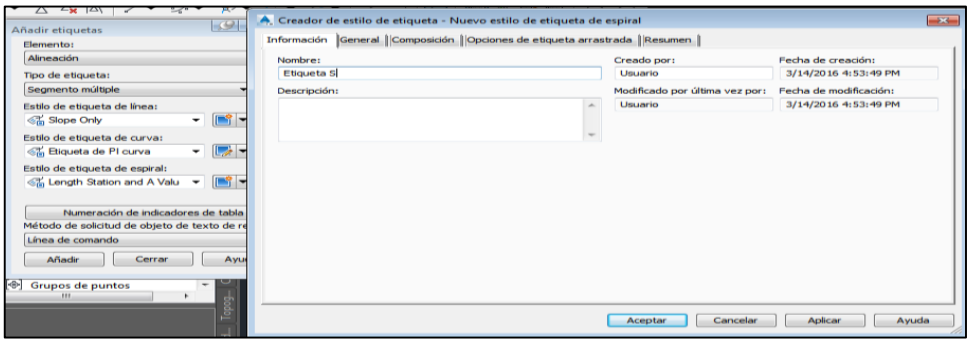


Figura 2. 21 Asignación de etiquetas al diseño

Fuente: (Autodesk, 2015)

Las etiquetas en las curvas y espirales nos deben quedar de la siguiente manera.

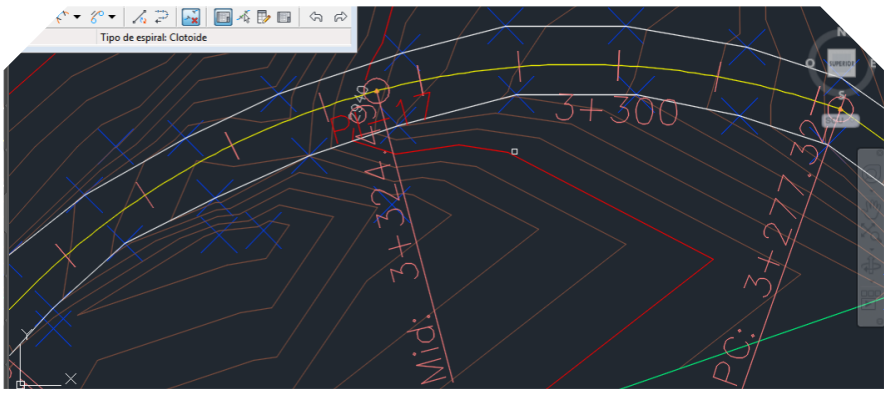


Figura 2. 22 Vista de etiqueta PI

Fuente: (Autodesk, 2015).

Para lograr definir el ancho de desfase de la alineación, para lo cual tenemos un desfase incremental a la izquierda y derecha de 2.2 m.

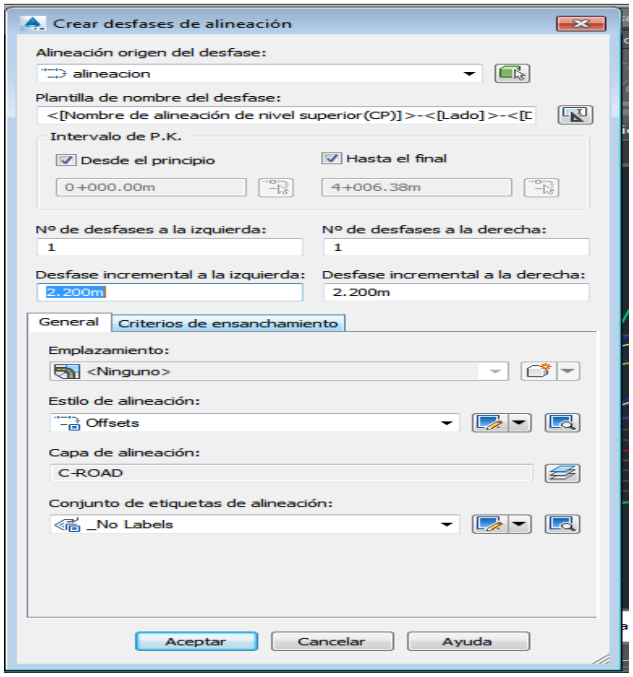


Figura 2. 23 Colocación del ancho de calzada

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

En el mismo desfase de alineación en los criterios de ensanchamiento definimos la norma de la AASHTO 2011 para la toma de sobre anchos en curvas.

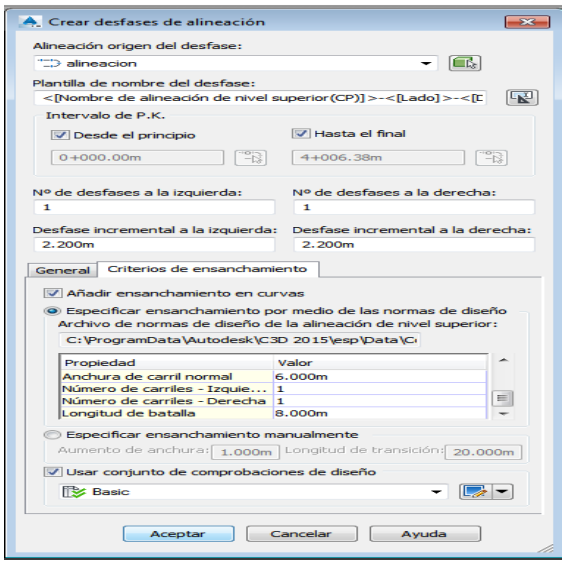


Figura 2. 24 Valores de diseño de calzada

Fuente: (Autodesk, 2015).

Por siguiente calculamos el peralte para lo cual, seleccionamos el icono peralte y en las opciones escogemos calcular peralte, al abrirse la ventana colocamos un ancho de 2.2 m y pendientes transversales del 2%, nuestra sección transversal no tiene bermas por lo cual no se toma en cuenta al llenar los datos.

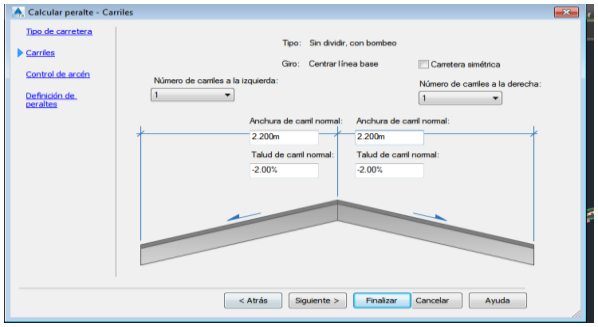


Figura 2. 25 Colocación del peralte en los carriles

Fuente: (Autodesk, 2015).

Tabla con los resultados del alineamiento horizontal en el ANEXO B.

2.2.2 Diseño Vertical

Seleccionamos la alineación creada luego en la ventana abierta en la parte superior seleccionamos perfil de superficie, de inmediato aparece una ventana en la cual seleccionamos nuestra alineación y añadimos la topografía y seleccionamos dibujar en visualización de perfil.

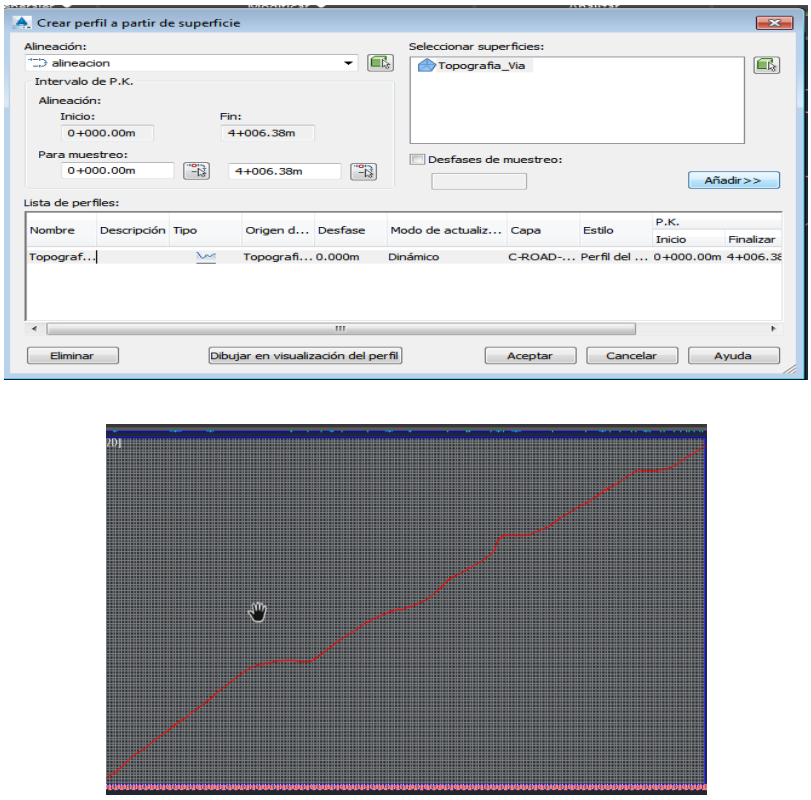


Figura 2. 26 Creación del perfil de terreno

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Una vez creada la gráfica vertical damos click en la misma y en la parte superior seleccionamos herramienta de creación de perfiles nos aparecerá una ventana con el título crear perfil entonces en descripción colocamos el nombre de la rasante en este caso “RASANTE SF-YG”, luego en normas de diseño seleccionamos usar diseño según normas y archivo según normas.

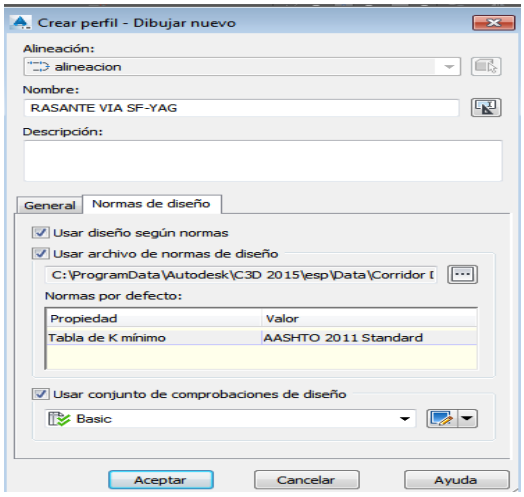


Figura 2. 27 Creación de perfil de diseño

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Una ventana llamada herramienta de composición de perfil y ahí en el primer cuadro seleccionamos configuración de acuerdo vertical, en el cuadro que se abre seleccionamos tipo de curva parabólica para acuerdos convexos valor de K de 3.8 y para acuerdos cóncavos con un K de 9.

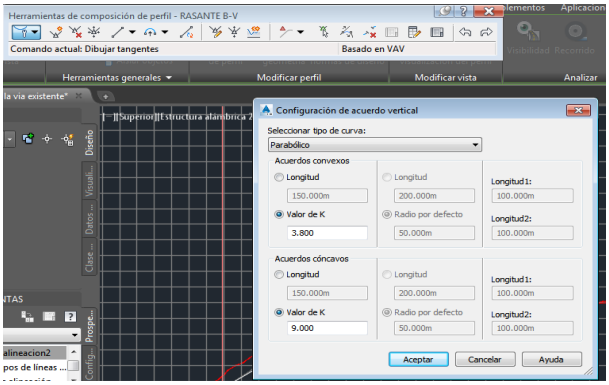


Figura 2. 28 Configuración de curva vertical

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Una vez configurada la curva seleccionamos dibujar tangentes con curvas y procedemos al diseño.

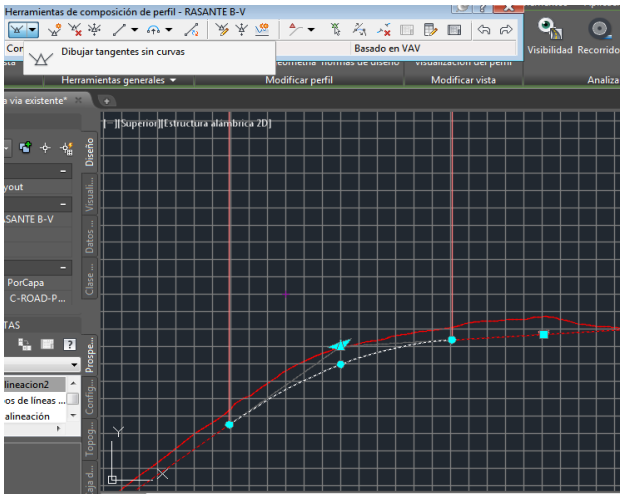


Figura 2. 29 Diseño con la opción tangente con curva

Fuente: (Autodesk, 2015)

Tabla con los resultados del diseño vertical en el ANEXO C.

2.2.3 Diseño Transversal

Una vez creado seleccionamos crear ensamblaje y luego en NOMBRE: ubicamos “SECCION SF-YG 4.4m”.

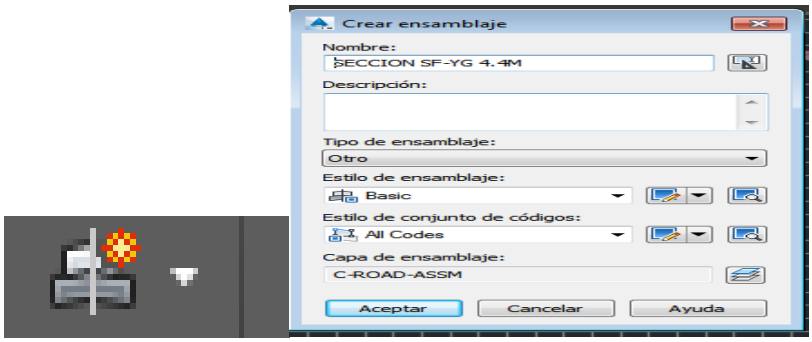


Figura 2. 30 Creación de la sección transversal

Fuente: (Autodesk, 2015)

Una vez creado el ensamblaje nos debe aparecer una flecha roja la que determina que sea realizado correctamente el ensamblaje.

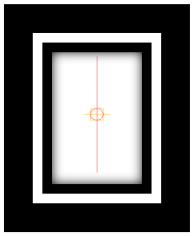


Figura 2. 31 Eje transversal de la calzada.

Fuente: (Autodesk, 2015).

Para construir nuestra sección transversal activamos la paleta de herramientas seleccionamos ensamblaje de sección completa de carretera principal y damos click en la flecha roja.

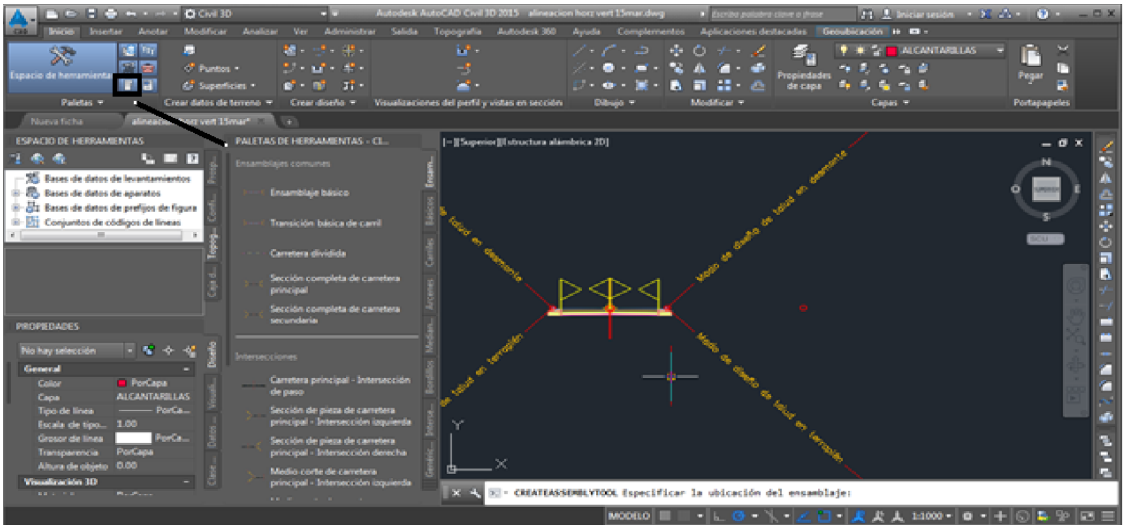


Figura 2. 32 Sección transversal de la vía

Fuente: (Autodesk, 2015).

Una vez creado el ensamblaje suprimimos la parte izquierda del ensamblaje de tal manera que nos quede solo el lado derecho, en este sector damos click derecho y escogemos propiedades del ensamblaje, se abre una ventana en la cual en la pestaña construcción nos debe aparecer los siguientes datos calzada derecha, cuneta derecha, y talud derecha, luego configuramos cada uno de los elementos de la sección antes mencionada.

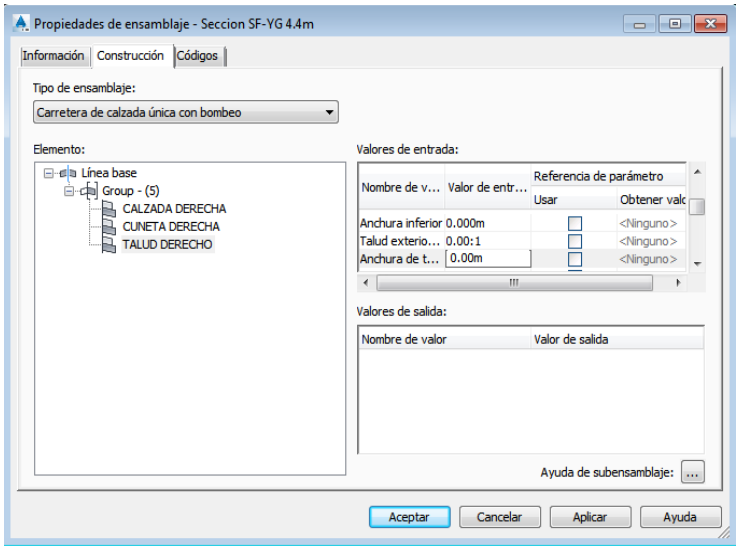
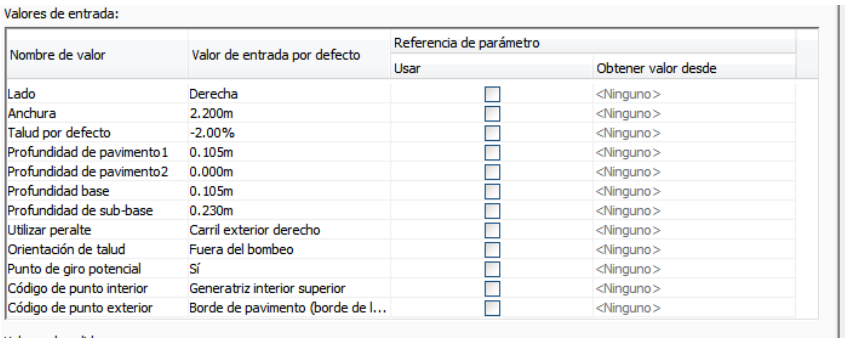


Figura 2. 33 Propiedades del ensamblaje

Fuente: (Autodesk, 2015)

En el caso de la calzada derecha ponemos los siguientes datos:



Valores de entrada:

Nombre de valor	Valor de entrada por defecto	Referencia de parámetro	
		Usar	Obtener valor desde
Lado	Derecha	☐	<Ninguno>
Anchura	2.200m	☐	<Ninguno>
Talud por defecto	-2.00%	☐	<Ninguno>
Profundidad de pavimento1	0.105m	☐	<Ninguno>
Profundidad de pavimento2	0.000m	☐	<Ninguno>
Profundidad base	0.105m	☐	<Ninguno>
Profundidad de sub-base	0.230m	☐	<Ninguno>
Utilizar peralte	Carril exterior derecho	☐	<Ninguno>
Orientación de talud	Fuera del bombeo	☐	<Ninguno>
Punto de giro potencial	Sí	☐	<Ninguno>
Código de punto interior	Generatriz interior superior	☐	<Ninguno>
Código de punto exterior	Borde de pavimento (borde de l...	☐	<Ninguno>

Figura 2. 34 Configuración de la calzada

Fuente: (Autodesk, 2015)

Para la cuneta derecha tenemos los siguientes datos.

Nombre de valor	Valor de entrada por defecto	Referencia de parámetro	
		Usar	Obtener valor desde
Orientación de talud de caz	Fuera del bombeo	☐	<Ninguno>
Profundidad de sub-base	0.000m	☐	<Ninguno>
Extensión de sub-base	0.000m	☐	<Ninguno>
Método de talud de sub-base	Talud de carril exterior	☐	<Ninguno>
Talud de sub-base	-2.00%	☐	<Ninguno>
Dimensión A (mm/pulgada)	100.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión B (mm/pulgada)	600.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión C (mm/pulgada)	200.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión D (mm/pulgada)	200.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión E (mm/pulgada)	100.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión F (mm/pulgada)	100.000mm	☐	<Ninguno>
Dimensión G (mm/pulgada)	300.000mm	☐	<Ninguno>

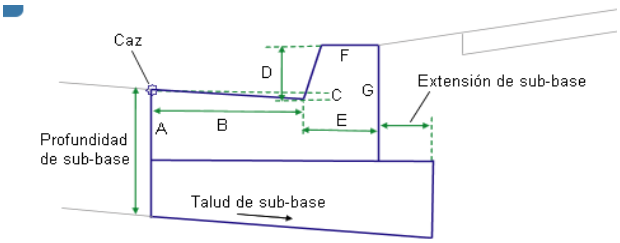


Figura 2. 35 Configuración de la cuneta

Fuente: (Autodesk, 2015)

Luego el talud derecho queda de la siguiente manera.

Valores de entrada:

Nombre de valor	Valor de entrada por defecto	Referencia de parámetro	
		User	Obtener valor ...
Lado	Derecho	☐	<Ninguno>
Vínculo de intersección	Incluir vínculo de intersección	☐	<Ninguno>
Talud en desmonte	0.50:1	☐	<Ninguno>
Talud en terraplén	1.00:1	☐	<Ninguno>
Talud interior de cuneta	0.00:1	☐	<Ninguno>
Anchura de talud interior de cuneta	0.00m	☐	<Ninguno>
Anchura interior	0.00m	☐	<Ninguno>
Talud exterior de cuneta	0.00:1	☐	<Ninguno>
Anchura de talud exterior de cuneta	0.00m	☐	<Ninguno>
Opción de redondeo	Ninguno	☐	<Ninguno>
Redondear por	Longitud	☐	<Ninguno>
Parámetro de redondeo	0.50m	☐	<Ninguno>
Triangulación de redondeo	6	☐	<Ninguno>
Colocar material revestido	Ninguno	☐	<Ninguno>
Límite 1 del talud	1.00:1	☐	<Ninguno>

Figura 2. 36 Configuración del talud derecho

Fuente: (Autodesk, 2015).

Una vez configurado todas las propiedades hacemos simetría del lado derecho al lado izquierdo, y nuevamente entramos a las propiedades del ensamblaje y configuramos la calzada de la izquierda, cuneta izquierda y talud de la izquierda escogiendo el lado correspondiente. Luego procedemos a realizar la obra lineal para lo cual seleccionamos el icono mostrado.

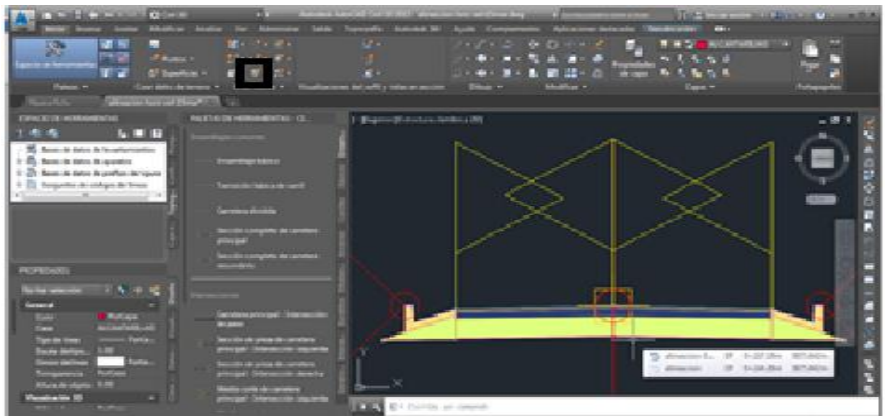


Figura 2. 37 Sección definitiva del proyecto

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Para la creación de la obra lineal configuramos con el nombre que deseemos, luego seleccionamos la alineación, perfil, y ensamblaje con que estamos trabajando.

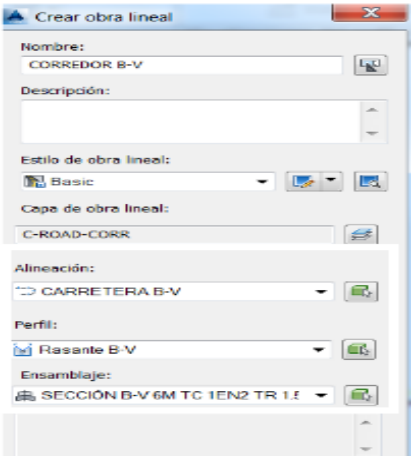


Figura 2. 38 Creación de la obra lineal

Fuente: (Autodesk, 2015).

Por consiguiente, asignamos el objetivo para lo cual se configura de tal manera que quede como el siguiente cuadro:

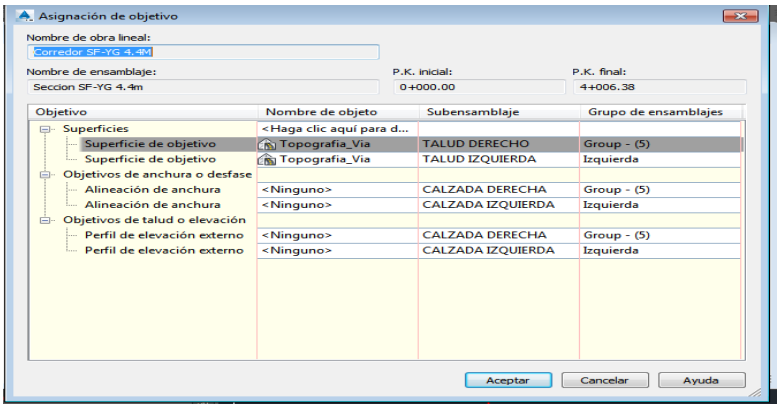


Figura 2. 39 Asignación de objetivos en la obra lineal

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Después de haber creado la obra lineal se asigna un tipo de líneas patrón o líneas de muestreo que nos guiaran por donde se van a generar las secciones transversales.

Presionamos la opción línea de muestreo, luego la alineación que estamos utilizando y se abre la ventana crear grupo de líneas de muestreo en esta opción tiene que estar encendidas la superficie de la obra lineal, la topografía y la obra lineal.

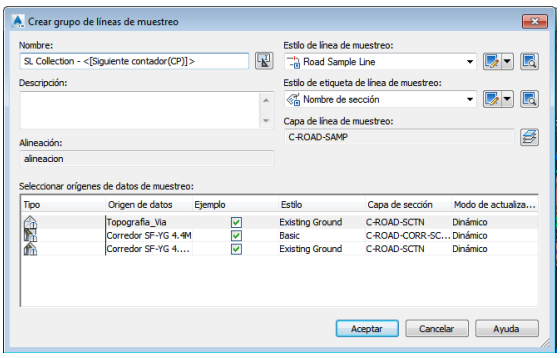


Figura 2. 40 Creación de las líneas de muestreo

Fuente: (Autodesk, 2015).

Luego se abre una barra de herramientas de líneas de muestreo en la misma escogemos por intervalo de P.K. y en el cuadro que nos aparece seleccionamos intervalos de 10m en tangentes y 20m en curvas.

2.2.4 Sección Transversal

Para obtener las secciones transversales escogemos la opción crear varias vistas en la misma, definimos el desfase del eje de la vía a los extremos, en nuestro caso por presentar edificaciones en bordes de la vía, escogemos de 20m.

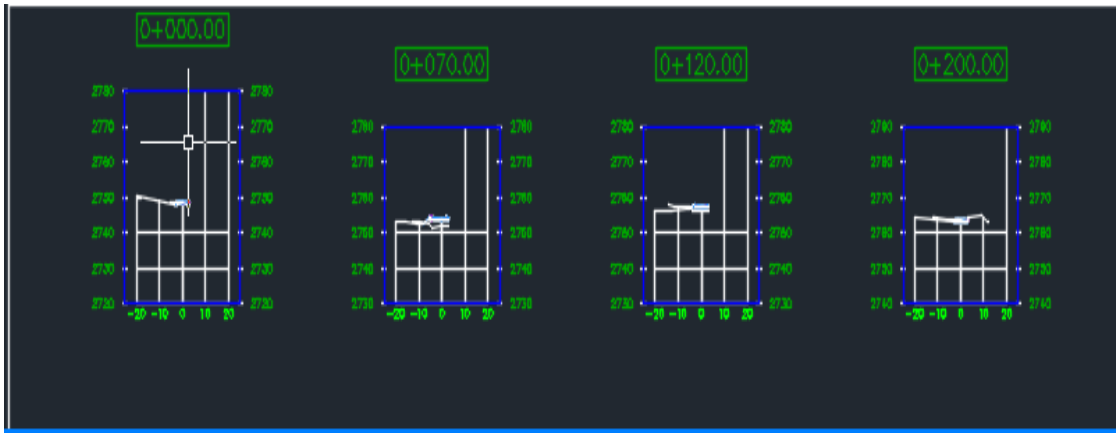


Figura 2. 41 Vista de sección transversal por líneas de muestreo

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

2.2.5 Materiales

Para la adición de materiales, seleccionamos la opción analizar y dentro de la misma calcular materiales e inmediatamente escogemos la alineación y las líneas de muestreo creadas. Luego nos aparece un cuadro en la que debe quedar configurado de la siguiente manera.

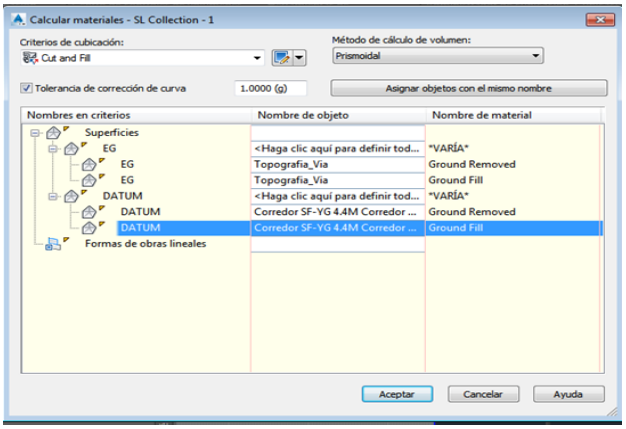


Figura 2. 42 Configuración para el cálculo de materiales

Fuente: (Autodesk, 2015)**.**

Una vez llenado el cuadro procedemos a seleccionar aceptar, luego en el mismo botón de calcular materiales nos aparece otro cuadro en el que tenemos que poner los siguientes datos.

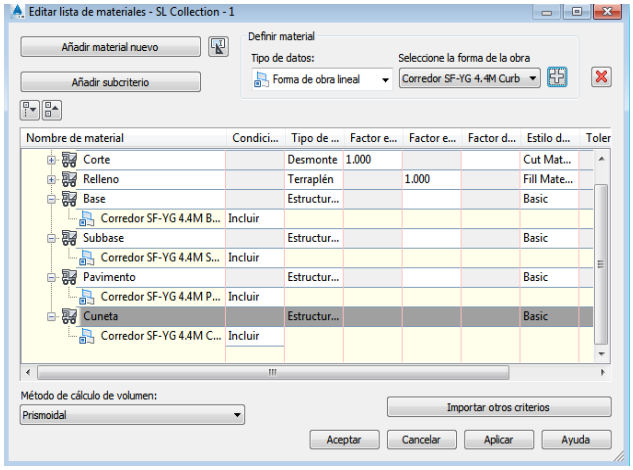


Figura 2. 43 Configuración de los materiales empleados.

Fuente: (Autodesk, 2015).

Por ultimo damos click en aceptar y generamos un informe de volúmenes en el cual se obtuvo un reporte de los volúmenes de materiales empleados como el generado en el ANEXO C.

También existen tablas para generar los volúmenes por tipo de material.

Planos del diseño geométrico horizontal, vertical y transversal en el ANEXO I.

CAPÍTULO 3

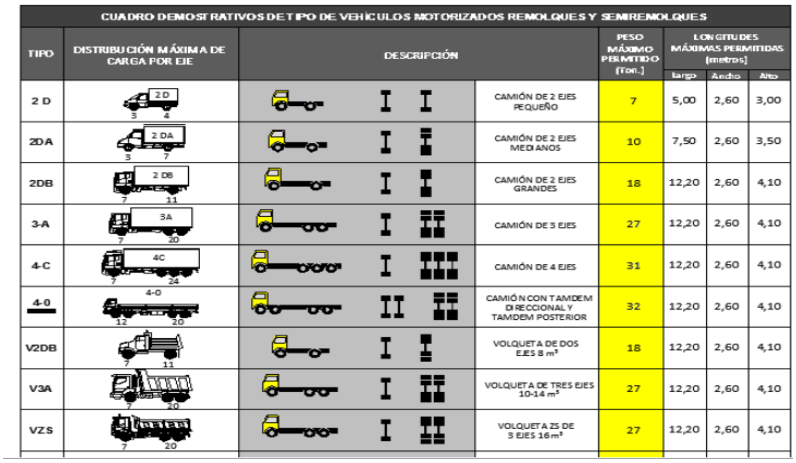
DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

3.1 Variables de entrada

Según el Ingeniero Gustavo Corredor en su libro Experimento vial de la AASHO y las guías del diseño AASHTO (Corredor) manifiesta que las variables de entrada que corresponden al diseño y construcción de la estructura de pavimento son referidas al tiempo, tráfico, confiabilidad y efectos ambientales.

3.1.1 Cargas equivalentes en el periodo de diseño

Básicamente se basa en el volumen tráfico en el cual se convierte en una carga equivalente de ejes para una carga de 8.2 ton, y la conversión se lo hace utilizando un factor llamado LEF (Load Equivalent Factor) según se manifiesta por el Road Test de la AASHO (AASHO, 1962).



CUADRO DEMOSTRATIVOS DE TIPO DE VEHICULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN		PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					largo	Ancho	Alto
2 D	2 D 3 4		CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	7	5,00	2,60	3,00
2DA	2 DA 3 7		CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS	10	7,50	2,60	3,50
2DB	2 DB 7 11		CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES	18	12,20	2,60	4,10
3-A	3A 7 20		CAMIÓN DE 3 EJES	27	12,20	2,60	4,10
4-C	4C 7 24		CAMIÓN DE 4 EJES	31	12,20	2,60	4,10
4-0	4-0 12 20		CAMIÓN CON TAMDEM DIRECCIONAL Y TAMDEM POSTERIOR	32	12,20	2,60	4,10
V2DB	7 11		VOLQUETA DE DOS EJES 8 m³	18	12,20	2,60	4,10
V3A	7 20		VOLQUETA DE TRES EJES 10-14 m³	27	12,20	2,60	4,10
VZS	7 20		VOLQUETA ZS DE 3 EJES 16 m³	27	12,20	2,60	4,10

Figura 3. 1 Peso y tipo de vehículos motorizados

Fuente: (Autodesk, 2015).

3.1.1.1 LEF (Load Equivalent Factor)

Según el Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos (Iturbide, 2002) denomina LEF que es el resultado numérico de la relación entre la perdida de servicialidad por causa del eje de 80 KN con respecto a otra de producida por un eje estándar en un mismo eje.

$$\text{N°LEF} = \frac{\text{N° de ESAL´S de 80KN que producen una pérdida de servicialidad}}{\text{N° de ejes de 80 KN que producen la misma servicialidad}}$$

(Ecuación 28). (Iturbide, 2002).

Cabe destacar que para el cálculo del número de ESAL´S es necesario estimar el numero estructural y el índice de servicial dad final.

3.1.1.2 Factor de distribución por dirección

Este factor depende del tráfico existente en la vía, por lo general en el Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos (Iturbide, 2002), por lo general se toma un valor de 0.5 para lo cual también se ha desarrollado una tabla para diferentes casos:

Tabla 3. 1 Factor de distribución por carril

Número de carriles en ambas direcciones.	LD^{10}
2	50
4	45
6 ò mas	40

Fuente: (Iturbide, 2002)**.**

3.1.1.3 Factor de distribución por carril

Para encontrar el factor se determina primero el carril de diseño, que no es más que tomar en cuenta el carril con mayor número de ejes equivalentes, por ejemplo para el caso de vías con 2 carriles se puede tomar el carril que se quiera, para el caso de varios carriles se toma el externo ya que es el que contiene a los vehículos pesados a más de esto el Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos (Iturbide, 2002), adjunta las siguientes tablas.

Tabla 3. 2 Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección.	LC^{11}
1	1
2	0.8 a 1
3	0.6 a 0.8
4	0.5-0.75

Fuente: (Iturbide, 2002)

3.1.1.4 Índice de servicialidad

Se toma en cuenta de acuerdo al grado de percepción del conductor al pasar por una superficie buena, regular o pésimas condiciones. Para lo cual el Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos tomo como un valor de 5 para el índice de servicialidad inicial en vías en óptimas condiciones, y para vías con un deterioro total un índice de servicialidad final de 0, la diferencia entre estos dos factores se conoce como perdida de servicialidad (Δpsi) que sería el índice de servicialidad presente, en el mismo documento cita algunos valores que se pueden tomar:

Índice de servicialidad inicial (Po):

Po=4.5 pavimentos rígidos.

Po=4.2 pavimentos flexibles.

Índice de servicialidad final (Pt):

Pt= 2.5 o más para caminos importantes y 2.0 para caminos de transito menor.

3.1.1.5 Factor camión

El factor camión no es más que la suma de los LEF de cada eje, para lo cual se utiliza tanto el peso por eje y el numero estructural(SN) el cual asumimos a más de tomar en cuenta el índice de servicialidad final (Pt) para la elección del adecuado LEF en las siguientes tablas.

Tabla 3. 3 Factores equivalentes de carga

TABLAS DE FACTORES EQUIVALENTE DE CARGA[5]

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)[6]	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: (Iturbide, 2002)

3.1.1.6 Factor de crecimiento

Es una proyección del crecimiento anual de vehículos por año expresado en porcentaje, depende del periodo de diseño y de la tasa de crecimiento anual (g).

Tabla 3. 4 Factores de crecimiento de tránsito

Factores de crecimiento de tránsito

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: (Iturbide, 2002)**.**

También podemos calcular el factor de crecimiento de tránsito con la siguiente formula:

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1+g)^{n}-1}{g} \qquad \text{(Ecuación29).}$$

g= tasa de crecimiento anual (%).

n= periodo de diseño.

3.1.1.7 Cálculo de ejes equivalentes de diseño.

Para el cálculo de ejes equivalentes es necesario los siguientes datos: el tipo de vehículo, la cantidad de vehículos categorizados, El Factor de crecimiento, factor camión, factor de dirección, factor de carril.

A continuación, tenemos un ejemplo de aplicación que explica cada uno de los factores, relacionados con el cálculo de ejes equivalentes.

Tabla 3. 5 Cálculo de ejes equivalentes de diseño

Tipo de vehículo.	Cantidad de vehículos diarios(1)	Factor de crecimiento (2).	Tránsito de diseño(3) (3)=(1)*(2)*365	LEF(4)	ESAL`s de diseño.(5) (5)=(4)*(3)
Autos	500	Tasa anual (0.079%) 15.08	=500*15.08*365 =2752100	=0.0002	=2752100*0.0002 =550
			(9)	**TOTAL**	=550

Fuente: (Iturbide, 2002)**.**

(6)Factor de dirección: 0.5

(7)Factor de carril: 0.9

ESAL`s por carril de tránsito= (9)*(7)*(8)

ESAL`s por carril de tránsito= 550* 0.9*0.5=248.

La tabla se elaboró tomando del Manual centroamericano para el diseño de pavimentos (Iturbide, 2002), de la siguiente manera clasificando por el tipo de vehículo, la cantidad de los mismos, Factor de crecimiento, el tránsito de diseño se lo hace multiplicado la cantidad de vehículos por el factor de crecimiento y por 365 días que tiene el año, el factor camión se lo hace sumando los LEF de cada eje, el ESAL`s de diseño es la multiplicación del Factor camión por el tránsito de diseño.

Por consiguiente hemos tomado el factor carril de 0.9 y el factor de dirección de 0.5, después multiplicamos los dos factores por el ESAL`s de diseño , y de esta manera tenemos el ESAL`s por carril de tránsito.

3.2 Confiabilidad en el diseño

La confiablidad en el diseño está dada por el tipo de vía con la que estemos trabajando, en realidad nos da una seguridad para la sección vial tenemos una tabla dada por la normativa AASHTO 93 (AASHO, 1962), la misma que no da el porcentaje de confianza.

Tabla 3. 6 Confiabilidad de diseño

.	. % DE CONFIABILIDAD POR SECTORES.	
Tipo de vía por su función	URBANO.	RURAL
Vías Interestatales y Autopistas.	85-99.9	80-99.9
Arterias principales.	80-99	75-95
Vías colectoras.	80-95	75-95
Vías laterales.	50-80	50-80

Fuente: (Iturbide, 2002)**.**

3.2.1 Desviación estándar del sistema

La desviación Estándar (Zr) está de acuerdo al nivel de confiabilidad con ese porcentaje escogemos el valor de Zr en la siguiente tabla tomada de la norma AASHTO 93 (AASHO, 1962).

Tabla 3. 7 Desviación Estándar del sistema

% DE CONFIABILIDAD.	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09

Fuente: (AASHO, 1962)**.**

3.2.2 Módulo de resiliencia (Mr)

La norma Ecuatoriana vial en el volumen 2B (MTOP, 2013), el módulo de resiliencia es la relación existente entre el esfuerzo desviador y la deformación recuperable, resultante del ensayo triaxial.

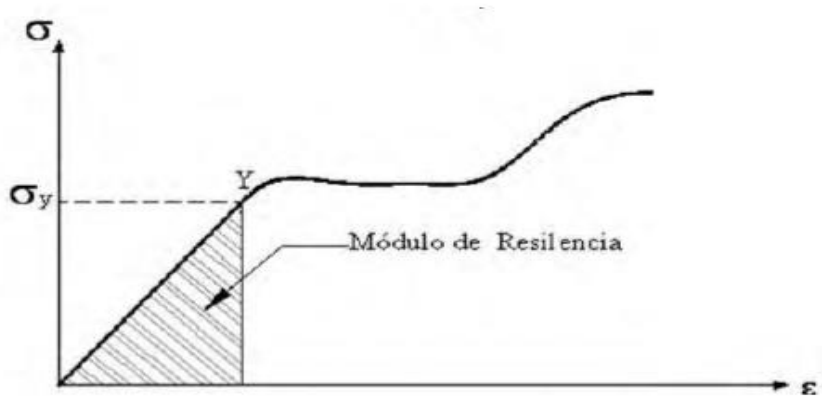


Figura 3. 2 Gráfica del módulo de resilencia

Fuente: (MTOP, 2013).

Existe una correlación existente entre el CBR y el Modulo de Resiliencia (MR) que emplea la normativa vial (MTOP, 2013).

$MR = 1500(CBR)$----------CBR<10%

$MR = 3000(CBR)^{0.65}$----------10%<CBR<20%

$MR = 4326xLn(CBR) + 241$----------Suelos Granulares.

3.2.3 Módulo de los materiales que forman el pavimento

Los módulos elásticos para la base y sub-base se calculan con la formula mencionada en el inciso 3.2.2 y sujeta a las mismas restricciones de CBR, a más de esto la AASHTO 93 (AASHO, 1962), recomienda asumir un valor del 80% para la base y un 30% para la sub-base, para el caso de la carpeta asfáltica asumimos 30000 Kg/cm2.

3.3 Diseño estructural del pavimento

3.3.1 Determinación del número estructural requerido

Para la determinación del número estructural (SN) se requiere la confiabilidad (%), la desviación estándar, el número de ejes equivalentes W18, el Modulo de resiliencia(PSI), y la perdida de servicialidad (Δpsi). Con los mismos podemos llenar el nomograma que se presenta a continuación determinado por la normativa vial AASHTO 93 (AASHO, 1962).

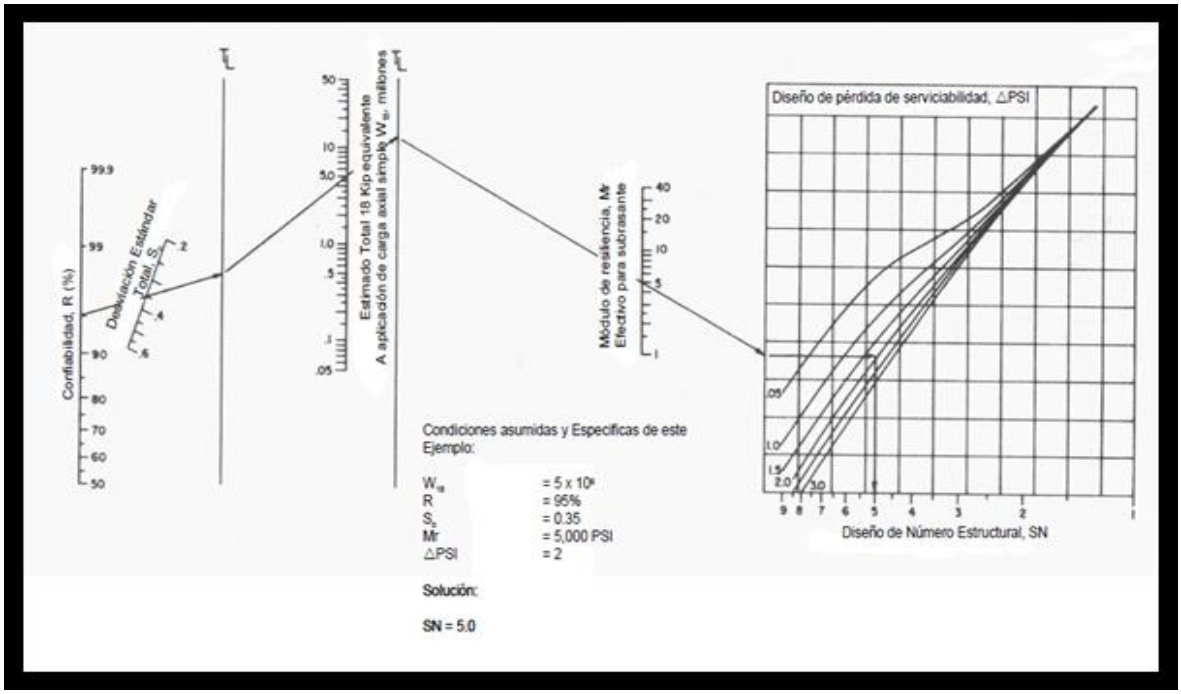


Figura 3. 3 Nomograma para el diseño de pavimento flexible

Fuente: (AASHTO, 1993)**.**

3.3.2 Coeficientes elásticos de capas (ai)

Son los coeficientes estructurales o de capas que influyen directamente sobre el espesor del material de cada capa, es así que en la AASHTO 93 (AASHTO, 1993) determina el coeficiente elástico(ai) para la carpeta asfáltica en función del módulo elástico, y para base y sub-base en función del CBR.

Tabla 3. 8 Coeficiente elástico para carpeta asfáltica

MODULOS ELASTICOS		VALORES DE (a1)
Psi	Mpa	
125000	875	0.220
150000	1050	0.250
175000	1225	0.280
200000	1400	0.295
225000	1575	0.320
250000	1750	0.320
275000	1925	0.350
300000	2100	0.360

MODULOS ELASTICOS		VALORES
PSI	MPA	a1 (plg^-1)
125000	862	0,22
150000	1034	0,25
175000	1207	0,28
200000	1379	0,295
225000	1551	0,32
250000	1724	0,33
275000	1896	0,35
300000	2068	0,37
325000	2241	0,38
350000	2413	0,39
375000	2586	0,4
400000	2758	0,42
425000	2930	0,43
450000	3103	0,44

Fuente: (Milton).

Para nuestro proyecto tomamos un módulo elástico de 350000 con un a1 de 0.39

Tabla 3. 9 Coeficiente elástico para base y subbase

BASE DE AGREGADOS.		**SUBBASE DE AGREGADOS.**	
CBR(%)	**a2**	**CBR(%)**	**a3**
20	0.070	10	0.08
25	0.085	15	0.09
30	0.095	20	0.093
35	0.1	25	0.102
40	0.105	30	0.108
45	0.112	35	0.115
50	0.115	40	0.120
55	0.120	50	0.125
60	0.125	60	0.128
70	0.130	70	0.130
80	0.133	80	0.135
90	0.137	90	0.138
100	0.140	100	0.140

Fuente: (AASHTO, 1993).

3.3.3 Factores de drenaje de capas (mi)

Este factor se escoge de acuerdo al tiempo de evacuación del agua y en función de aquello escogemos la calidad del drenaje como podemos observar en las siguientes tablas.

Tabla 3. 10 Calidad de drenaje y tiempo de evacuación de agua

Calidad del drenaje.	Tiempo recomendado de evacuación del agua.
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes

Fuente: (AASHTO, 1993).

Una vez escogido la calidad del drenaje y con el porcentaje de tiempo que esta la estructura expuesta a la humedad, procedemos a seleccionar el coeficiente de drenaje (mi) en la siguiente tabla tomada de la AASHTO 93.

Tabla 3. 11 Selección del coeficiente de drenaje

Calidad de Drenaje	**Porcentaje de tiempo con la estructura expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación**			
	< 1%	**1 - 5%**	**5 - 25%**	**> 25%**
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,2
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
Muy Pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: (AASHTO, 1993).

3.3.4 Selección de los espesores de las capas

Para la determinación de los espesores de las capas la normativa AASHTO 93 (AASHTO, 1993) , especifica valores mínimos de espesores en función del número de ESAL`s.

Tabla 3. 12 Espesores mínimos sugeridos

Espesores mínimos sugeridos

Número de ESAL´s	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 cm	10 cm
50,000 - 150,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: (MTOP, 2013).

A continuación se mostrara el procedimiento para determinar el espesor de pavimento para cada capa según el Manual centroamericano para el diseño de pavimentos (Iturbide, 2002).

Con la Figura 3.2, podemos obtener los números estructurales de cada capa es decir para hallar el numero estructural se debe poner el módulo de resiliencia(Mrb) de la capa que se encuentre justamente debajo de la capa que estemos analizando, así por ejemplo en el caso de la carpeta asfáltica se debería colocar el módulo de resiliencia de la base:

Para el caso de la carpeta asfáltica esta seria:

$SN1=d1/a1$ (Ecuación30)

Donde el número estructural (SN1) es el valor mínimo requerido, por lo cual deberíamos tomar un valor de SN1 y d1 de tal manera que sean mayor iguales al mínimo requerido a estos valores los denominaremos en esta capa y en las otras capas entre comillas (“).

SN1”=(d1”)xa1>=SN1 (Ecuación31).

Continuando con la capa de base para hallar su número estructural (SN2), tomamos el módulo de resiliencia (MrSb) de la sub-base, siendo de la siguiente manera.

SN1”+SN2”>=SN2 (Ecuación32)

Donde d2”>=(SN2-SN1”)/(a2xm2) (Ecuación33).

Por último, para la capa de sub-base su número estructural (SN3), se hallaría con el módulo de resiliencia de la subrasante (Mr) de tal forma que.

SN1”+SN2”+SN3”>=SN3. (Ecuación34)

d3”>=(SN3-SN1”-SN2”)/(a3xm3). (Ecuación35).

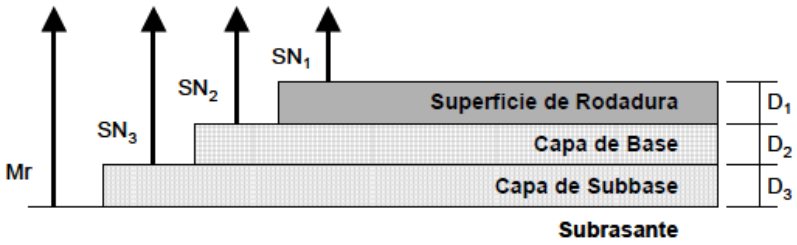


Figura 3. 4 Esquema del número estructural

Fuente: (Corredor)

3.4 Diseño del pavimento definitivo

Para el caso de nuestro pavimento se utilizará capas de 4 pulgadas (estimado de 10 cm) aproximadamente para la capa de rodadura asfáltica, 4 pulgadas (estimado 10 cm) de base granular y una capa de sub-base granular de 11 pulgadas (28 cm).

Procedemos:

1) Se procedió a sacar el tráfico de diseño.

Se escogió tres tipos de vehículo, por lo que en la zona transitaban estos, según tablas.

Tabla 3. 13 Tipos de vehículos

Vehículo
2D
3A
2DA

Para la cantidad de vehículos se utilizó el TPDA ya encontrado.

Tabla 3. 14 Cantidad de TPDA

Vehículo	TPDA
2D	381
3A	7
2DA	57

Factor de crecimiento se debe usar el de los vehículos, pero como en la zona no existe este dato, tomamos el de la población que es i=0.079% y con un periodo de vida útil n= 15 años según datos de la AASHTO.

$$F.Crec = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$ (Ecuación36).

Tabla 3. 15 Factores de crecimiento

Vehículo	TPDA	Crecí
2D	381	15.08
3A	7	15.08
2DA	57	15.08

Factor Camión, para obtener este dato sumamos la cantidad de LEFS de cada vehículo, con un número estructural SN= 3 para luego ser iterado hasta conseguir un valor similar, con un índice de servicio Pt = 2, por lo que la vía es secundaria también el tipo de pavimento que en esta ocasión es flexible y buscamos en las tablas.

(E.S)= Eje simple.

(E.T)= Eje tándem.

Tabla 3. 16 Cantidad de LEF

	2D		3A		2DA	
TN	(E.S)3	(E.S)4	(E.S)7	(E.T)20	(E.S)3	(E.S)7
KN	30	40	70	200	30	70
Lef	0.036	0.09	0.613	3.92	0.036	0.613
Camión		0.126		4.533		0.649

Finalmente los ESALS.

$$ESALS = TPDA * F.Crec * \text{Días } del\ año * F.Camión$$ (Ecuación37)

Tabla 3. 17 Número de ESALS

Vehículo	Cant	F.Creci	Camión	Esals	
2D	381	15,08	0,126	264235	
3A	7	15,08	4,533	174654	
2DA	57	15,08	0,649	203617	
				642506	TOTAL

Terminando el tráfico de diseño. La vía es de 2 carriles la multiplicamos por 90% al valor que resulta de multiplicar los ESALS por 50% para obtener el valor de tráfico por carril.

Tabla 3. 18 Trafico de Diseño

2Sentidos		50%
Cada carril	80-100%	90%
TD		289127

Según la cantidad de ESALS se observó el valor de percentil. Según la tabla de instituto del asfalto y determino este valor. Nuestro valor de ESALS= 289127, por lo tanto se usó el percentil al 75%.

Tabla 3. 19 Percentil de diseño de subrasante.

Nivel de Tránsito	Valor Percentil Diseño Subrasante
Menor a 10,000 ejes equivalentes	60
Entre 10,000 y 1'000,000 ejes equivalentes	75
Mayor a 1'000,000 de ejes equivalentes	87.5

Fuente: (AASHTO, 1993).

Dada los diversos tipos de CBR a lo largo de la vía se calcula el CBR de diseño, para esto hemos realizado un cuadro que se visualizara a continuación y de esta manera se encontró el dato de CBR de diseño. El cual sirvió para sacar el Mr de la subrasante.

Se encontró el CBR de diseño de 2.5 según tabla.

Tabla 3. 20 % CBR-Percentil

	%CBR	%CBR	N° veces mayor al %CBR	%Ocurrencia
0+000	2.5	1	8	100
0+500	2.59	2	7	87,5
1+000	3.93	3	5	62,5
1+500	9.25	4	3	37,5
2+000	3.07	5	2	25
2+500	4.73	6	2	25
3+000	2.01	7	2	25
3+500	9.1	8	2	25

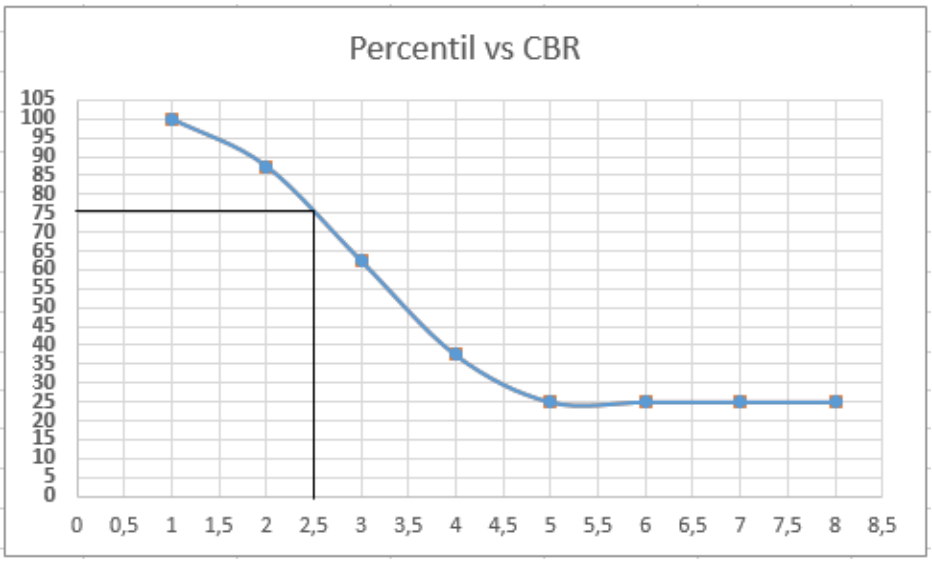


Figura 3. 5 Grafica percentil-CBR

Para el percentil del 75% se obtuvo un % de CBR del 2.5%.

Con los datos obtenidos, se ingresó en el programa.

So=Coeficiente de variación.

So = 0.45 Para pavimento nuevo.

Zr= Confiabilidad.

Zr=0.85 Asumimos.

PSI=4.2 Para pavimento nuevo

PSF=2 Para vías secundarias

TD=289127=W18

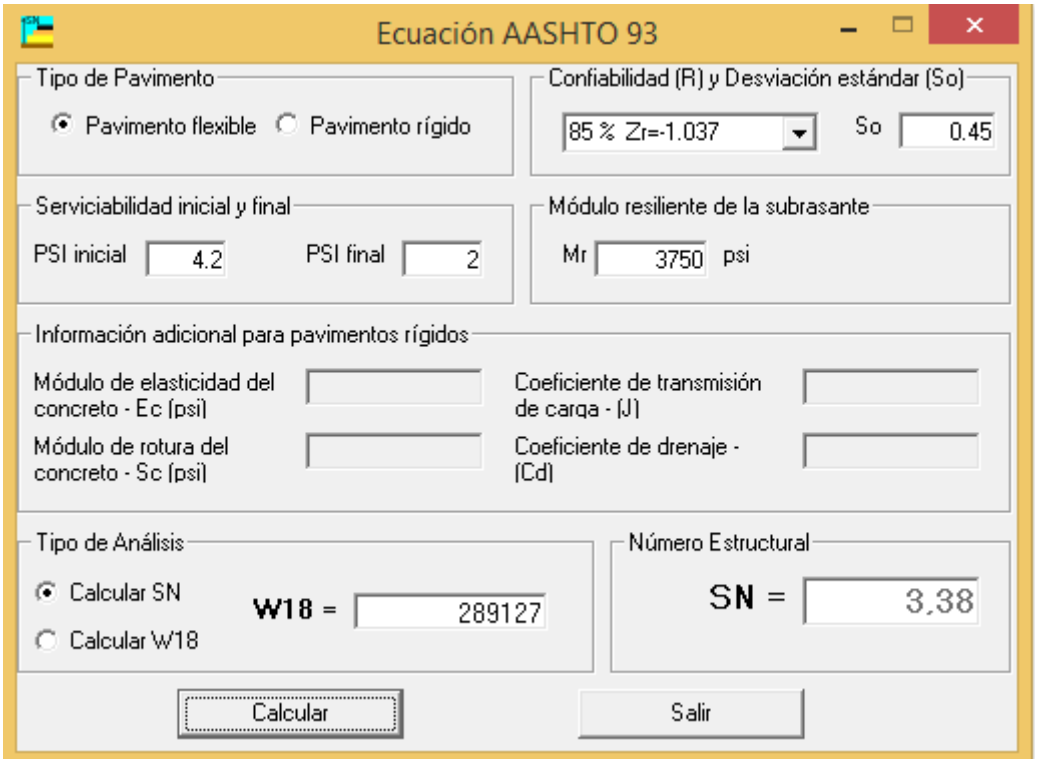


Figura 3. 6 Entrada de datos programa AASHTO93

Nota: Se obtuvo SN=3.38 diferente al SN= 3 iteramos hasta encontrar un valor similar.

En la manera que funciona el programa es en resolver la ecuación siguiente.

$$Log\ w18 = Zr * So + 9.36Log(SN+1) - 0.20 + \left(\frac{\frac{Log(\Delta Psi)}{4.2-1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \right) + 2.32LogMr - 8.07$$

(Ecuación38)

Recalculamos con un valor de SN=3.38, se interpola para sacar los LEFS de los diversos tipos de vehículos.

Tabla 3.21 Calculo del factor de equivalencia de carga

	SN	SN	SN
	3	3,38	4
TN	LEFS	LEFS	LEFS
30	0,036	0,03486	0,033
40	0,09	0,0881	0,085
70	0,613	0,61262	0,612
200	3,92	3,8858	3,83

EJE
SIMPLE
SIMPLE
SIMPLE
TANDEM

Con los datos de los LEFS se sumó dependiendo del tipo de vehículo y se procedió a encontrar el factor camión.

Tabla 3. 22 Clasificación de los vehículos

Vehículo	F.Camión
2D	0,12296
3A	4,49842
2DA	0,64748

Se volvió a calcular la cantidad de ESALS.

Tabla 3. 23 Obtención de los ESALS

Vehículo	Cant	F. Creci	F.Camión	Esals	
2D	381	15,08	0,12296	257859	
3ª	7	15,08	4,49842	173321	
2DA	57	15,08	0,64748	203140	
				634320	TOTAL

Luego se obtuvo el tráfico de diseño, como anteriormente.

Tabla 3. 24 Aplicación de los factores y distribución de carril

2Sentidos		50%
Cada carril	80-100%	90%

TD	285444

Con los datos del nuevo tráfico de diseño, se recalculo para obtener el nuevo número estructural SN.

Figura 3. 7 Verificación del número estructural.

Nota: Obtenido el mismo SN=3.38, dejamos de iterar.

2) Se obtuvo el CBR para la subrasante y con la cantidad de ESALS se procedió a sacar los módulos de resilencia para las diferentes capas.

Tabla 3. 25 Materiales y porcentaje de CBR

	%CBR
Base	80
Subbase	30
Mejoramiento	20
Subrasante	2.5

Dependiendo de la cantidad de CBR se utilizó diversas fórmulas.

1)$Mr = 1500Cbr$ $\%Cbr < 10\%$ (Ecuación39)

2)$Mr = 3000Cbr^{0.65}$ $\%Cbr < 20\%$ (Ecuación40)

3)$Mr = 4326LnCbr + 241$ $\%Cbr > 20\%$ (Ecuación41).

Tabla 3. 26 Porcentaje de CBR y Modulo de resiliencia

	%CBR	MR
Base	80	19200
Subbase	30	14900
Mejoramiento	20	13200
Subrasante	2.5	3750

3) Luego se evaluó los números estructurales necesarios por cada capa. Nos ayudamos del siguiente programa.

- Base.

Figura 3. 8 Numero estructural de la base.

- Subbase.

Figura 3. 9 Número estructural de la subbase.

- Subrasante.

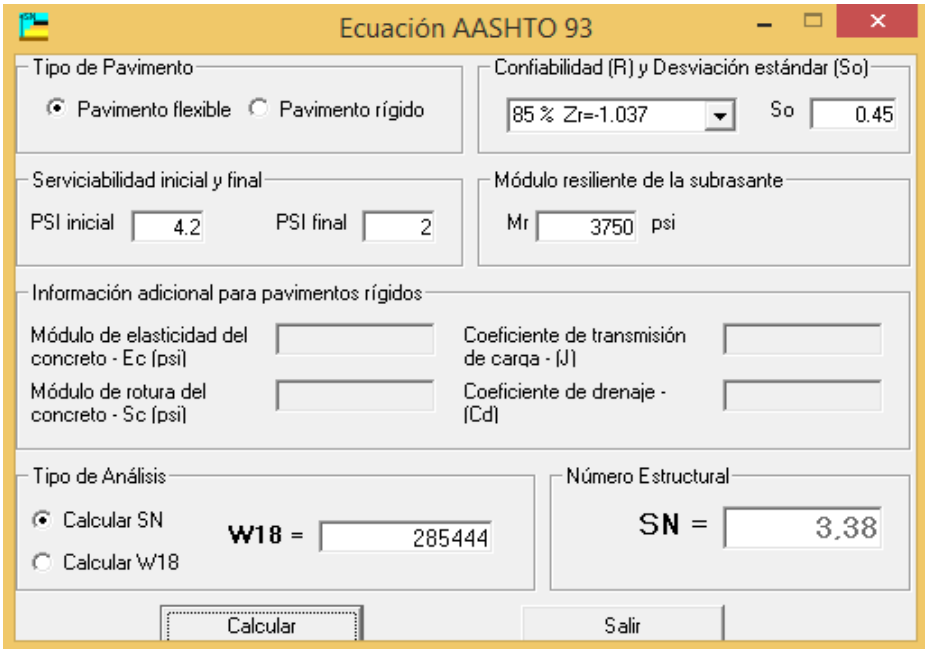


Figura 3. 10 Número estructural de la subrasante.

4) Una vez calculado los números estructurales, comenzamos a encontrar el espesor de cada capa.

Tabla 3. 27 Módulo de resiliencia de cada capa

	Mr	SN
Base	19200	1.87
Subbase	14900	2.06
Subrasante	3450	3.38

CARPETA

$SN_{T1} = SN1 = 1.87$

$a * m * e = 1.68$ (Ecuación42)

$0.385 * 1.2 * e = 1.68$

e=4"

BASE

$SN_{T2} = SN_{T1} + a_B * m_B * E_B$ (Ecuación43)

$2.06 = 1.87 + 0.133 * 1.1 * E_B$

$E_B = 1.29"$

$E_B = 4"$Espesor mínimo.

SUBBASE

$SN_{T3} = SN_{T2} + a_{SB} * m_{SB} * E_{SB}$ (Ecuación44)

$3.38 = (1.87 + (0.133 * 1.1 * 4)) + 0.108 * 0.8 * E_{SB}$

$E_{SB} = 10.7"$

$E_{SB} = 11".$

Comprobamos los números estructurales de cada capa, con el espesor obtenido para verificar si esta sumatoria nos da un valor mayor o igual al número estructural total de la estructura de pavimento.

Tabla 3. 28 Sumatoria de cada número estructural

CAPA	A	M	e	SN
Carpeta	0,385	1,2	4	1,848
Base	0,133	1,1	4	0,5852
Subbase	0,108	0,8	11	0,9504

3,3836	>3.38

Nota: Como el SN nos salió similar al asumido anteriormente sacamos los espesores de cada capa definitivos.

Tabla 3. 29 Espesores de cada capa

Capa	E(pulg)	E(cm)
Carpeta	4"	10
Base	4"	10
Subbase	11"	28

CAPÍTULO 4

ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1 Drenaje superficial

4.1.1 Intensidad de lluvias máximas

Para determinar la intensidad de las lluvias hemos recurrido a la tabla adjunta en el anuario meteorológico (INAMHI, 2014).

VALORES PLUVIOMETRICOS MENSUALES 2011 (mm)

CODIGO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL ANUAL	Maxima en 24 Hrs	Fecha	Numero de dias
M0228	49.9	67.8	17.5	119.7	2.5	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	263.9			
M0245	55.8	56.2	0.0	142.3	0.0	6.4	27.7	20.1	5.0	14.4	0.6	14.4	342.9	47.9	16-abr	100
M0247	51.3	41.0	17.8	43.2	4.0	1.6	29.5	0.0	0.4	0.0	0.0	9.0	197.8	19.0	13-jul	70
M0258	38.0	72.1	39.7	106.8	75.9	56.1	56.1	79.5	41.7	15.6	56.9	99.3	741.9	38.6	1-dic	204
M0269	85.4	64.4	21.6	22.1	9.6	7.4	19.1	0.2	30.9	3.8	3.8	13.2	281.5			
M0292	69.1	156.7	17.4	76.8	4.2	5.9	6.4	23.5	6.1	8.3	11.5	9.9	395.8			
M0301	96.9	93.2	94.9	106.5	34.7	19.2	38.3	20.0	35.9	84.8	55.0	92.5	771.9	32.3	24-sep	158
M0305	134.0	256.3	187.6	194.3	265.7	38.1	135.9	100.7	81.5	126.5	210.8	428.0	2158.4	70.6	21-nov	296
M0308	74.8	172.9	157.1	215.1	93.9	99.2	136.2	57.3	34.6	157.8	137.3	180.7	1516.9	36.7	29-jul	253
M0310	76.8	191.5	124.9	303.1	181.5	77.7	81.0	74.5	72.8	104.3	86.0	249.5	1623.6	39.7	20-abr	213
M0312	92.7	142.3	134.2	139.4	47.4	54.1	51.9	24.8	16.6	78.7	68.9	157.1	1008.1	35.7	13-dic	199
M0314	31.7	56.5	41.0	108.1	62.6	28.1	32.6	32.9	20.5	68.2	40.6	100.5	623.3	25.6	2-dic	95
M0315	39.7	22.5	69.3	129.3	78.0	38.2	66.9	30.7	49.2	66.2	68.7	73.7	732.4	30.6	24-sep	105
M0317	71.9	219.4	127.1	372.6	66.1	57.3	30.9	32.6	43.5	54.7	70.1	109.8	1256.0	100.3	25-abr	167
M0318	308.1	250.3	155.2	260.7	59.6	43.9	50.3	15.4	60.2	111.3	84.0	127.3	1576.3	57.4	28-feb	157
M0321	265.2	323.0	127.6	150.4	79.4	54.2	43.9	20.5		143.5	110.8	383.1				
M0324	92.7	88.2	163.0	206.3	210.9	122.0	278.9	127.5	85.7	86.9	187.8	184.9	1834.8	121.0	15-jul	132
M0325		290.2	192.5	230.0	53.7	80.7	96.0	22.9	60.4	83.9	41.9	85.8				
M0326	342.2	347.3	245.4	426.1	108.9	81.5	99.7	28.5	68.1		47.5	149.7				
M0327	408.2	380.9	226.4	475.4	61.5	27.4	86.9	5.5	9.6	163.6	43.2	142.8	2031.4	118.5	1-abr	194
M0328	86.1	242.0	154.3	292.9	67.0	102.1	49.4	29.9	43.7	96.9	127.5	207.9	1501.7	53.0	1-jun	207
M0335	136.8	337.8	143.2	411.2	38.8		94.3	90.0	29.8	221.0	88.3	136.0				
M0337	186.4	287.9	153.3	274.0	106.2	312.0	131.8	58.0	82.8	119.8	41.5	135.3	1891.0	47.2	24-sep	195
M0339	429.2	363.7	339.9	470.0	131.8	112.8	147.8	31.8	105.6	102.5	14.1	192.3	2441.5	60.2	20-feb	241
M0343	51.3	37.6	46.8	100.4	37.5	6.7	28.6	12.9	8.5	23.7	12.9					
M0345	69.6	94.6	78.5	135.7	37.5	14.1	65.2	21.4	13.6	59.6	25.2	44.0	659.0	26.9	14-jul	134
M0346	66.1	78.2	108.5	225.0	43.1	24.8	61.9	34.7	31.5	73.9	47.5	73.4	868.6	36.2	5-mar	171
M0348	542.5	299.7	457.0	508.6	169.5	92.2	155.2	6.7	60.1	65.1	18.1	87.5	2462.2	105.5	16-mar	215
M0353	194.8	410.6	518.8	658.0	292.7	92.4	59.4	109.5	78.9		111.1	87.6				
M0354	135.2	224.5	122.7	331.3	92.7	49.2	73.4	56.0	73.2	81.7	39.6	102.2	1381.7	33.0	13-feb	251
M0357	104.9	301.0	148.0		57.4	30.0	96.5	68.8	143.9	77.3	80.8	162.0				
M0358	51.4	134.9	107.6	122.5	27.2	25.0	39.3	21.7	33.2	49.8	38.4	48.1	699.1	25.6	24-sep	140
M0359	75.7	101.7	198.4	182.2	89.3	60.0	94.9	40.0	73.5	100.3	123.9	119.5	1259.4	100.1	15-mar	162
M0361	109.9	200.3	135.6	326.0	49.4	24.4	72.6	22.0	101.0	41.1	15.3	64.1	1161.7	36.6	3-abr	148
M0362	326.6	284.1	223.1	495.1	133.9	68.4	111.8	12.0	77.0	87.1	23.4	127.0	1969.5			
M0363	130.3	177.8	94.1	246.9	19.7	35.8	56.4	27.9	14.4	53.7	17.3	131.4	1005.7	30.3	20-mar	141
M0364	221.5	246.0	165.3	290.7	63.6		70.7	63.3	55.4	163.6	175.7	214.7				
M0367	337.6	329.2	388.5	227.8	9.4		26.9	1.3	12.3	3.2	11.0	101.8				
M0368	615.3	872.7	372.4	840.9	48.7	108.1	99.6	4.2	23.1	36.7	18.8	256.3	3295.8	225.3	19-abr	244
M0369	63.2	190.6	58.0	141.1	28.2	20.5	29.5	10.5	42.2	35.9	106.6	109.4	835.7	37.5	2-dic	110
M0370	470.5	696.9	409.9	721.5	20.8	69.8	104.1	1.5	27.5	27.9	50.2	209.4	2810.0			
M0371	53.6	45.8	48.6	171.8	30.6	34.6	29.7	25.9	28.0	41.1	96.5	98.9	705.1	25.0	5-abr	179
M0374	428.7	510.2	427.7	795.3	91.9	91.7	63.7	3.2	18.5	35.2	10.3	111.8	2588.2	150.0	5-feb	182
M0375	85.2	76.5	41.2	13.2	3.6	21.9	22.8	2.2	14.0	4.8	64.5	13.9	363.8	25.0	26-mar	80
M0376	37.8	71.6	43.0	142.6	98.6	86.9	63.4	56.9		29.7	80.8	116.0				
M0377	44.2	105.5	62.6	141.3	68.7	70.1	58.0	47.7	44.7	12.0	48.6	53.0	756.4			
M0378	185.1	86.6	136.9	224.3	280.0	323.2	380.1	247.3	256.1	89.3	113.5	227.9	2550.3	69.4	24-sep	317
M0380	49.3	61.9	48.4	45.1	88.6	85.9	109.6	101.0	70.1	19.6	52.4	58.1	790.0	26.2	24-sep	153
M0383	311.4	46.6	23.2	33.8	2.5	5.3	4.9	2.0	16.5	7.1	11.3	92.9	557.5			
M0385	191.1	221.0	113.4	339.0	3.0	16.0	30.5	0.0	91.0	107.0	31.0	107.0	1250.0	27.0	5-abr	132
M0388	286.1	332.9	232.9	468.3	23.4	81.3	130.9	24.5	31.1	37.3	48.8	197.9	1895.4	77.9	13-jul	227
M0390						39.5	61.5	43.5	52.2	49.4	97.9	120.8				
M0391	159.9	248.5	70.4	254.5	21.9	38.0	28.5	5.0	3.2	7.2	25.1	94.5	956.7	38.2	23-feb	156
M0392	41.4	141.7	30.5	153.3	2.5	6.0	20.8	0.0	2.8	0.9	9.0	47.7	456.6	34.7	2-abr	97
M0393	33.8	47.6	45.9	230.2	25.6	29.9	14.0	10.7	52.7	30.5	84.8	96.1	703.8	30.2	24-sep	141
M0395	52.8	116.1	80.9	286.6	59.5	33.1	104.3	19.3	27.5	94.7	91.1	54.5	1020.4	54.2	26-abr	139
M0396	105.3	185.3	86.6	252.8	159.1	219.2	283.7	85.0	144.1	77.2	532.7	201.3	2332.3			
M0397	177.1	210.2	133.2	249.6	50.0	8.7	25.2	12.7	31.3	39.9	25.7	88.4	1052.0	38.0	7-feb	188
M0399	50.3	108.4	79.3	194.9	16.0	32.3	23.4	10.1	17.9	29.7	26.1	71.3	659.7			
M0402	183.1	231.3	48.8	210.3	14.2	31.7	12.7	13.5	21.0	16.2	26.9	121.5	931.2			
M0403	61.9	124.8	65.0	115.2	11.1	19.7	7.6	0.0	11.6	5.1	11.4	57.8	491.2	30.2	31-mar	105
M0404	127.2	218.8	125.9	318.6	83.3	37.3	66.5	15.4	36.6	43.1	11.0	93.2	1176.9	41.6	7-feb	192
M0405	40.1	104.6	47.0	132.6	13.7	19.1	11.5	0.0	4.5	4.8	20.4	50.4	448.7			
M0407	45.2	138.2	52.8	186.0	95.2	34.4	75.7	49.2	27.0	41.9	90.8	89.0	925.4	36.2	6-feb	192
M0408	42.1	83.1	41.3	131.3	33.7	14.1	7.9	6.7	33.6	41.7	96.1	59.7	591.3	32.7	7-feb	76
M0409	78.0	131.2	43.6	234.5	52.7	19.4	87.6	32.9	45.5	42.2	85.4	94.9	948.0			
M0410	69.5	79.3	51.3	164.0	201.7	133.1	240.1	119.5	114.0	46.4	116.5	153.4	1488.8	30.0	19-jul	170
M0411	45.0	125.2	80.5	132.7	78.8	102.5	72.8	44.5	59.8	33.7	54.9	72.3	903.7	41.3	20-mar	178
M0412	308.0	193.4	80.7	36.7	36.1	7.2		0.0	14.6	20.6	37.3	148.4				
M0414	53.7	62.4	49.9	174.9	80.7	76.2	111.5	67.6	87.7	34.3	95.6	62.3	956.8	12.8	3-dic	227
M0417	62.3	145.9	24.0	205.2	87.8						95.7	167.4				
M0418	22.2	52.5	80.5	104.7	48.7	53.9	38.8	62.7	86.1	35.0	49.9	79.0	714.0	12.6	20-dic	160
M0419	313.6	120.5	117.7	210.8	2.5	78.5	30.0	44.4	0.0	39.4	73.8	117.8	1149.0			
M0420	65.8	203.1	134.4	195.1	196.0	10.7	17.9	5.0	48.0	39.5	132.0	106.7	1006.2	60.8	19-mar	146

Figura 4. 1 Anuario meteorológico 2011

Fuente: (INAMHI, 2014).

De la tabla del manual de la NEVI-12 (MTOP, 2013) escogemos la tabla con un periodo de retorno de 100 años en la estación Saraguro M142 a la cual le corresponde un Id=4.

Se estima un periodo de retorno de 100 años para caminos vecinales como dice en la norma MOP-2003,pg 295. (MTOP, 2003).

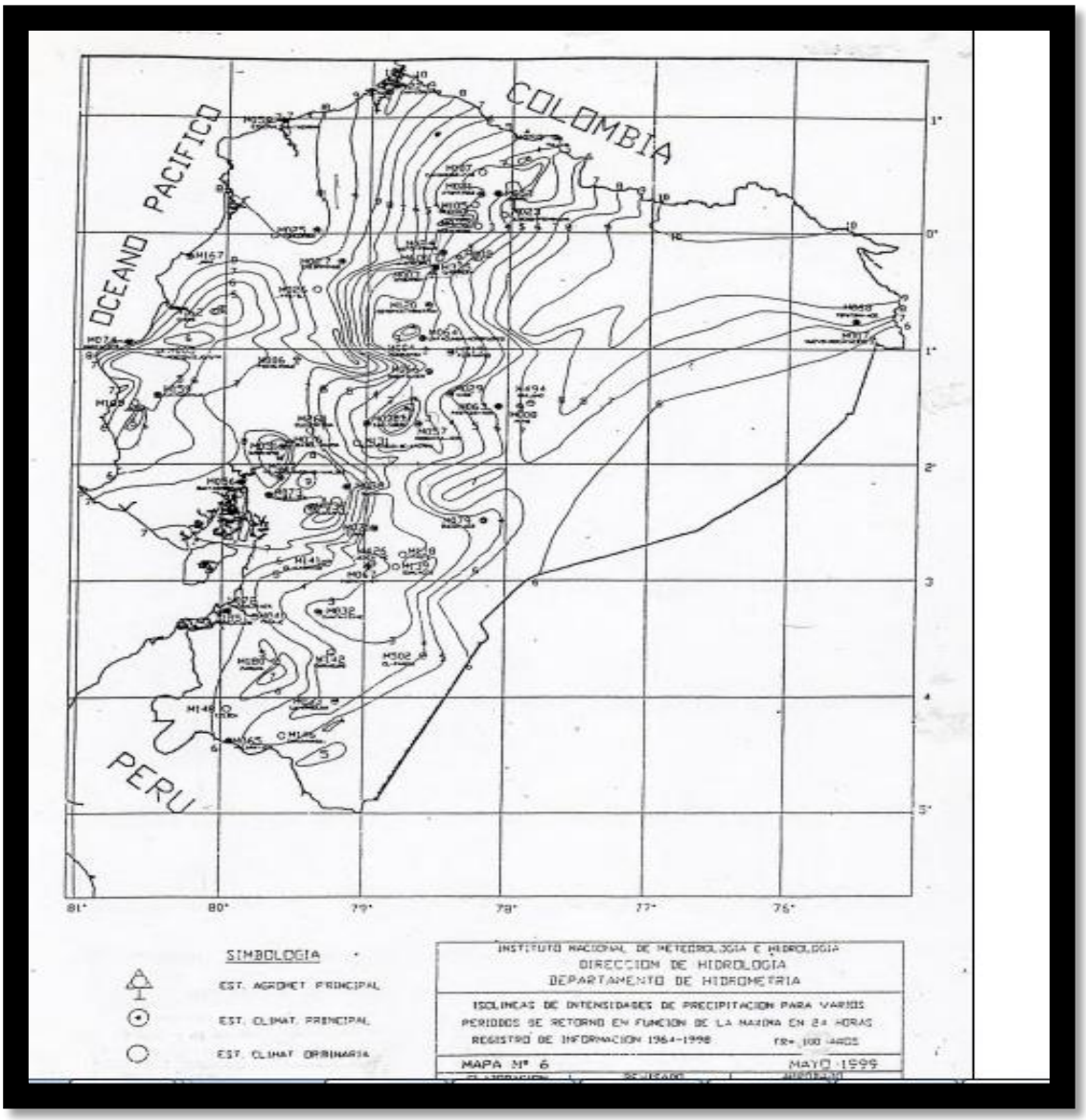


Figura 4. 2 Curvas de intensidad de lluvia

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

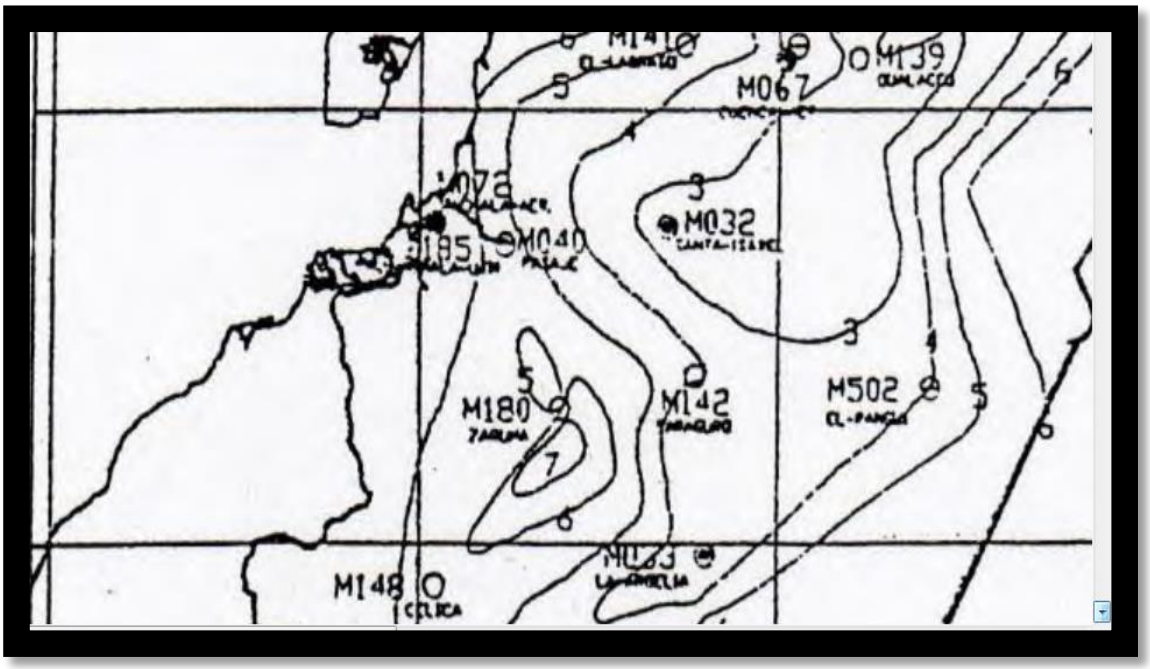


Figura 4. 3 Curvas de intensidad de lluvia Estación M142

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

Se escogió la estación M142 Saraguro con la cercanía a la zona donde está el proyecto y los datos estadísticos se tomaron de la intensidad M420 con una precipitación anual de 1005.2 mm datos extraídos del anuario meteorológico del INAMHI (INAMHI, 2014).

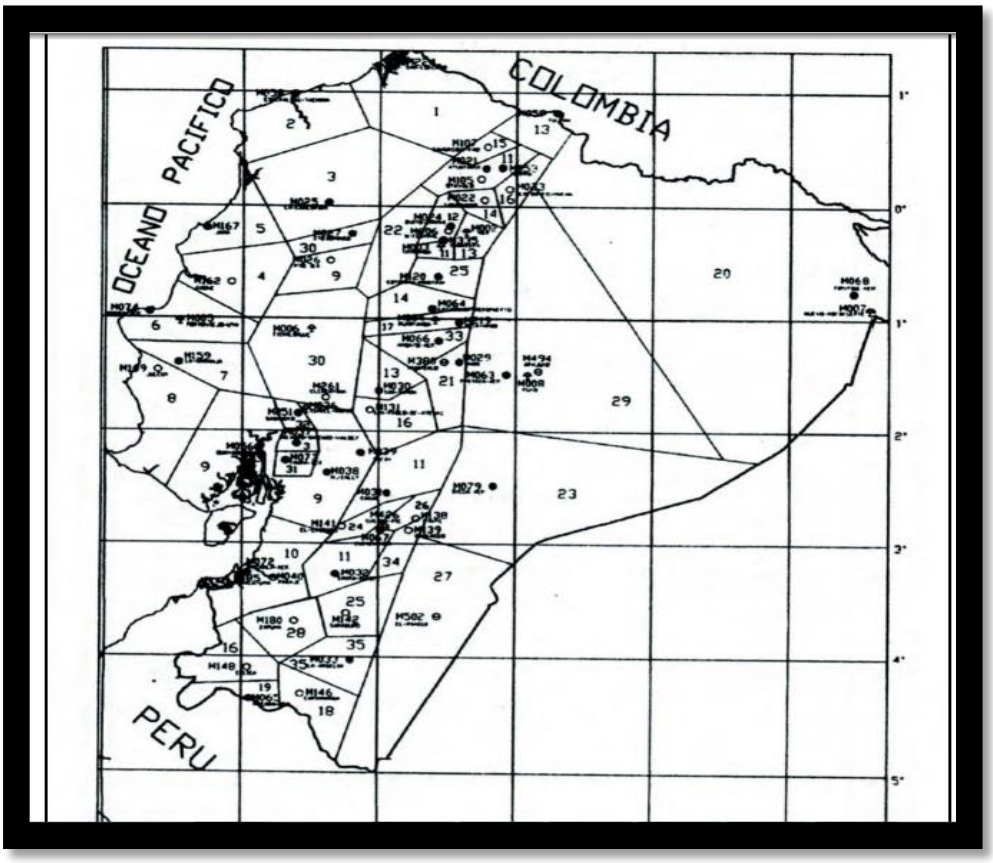


Figura 4. 4 Zonificación de intensidad de lluvias

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

Como nuestra estación meteorológica está en la zona 25, la duración de acuerdo a datos tomados de la población está entre 5 y 60 min por tanto empleamos la siguiente formula:

Ecuaciones para Zonas 19 a 35

ZONIFICACION DE INTENSIDADES

ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LAS ZONAS

ZONA	DURACION	ECUACION
19	5 min < 115 min	I_{TR} = 115.98 t ^ - 0.4844 Id_{TR}
	115 min < 1440 min	I_{TR} = 1223.8 t ^ - 0.9751 Id_{TR}
20	5 min < 40 min	I_{TR} = 53.316 t ^ - 0.3021 Id_{TR}
	40 min < 1440 min	I_{TR} = 308.38 t ^ - 0.7782 Id_{TR}
21	5 min < 23 min	I_{TR} = 28.784 t ^ - 0.4507 Id_{TR}
	23 min < 1440 min	I_{TR} = 30.993 t ^ - 0.472 Id_{TR}
22	5 min < 67 min	I_{TR} = 48.772 t ^ - 0.3533 Id_{TR}
	67 min < 1440 min	I_{TR} = 266.64 t ^ - 0.7687 Id_{TR}
23	5 min < 23 min	I_{TR} = 54.246 t ^ - 0.4596 Id_{TR}
	23 min < 1440 min	I_{TR} = 89.858 t ^ - 0.6234 Id_{TR}
24	5 min < 41 min	I_{TR} = 177.26 t ^ - 0.5938 Id_{TR}
	41 min < 1440 min	I_{TR} = 446.46 t ^ - 0.843 Id_{TR}
25	5 min < 60 min	I_{TR} = 97.389 t ^ - 0.6117 Id_{TR}
	60 min < 1440 min	I_{TR} = 125.73 t ^ - 0.6643 Id_{TR}
26	5 min < 120 min	I_{TR} = 163.15 t ^ - 0.5018 Id_{TR}
	120 min < 1440 min	I_{TR} = 2477.3 t ^ - 1.077 Id_{TR}
27	5 min < 46 min	I_{TR} = 76.133 t ^ - 0.3477 Id_{TR}
	46 min < 1440 min	I_{TR} = 539 t ^ - 0.8634 Id_{TR}

Figura 4. 5 Ecuaciones representativas de la zona

Fuente: (MTOP, 2013)**.**

$$I_{TR} = 97.389.\, t^{-0.6117} \qquad \text{(Ecuación45)}$$

I_{TR} = Intensidad de lluvia máxima con duracion t

t = duración de la lluvia en minutos

Id_{TR} = Intensidad diaria

$$Id_{TR} = Pd/24, mm/h \qquad \text{(Ecuación46)}$$

Pd = Precipitación diaria

Pd = Precipitación maxima en 24 horas, mm .

Del mapa de zonificación obtuvimos un valor de Id de 4 y para considerar el valor de t lo consideramos igual al tiempo de concentración que será el más crítico.

4.1.2 Caudal máximo para el diseño de estructuras de obra menor

4.1.2.1 Coeficiente de Escorrentía

Este coeficiente relaciona la cantidad de agua que se precipita y la que se escurre superficialmente dependiendo de factores como la permeabilidad del suelo, morfología de la cuenca, pendientes longitudinales y cobertura vegetal para este coeficiente también la normativa vial del MOP-2003 (MTOP, 2003) presenta las siguientes tablas.

Tabla 4. 1 Coeficiente de escorrentía

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA C						
COBERTURA VEGETAL		PENDIENTE DEL TERRENO				
	TIPO SUELO	PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPECIABLE
			50%	20%	5%	1%
SIN VEGETACION	IMPERMEABLE	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	SEMIPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	PERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
CULTIVOS	IMPERMEABLE	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	SEMIPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	PERMEABLE	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
PASTOS VEGETACION LIGERA	IMPERMEABLE	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	SEMIPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	PERMEABLE	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
HIERBA, GRAMA	IMPERMEABLE	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	SEMIPERMEABLE	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	PERMEABLE	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
BOSQUES DENSA VEGETACION	IMPERMEABLE	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	SEMIPERMEABLE	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	PERMEABLE	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: (MTOP, 2003)

4.1.2.2 Tiempo de concentración

Según la normativa vial MOP-2003 (MTOP, 2003), el tiempo de duración de duración de la lluvia se puede tomar igual al tiempo de concentración debido a la carencia de información, para determinar el tiempo de concentración se recomienda la fórmula de Rowe mostrada a continuación.

$$tc = 0.0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$ (Ecuación47).

Dónde:

tc= Tiempo de concentración en mm

L= Longitud del cauce principal, en m

H= El desnivel entre el extremo de la cuenca y el punto de descarga en m

4.1.2.3 Método empleado para la determinación del caudal

El método empleado para cuencas pequeñas de área menor a 400 Ha, es el Método Racional el mismo que relaciona datos de la precipitación pluvial, topografía, tipo de suelo y área de la cuenca, el mismo método es especificado por la normativa vial del MOP-2003 (MTOP, 2003).

$$Q = \frac{(c)(I)(A)}{360}$$ (Ecuación48).

Donde:

Q= Caudal máxima probable en m3/seg

I= Intensidad de la precipitación en mm/h, para una duración igual al tiempo de concentración

C= Coeficiente de escorrentía

A= Área de la cuenca en Ha

4.2 Alcantarillas

4.2.1 Sección y tipo de alcantarillas

El tipo de alcantarillas a usar serán las circulares de metal corrugado, evaluaremos este tipo debido a que en el presente proyecto existen alcantarillas de este tipo, además por su fácil montaje y el bajo costo que representan.

4.2.2 Carga permisible de entrada (HEP)

La carga permisible de entrada (HEP) se toma para condiciones de precaución tomando en cuenta que no tiene que sobrepasar la corona de la carretera según lo dispuesto por la normativa vial MOP-2003 (MTOP, 2003), en la cual establece ciertos criterios a tomar en cuenta para definir la altura de remanso (HEP), primero se debe dejar un borde libre mínimo de 1m medido desde la rasante vial, segundo no debe ser mayor a 1.2 veces la altura del ducto.

4.2.3 Velocidades máximas y mínimas en las alcantarillas

La velocidad mínima y máxima de las alcantarillas se puede tomar de acuerdo al material, como se muestra en la tabla IX-2 tomando de la norma vial MOP-2003 (MTOP, 2003).Por lo tanto tendríamos una mínima de 0.4 m/s para arenas finas y limos y 7.5 m/s para rocas sanas y hormigón. Para nuestro caso será de 0.5 m/s de acuerdo al material de nuestro terreno.

Tabla 4. 2 Velocidad máxima erosiva en cunetas

MATERIAL	VELOCIDAD (m/seg)
Arenas finas y limos	0,40-0,60
Arcilla arenosa	0,50-0,75
Arcilla	0,75-1,00
Arcilla firme	1,00-1,50
Grava limosa	1,00-1,50
Grava fina	1,50-2,00
Pizarras suaves	1,50-2,00
Grava gruesa	2,00-3,50
Zampeados	3,00-4,50
Rocas sanas y hormigón	4,50-7,50

Fuente: (MTOP, 2003).

4.2.4 Diseño de alcantarilla circular

4.2.4.1 Coeficiente de rugosidad(n)

El coeficiente de rugosidad es un factor determinante de acuerdo al material que utilizamos para el cual tenemos la siguiente tabla, de la cual podemos obtener el coeficiente n.

Tabla 4. 3 Coeficiente de rugosidad

COEFICIENTE DE RUGOCIDAD "n"

DESCRIPCION	"n"
TUBOS DE HORMIGON	0.012
Tubos de metal corrugado o tubos en arco:	
a) Simple o revestido	0.024
b) Solera pavimentada	0.019
Tubo de arcilla vitrificada	0.012
Tubo de hierro fundido	0.013
Alcantarilla de ladrillo	0.015
Pavimento asfáltico	0.015
Pavimento de hormigón	0.014
Parterre de césped	0.05
Tierra	0.02
Grava	0.02
Roca	0.035
Areas cultivadas	0.03-0.05
Matorrales espesos	0.07-0.14
Bosques espesos-poca maleza	0.10-0.15
Cursos de agua	
a) Algo de hierba y maleza-poco o nada de matorrales	0.03-0.035
b) Maleza densa	0.035-0.05
c) Algo de maleza-matorrales espesos a los costados	0.05-0.07

Fuente: (MTOP, 2003).

Para el caso del diseño de alcantarillas circulares utilizaremos el método de Manning como se estipula en la norma vial MOP-2003 (MTOP, 2003), que relaciona tanto la pendiente y la rugosidad del material. De lo cual tenemos la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{A(R)^{2/3}(So)^{1/2}}{n} \qquad \text{(Ecuación49).}$$

Q= Caudal máximo probable

R= Radio Hidráulico en m

n= Coeficiente de rugosidad

So= Pendiente de la planicie en m/m.

Luego mediante el uso de la tabla de Thormann-Franke que relaciona el caudal a sección llena (Q),y el real Q” mediante Q”/Q, de esta manera ingresamos en la tabla con el diámetro impuesto (D) y podemos hallar la altura de tirante de agua (y), también con el uso de la misma metodología y la relación de la velocidad a sección llena(V) y el de la velocidad dentro de la alcantarilla (V”).

4.3 Drenaje subterráneo

El drenaje subterráneo es de vital importancia para contrarrestar el exceso de agua tanto en la plataforma y taludes de la carretera, a más la manual de la normativa vial NEVI-12- (MTOP, 2013), manifiesta que la colocación del drenaje subterráneo se lo debe hacer luego de una evaluación en la época invernal.

4.3.1 Sub-drenes

Los sub-drenes según recomendación de la norma vial NEVI-12-MTOP (MTOP, 2013), consisten en zanjas rectangulares rellenas con material granular permeable rodeado de un filtro de tela geotextil y en caso de que el caudal lo amerite se debe colocar una tubería en el fondo la cual puede ser perforada, ranurada o con juntas abiertas con un diámetro mínimo de 150mm ò 200mm, según se vea la necesidad.

Los sub-drenes son usados longitudinalmente a los pies de los taludes de corte para evitar infiltraciones hacia la vía, longitudinalmente en un terraplén, longitudinalmente bajo la sub-base de la carretera, transversalmente en las transiciones de corte a terraplén para sanear la sub-base, formando parte de un sistema de drenes transversales y longitudinales para sanear la faja del camino.

A continuación tenemos ciertas condiciones de diseño respecto a lo exige el manual NEVI-12-MTOP (MTOP, 2013).

4.3.1.1 Calculo de caudal en los sub-drenes

Para el cálculo del caudal se tomará una proporción entre el 60% y el 80% de la precipitación de diseño.

4.3.1.2 Profundidad y espaciamiento

Para la profundidad dependerá de la permeabilidad del suelo, profundidad del nivel freático, conductividad hidráulica para lo cual en siguiente tabla se estiman el espaciamiento necesario relacionando los aspectos antes mencionados.

Tabla 4. 4 Espaciamiento de Subdrenes

Recomendaciones para el espaciamiento de subdrenes

Tipo Suelo (USCS)	Composición del Suelo			Espaciamiento (m) para Profundidades indicadas (m)			
	% Arena	% Limo	% Arcilla	1,00	1,25	1,50	1,75
SP, SW	80-100	0-20	0-20	35-45	45-60	-	-
SM	50-80	0-50	0-20	15-30	30-45	-	-
ML	30-50	30-50	0-20	9-18	12-24	15-30	18-36
ML-MH, CL	20-50	20-50	20-30	6-12	8-15	9-18	12-24
SM-SC, SC	50-70	0-20	30-50	4-9	6-12	8-15	9-18
MH	0-20	50-70	30-50	3-8	4-9	6-12	8-15
CL-CH, CH	0-50	0-50	30-100	máx.4	máx.6	máx.8	máx.12

Fuente: (MTOP, 2013).

4.3.1.3 Materiales y recomendaciones

Los materiales necesarios son el material granular permeable, filtros de geotextil, geocompuestos, arena limpia o material arcilloso, tuberías de plástico rígido o corrugado, tuberías metálicas o corrugadas, tubería de hormigón comprimida, debiendo ser perforadas, ranuradas y porosas.

En el caso de las tuberías serán de diámetro de 150mm para longitudes menores o iguales a 150m, el diámetro mínimo de 200 mm para longitudes mayores a 150m, y en el cual se tenga sub-drenes tanto a nivel longitudinal o transversal (espina de pescado) el diámetro mínimo será de 50mm.

Los sub-drenes trabajan a presión por lo tanto, las entregas no deberán ser mayores que 300m y la gradiente recomendada para la tubería es de 0.005con ciertas objeciones como para sub-drenes laterales y 0,0025 para los colectores.

4.4 Cunetas

4.4.1 Diseño de cunetas

4.4.1.1 Cunetas laterales

Las cunetas laterales en nuestro caso consideraremos de flujo uniforme para las mismas, la norma NEVI-12-MTOP (MTOP, 2013) establece las siguientes condiciones y formulación que se debe usar.

Las condiciones contemplan que tanto la profundidad, gasto y velocidad son constantes en cada sección del canal, otro aspecto es que las líneas de energía, eje hidráulico y de fondo son iguales.

Se utilizará la ecuación de Manning para su dimensionamiento.

$$V = \frac{1}{n} . R^{\frac{2}{3}} . i^{1/2} \qquad \text{(Ecuación50)}$$

$$Q = V . A \qquad \text{(Ecuación51)}$$

Donde:

Q= gasto en m3/s

V= Velocidad media en m/s

i= Gradiente de fondo, m/m

n= Coeficiente de rugosidad, adimensional

A= Área de sección de escurrimiento, m2

R= Radio hidráulico, m.

Para elegir el valor del coeficiente rugosidad tenemos las siguientes tablas en las cuales podemos basarnos.

Tabla 4. 5 Valores del coeficiente de rugosidad o de Manning

Valores del coeficiente de rugosidad o de Manning en canales

	TIPO DE CANAL	MINIMO	MEDIO	MAXIMO
CONDUCTOS CON ESCURRIMIENTO DE SUPERFICIE LIBRE				
Metálicos				
a) Bronce, liso		0,009	0,010	0,013
b) Acero	Soldado de tope	0,010	0,012	0,014
	Remachado	0,013	0,016	0,017
c) Fierro Fundido	Con protección interior	0,010	0,013	0,014
	Sin pintar	0,011	0,014	0,016
d) Fierro Forjado	Negro	0,012	0,014	0,015
	Galvanizado	0,013	0,016	0,017
e) Metal Corrugado	Tubos de drenaje	0,017	0,019	0,021
	Alcantarillas de aguas lluvias	0,021	0,024	0,030
No Metálicos				
a) Lucita		0,008	0,009	0,010
b) Vidrio		0,009	0,010	0,013
c) Cemento	Liso	0,010	0,011	0,013
	Mortero	0,011	0,013	0,015
d) Hormigón	Alcantarilla, recta y libre de obstrucciones	0,010	0,011	0,013
	Alcantarilla con curvas, conecciones y parcialmente obstruida	0,011	0,013	0,014
	Afinado	0,011	0,012	0,014
	Tubo de alcantarillado con cámaras, entradas, etc., recto	0,013	0,015	0,017
	Sin afinar, con moldaje de acero	0,012	0,013	0,014
	Idem, con moldaje de madera cepillada	0,012	0,014	0,016
	Idem, madera en bruto	0,013	0,017	0,020
e) Madera	Con duelas	0,010	0,012	0,014
	Terciada con tratamiento	0,015	0,017	0,020
f) Arcilla	Tuberías comunes	0,011	0,013	0,017
	Tubo de alcantarillado vitrificado	0,011	0,014	0,017
	Tubo con cámaras, entradas, etc.	0,013	0,015	0,017
	Tubo de drenaje vitrificado con juntas de tope	0,014	0,016	0,018
g) Albañilería de Ladrillo	Terminación barnizada o de apariencia vidriada	0,011	0,013	0,015
	Estucada	0,012	0,015	0,017
h) Alcantarillados sanitarios con aguas servidas y fango, con curvas y conexiones		0,012	0,013	0,016
i) Alcantarilla con clave estucada y fondo liso		0,016	0,019	0,020
j) Albañilería de piedra cementada		0,018	0,025	0,030
CANALES REVESTIDOS O ARTIFICIALES				
a) Metal	Superficie lisa de acero sin pintar	0,011	0,012	0,014
	Superficie lisa de acero pintada	0,012	0,013	0,017
	Superficie lisa de acero corrugado	0,021	0,025	0,030
b) Cemento	Superficie lisa	0,010	0,011	0,013
	Mortero	0,011	0,013	0,015
c) Madera	Cepillada sin tratamiento	0,010	0,012	0,014
	Cepillada con tratamiento (impermeabilizada)	0,011	0,012	0,015
	Sin cepillar (en bruto)	0,011	0,013	0,015
	EnTablado con listones	0,012	0,015	0,018
	Revestido con papel alquitranado	0,010	0,014	0,017

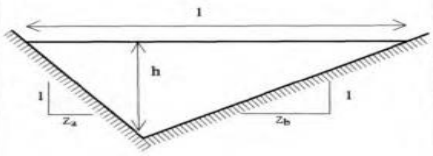
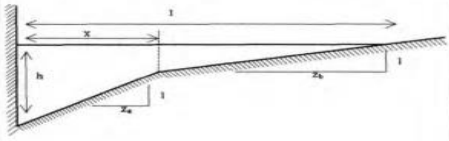
(continuación)

d) Hormigón	Platachado	0,011	0,013	0,015
	Alisado con regla	0,013	0,015	0,016
	Alisado con ripio a la vista en el fondo	0,015	0,017	0,020
	Sin alisar	0,014	0,017	0,020
	Gunita (hormigón proyectado), sección regular	0,016	0,019	0,023
	Idem, sección ondulada	0,018	0,022	0,025
	Garita sobre una roca bien excavada	0,017	0,020	
	Garita sobre una roca excavada en forma irregular	0,022	0,027	
e) Fondo de hormigón alisado con lados de:	Piedra acomodada en mortero	0,015	0,017	0,020
	Piedra distribuida al azar en mortero	0,017	0,020	0,024
	Albañilería de piedra en bruto unida con cemento, enlucida	0,016	0,020	0,024
	Albañilería de piedra en bruto unida con cemento	0,020	0,025	0,030
	Empedrado o enrocado (rip rap)	0,020	0,030	0,035
f) Fondo de grava con lados de:	Hormigón (con moldaje)	0,017	0,020	0,025
	Piedra distribuida al azar en mortero	0,020	0,023	0,026
	Empedrado o rip rap	0,023	0,033	0,036
g) Ladrillo	Terminación tipo barnizada o vidriada	0,011	0,013	0,015
	En mortero de cemento	0,012	0,015	0,018
h) Albañilería	Empedrado cementado	0,017	0,025	0,030
	Empedrado libre	0,023	0,032	0,035
	Piedra conteada	0,013	0,015	0,017
i) Asfalto	Liso	0,013	0,013	
	Rugoso	0,016	0,016	
j) Cubierto con Vegetación		0,030		0,500
CANALES EXCAVADOS Y UNIFORMES				
a) Tierra, Rectos y Uniformes	Limpio, recién terminado	0,016	0,018	0,020
	Limpio en uso	0,018	0,022	0,025
	Con grava, sección uniforme, limpio	0,022	0,025	0,030
	Con pasto corto, poca maleza	0,022	0,027	0,033
b) Tierra, con curvas y sin mantención	Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
	Con pasto y algo de maleza	0,025	0,030	0,033
	Gran cantidad de maleza o algas en canales profundos	0,030	0,035	0,040
	Fondo de tierra y lados de piedra en bruto	0,028	0,030	0,035
	Fondo de piedra y lados con maleza	0,025	0,035	0,040
	Fondo de guijarros y lados limpios	0,030	0,040	0,050
c) Excavado mecánicamente o dragrado	Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
	Lados con algo de vegetación y matorrales	0,035	0,050	0,060
d) Excavado en Roca	Liso y uniforme	0,025	0,035	0,040
	Irregular, dentado	0,035	0,040	0,050
e) Canales sin mantención, malezas y matorrales sin cortar	Malezas densas de altura comparable con la profundidad del escurrimiento	0,050	0,080	0,120
	Fondo limpio, con matorrales en los lados	0,040	0,050	0,080
	Idem, a niveles máximos de escurrimiento	0,045	0,070	0,110
	Matorrales densos a niveles altos de escurrimiento	0,080	0,100	0,140

Fuente: (MTOP, 2013).

La gradiente longitudinal para cunetas revestidas será de 0.12% y de 0.25% para las que estén sin revestir.La capacidad hidráulica de una cuneta triangular y las velocidades máximas admisibles se expresan en las imágenes adjuntas.

Tabla 4. 6 Características de cuneta triangular

	Tipo de Cuneta o Canal	
		
Ancho Superficial (l)	$(z_a + z_b)\cdot h$	$x + z_b \cdot \left(h - \frac{x}{z_a}\right)$
Area (π)	$\frac{(z_a + z_b)\cdot h^2}{2}$	$x\cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2\cdot z_a}\cdot\left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2\cdot z_b \cdot h}{x} - 1\right)$
Perímetro Mojado (P)	$\left(\sqrt{1+z_a^2} + \sqrt{1+z_b^2}\right)\cdot h$	$h + \sqrt{x^2\cdot\left(1+\frac{1}{z_a^2}\right)} + \sqrt{z_b^2+1}\cdot\left(h - \frac{x}{z_a}\right)$
Radio Hidráulico (R)	$\frac{(z_a + z_b)\cdot h}{2\cdot\left(\sqrt{1+z_a^2} + \sqrt{1+z_b^2}\right)}$	$\frac{x\cdot h + \frac{z_b\cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2\cdot z_a}\cdot\left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2\cdot z_b\cdot h}{x} - 1\right)}{h + \sqrt{x^2\cdot\left(1+\frac{1}{z_a^2}\right)} + \sqrt{z_b^2+1}\cdot\left(h - \frac{x}{z_a}\right)}$

Fuente: (MTOP, 2013).

Tabla 4. 7 Velocidad máxima admisible en canales y cunetas

Velocidades máximas admisibles en canales y cunetas revestidas

Tipo de revestimiento	Velocidad máxima admisible, m/s
Mezclas asfálticas en sitio y tratamientos superficiales	3,00
Mampostería de piedra	4,50
Hormigón asfáltico o de cemento portland	4,50

Fuente: (MTOP, 2013).

Para nuestro caso la velocidad será de 4.5 m/s.

4.5 Estudio hidrológico e hidráulico del proyecto

Para comenzar el estudio hidrológico recopilamos información de las precipitaciones máximas en 24 horas de los últimos 20 años obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología(INAMHI), y para este caso escogimos la estación Saraguro (M142) por la proximidad a la localidad y por la falta de información histórica en sectores aledaños.Los datos recolectados son los siguientes tomados del anuario meteorológico del INAMHI (INAMHI).

Tabla 4. 8 Anuario meteorologico 1991

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)		
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en	
	(Horas)	Máxima	dia	Minima	dia	Máxima	Minima	Mensual	Máxima	dia	Minima	dia	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24hrs	dia
ENERO				7,2	4		10,7	14,8								32,0	6,5	17
FEBRERO				8,4	10		10,5	15,2								60,2	18,5	24
MARZO				7,1	30		9,8	14,8								124,6	20,0	26
ABRIL				5,8	6		10,0	14,5	99	17	62	17	84	11,5	13,8	28,6	4,6	23
MAYO		24,0	23	9,0	20	21,5	11,1	15,3	98	4	58	24	84	12,6	14,8	48,1	9,3	1
JUNIO		24,2	2	8,0	11	20,7	10,3	14,7	99	26	48	2	91	13,2	15,5	28,9	9,2	29
JULIO		21,6	13	8,0	17	19,5	9,5	13,9								16,6	3,5	9
AGOSTO		21,1	5	7,1	5	17,5	8,8	12,5								28,4	8,0	11
SEPTIEMBRE				7,2	1		9,2	13,8								18,2	8,5	27
OCTUBRE				7,0	6		9,6	14,7	99	18	79	8	96	14,0	16,2	51,1	18,5	1
NOVIEMBRE				6,1	25		9,3	14,9								86,9	18,4	3
DICIEMBRE				7,1	18		8,9	15,2								94,0	24,0	29
VALOR ANUAL				5,8			9,8	14,5								617,6	24,0	

Fuente: (INAMHI)**.**

Tabla 4. 9 Anuario meteorologico 1992

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		de días con
	(Horas)	Máxima	dia	Minima	dia	Máxima	Minima	Mensual	Máxima	dia	Minima	dia	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24hrs	dia	precipitación
ENERO				8,0	28		9,4	15,3	100	6	83	8	97	14,7	17,2	38,1	11,0	27	10
FEBRERO				8,0	19		9,1	15,1	100	6	87	25	97	14,6	17,1	101,7	19,8	10	16
MARZO				7,9	25		9,4	15,0	99	29	88	15	97	14,5	16,9	77,8	11,5	24	16
ABRIL				7,9	3		8,8	14,3	100	21	89	25	97	13,9	16,2	67,5	9,9	22	21
MAYO				8,0	12		8,9	14,3	100	31	84	22	98	13,9	16,3	72,1	18,8	30	12
JUNIO				7,5	11		8,6	13,9	100	6	92	17	98	13,5	15,8	54,0	10,5	1	14
*JULIO																			
AGOSTO				8,0	17		8,6	12,7	100	6	94	26	98	12,4	14,6	31,4	4,3	9	20
SEPTIEMBRE				6,4	14		8,0	13,4	99	21	93	19	98	13,0	15,3	70,7	11,2	14	19
OCTUBRE				6,5	24		8,3	14,8	99	2	94	21	98	14,5	16,9	20,7	3,4	24	13
NOVIEMBRE		22,7	24	5,2	10	18,9	7,2	13,3	100	11	95	25	98	13,0	15,4	44,2	8,0	18	15
DICIEMBRE		22,5	13	6,4	5	19,8	8,2	14,2	99	9	88	14	98	13,9	16,2	43,4	12,8	9	19
VALOR ANUAL																			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 10 Anuario meteorologico 1993

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	dia	Mínima	dia	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	dia	Mínima	dia	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	dia	Número de días con precipitación
ENERO		21,8	29	5,2	25	18,2	7,3	13,2	99	8	79	26	97	12,7	15,0	76,5	13,1	13	19
FEBRERO		21,5	16	5,4	2	18,1	6,9	13,1	99	1	94	22	98	12,7	15,1	179,1	18,0	25	23
MARZO		22,2	28	4,9	17	17,0	6,5	12,5	99	18	93	9	98	12,2	14,5	404,0	34,7	12	29
ABRIL		24,6	15	5,5	1	21,3	7,3	14,7	99	7	87	7	98	14,3	16,9	139,2	28,9	2	19
MAYO		25,2	3	5,3	22	20,9	6,9	14,9	99	1	91	14	98	14,5	17,0	20,6	6,3	12	9
JUNIO		23,1	15	5,2	21	20,1	6,6	14,6	99	5	93	28	98	14,3	16,6	21,2	6,8	20	16
JULIO		20,6	10	5,3	25	17,8	6,7	13,2	100	6	95	25	98	12,8	15,1	26,3	8,4	11	15
AGOSTO		22,2	30	5,5	15	19,4	6,9	13,5	100	5	96	2	98	13,2	15,6	13,4	3,2	16	14
SEPTIEMBRE		24,1	22	4,0	3	20,3	7,8	13,9	99	11	90	22	98	13,5	15,9	35,5			
OCTUBRE		24,2	23	6,2	19	21,0	9,2	15,1	99	4	77	7	96	14,5	16,9	65,5	14,2	17	26
NOVIEMBRE		25,4	5	6,2	29	21,6	8,5	15,3	100	4	83	23	96	14,7	17,2	66,4	19,4	14	15
DICIEMBRE		25,3	1	4,5	1	21,5	7,7	14,9	98	8	72	31	94	14,0	16,5	156,3	26,8	14	21
VALOR ANUAL		25,4		4,0		19,8	7,4	14,1	100		72		97	13,6	16,0	1204,0			

Fuente:(INAMHI).

Tabla 4. 11 Anuario meteorologico 1994

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	dia	Mínima	dia	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	dia	Mínima	dia	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	dia	Número de días con precipitación
ENERO		23,1	20	6,2	7	20,9	8,0	14,5	96	15	46	2	77	10,3	12,9	131,9	18,0	10	26
FEBRERO		24,6	11	6,4	2	21,4	9,2	15,3	98	28	53	21	84	12,5	14,8	85,1	16,8	1	18
MARZO		23,6	21	6,9	17	21,9	9,2	15,5	96	14	59	7	79	11,9	14,2	173,5	24,5	3	21
ABRIL		23,5	16	7,5	23	21,0	9,0	15,0	97	6	64	21	82	12,0	14,3	141,0	24,2	18	21
MAYO		25,6	28	7,2	3	21,5	8,8	15,4	95	14	58	30	80	11,9	14,3	30,8	7,9	6	18
JUNIO		23,4	5	6,2	12	20,8	8,1	14,9	90	5	65	9	75	10,5	13,0	56,5	8,3	9	20
JULIO		22,9	22	5,0	12	18,9	7,1	13,0	90	8	60	25	72	8,1	11,1	22,5	4,3	2	12
AGOSTO		22,9	10	4,1	26	17,5	6,7	11,9	90	27	53	8	72	6,9	10,3	81,5	14,2	19	26
SEPTIEMBRE		23,4	29	3,9	5	19,2	6,8	12,9	92	28	55	21	75	8,6	11,5	55,1	8,3	19	20
OCTUBRE		27,5	27	5,2	20	22,8	8,5									43,2	11,6	7	18
NOVIEMBRE		24,5	16	5,2	21	21,5	8,2									66,0	11,5	5	18
DICIEMBRE		25,4	3	6,5	14	21,6	9,7	15,9	91	11	69	16	83	12,9	15,2	78,6	17,6	7	19
VALOR ANUAL		27,5		3,9		20,8	8,3									965,7	24,5		237

Fuente:(INAMHI).

Tabla 4. 12 Anuario meteorologico 1995

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hrs	día	
ENERO		24.3	13	5.5	10	22.0	9.0	15.9	94	10	53	28	82	12.8	15.0	13.7	7.7	8	7
FEBRERO		24.7	8	5.2	10	21.8	8.4	15.8	92	6	54	16	80	12.2	14.4	77.0	17.8	21	17
MARZO		24.5	14	6.2	6	22.4	8.2	16.0	93	5	62	9	81	12.5	14.8	94.3	18.8	20	17
ABRIL		24.5	19	6.5	1	22.2	8.9	16.2	92	3	48	16	80	12.8	15.0	118.5	19.6	12	15
MAYO		24.0	23	2.5	27	21.7	7.8	15.8	99	31	64	29	82	12.6	14.8	44.0	18.9	8	18
JUNIO		27.5	17			20.8										20.0	5.5	3	8
JULIO		24.5	25			21.0										45.2	11.6	21	19
AGOSTO		24.7	10	3.0	18	21.4	6.5	14.7	96	5	37	9	74	9.8	12.2	8.2	2.7	1	11
SEPTIEMBRE		25.0	28	4.8	8	20.8	7.5	14.7	98	11	39	18	72	9.4	11.9	23.9	9.1	12	17
OCTUBRE		27.0	8	2.0	19	23.2	7.2	15.1	98	10	33	7	72	9.7	12.2	36.3	10.7	30	13
NOVIEMBRE		25.5	2	2.5	24	22.3	8.9	15.4	99	9	44	18	76	10.9	13.1	147.7	38.2	12	19
DICIEMBRE		25.5	2	1.0	12	21.6	7.6	14.7	98	16	44	2	75	10.1	12.6	108.4	16.4	22	20
VALOR ANUAL		27.5				21.8										737.2	38.2		181

Fuente: (INAMHI)**.**

Tabla 4. 13 Anuario meteorologico 1996

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24hrs	día	
ENERO						20.8	9.9	14.4					79	10.6	12.9	75.2	23.8	2	21
FEBRERO		24.5	22			20.3	10.8	14.8					83	11.8	13.9	98.7	18.4	23	23
MARZO						21.4	10.5	15.2	100	1	54	31	80	11.6	13.8	100.6	22.4	10	23
ABRIL						21.4	10.7	15.0	98	26	45	4	78	11.1	13.4	66.9	21.3	17	20
MAYO						20.8	9.7	14.3					79	10.5	12.9	48.6	15.8	15	21
JUNIO						19.8	10.0	13.6	95	6	46	7	79	9.9	12.4	63.1	30.9	26	10
JULIO						18.6	7.0	12.6					87	10.5	13.1	51.8	9.9	29	17
AGOSTO						20.6	9.7	14.9					80	11.3	13.8	14.9	2.7	6	15
SEPTIEMBRE						20.3	9.8	14.3					69	8.4	11.0	29.7	10.4	16	13
OCTUBRE		25.0	18	2.4	13	22.3	9.3	14.7	98	7	32	6	75	9.8	12.2	99.6	25.6	15	18
NOVIEMBRE						23.1	7.3	14.3					71	8.6	11.4	29.4	6.2	29	7
DICIEMBRE						21.5	10.3	14.9					78	10.7	12.9	47.0	9.0	16	18
VALOR ANUAL						20.9	9.5	14.4					78.1	10.4	12.8	725.5	30.9		

Fuente:(INAMHI)**.**

Tabla 4. 14 Anuario meteorologico 1997

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24hrs	día	
ENERO						21.1	8.8	14.5	99	3	44	7	82	11.2	13.4	143.2	23.1	21	28
FEBRERO						20.1	10.9	14.3					84	11.5	13.6	109.5	25.6	16	17
MARZO						21.2	10.2	14.4	99	18	40	28	82	11.1	13.3	107.7	24.2	18	20
ABRIL		24.5	1			21.2	10.3	14.6					82	11.3	13.5	60.3	14.6	28	13
MAYO						20.6	10.3	14.2					80	10.6	12.8	56.8	23.8	4	18
JUNIO						22.4	8.9	14.7	98	25	37	6	74	9.4	11.9	20.0	7.5	24	8
JULIO							9.8	14.4					68	8.0	10.8	31.0	9.6	6	15
AGOSTO		26.0	3			18.9	9.6	14.1	98	26	30	11	73	9.0	11.5	31.1	7.9	27	16
SEPTIEMBRE		26.5	21			21.8	9.5	14.4	98	29	39	19	74	9.5	11.9	36.6	14.4	23	13
OCTUBRE		27.5	12			23.1	10.2	15.3	98	28	35	17	75	10.4	12.6	50.1	12.6	27	14
NOVIEMBRE		24.2	21			21.7	10.4	14.7	99	20	51	13	83	11.6	13.7	90.0	15.1	19	22
DICIEMBRE		24.5	12			22.2	11.5	15.6	98	17	51	11	79	11.6	13.7	82.0	16.2	13	17
VALOR ANUAL							10.0	14.6					78	10.4	12.7	818.3	25.6		

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 15 Anuario meteorologico 1998

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24hrs	día	
ENERO						21.5	11.4									39.1	16.0	7	19
FEBRERO						23.1		15.8					83	12.5	14.6	67.0	23.5	19	15
MARZO		24.5	10			22.6		15.6					82	12.3	14.4	187.1	63.5	11	18
ABRIL						23.0		15.9					82	12.5	14.5	79.4	19.8	18	23
MAYO						21.3	11.3	15.4					80	11.6	13.8	89.3	26.6	26	19
JUNIO						20.3	10.2	14.6					75	9.9	12.3	10.0			
JULIO							10.0	14.8					73	9.9	12.3	30.5			
AGOSTO				6.0	14	21.3	9.7	15.0	100	22	37	14	70	9.1	11.6	28.6	5.5	19	18
SEPTIEMBRE				4.5	1	22.4	8.6	14.5					72	8.8	11.5	29.9	5.7	19	14
OCTUBRE		27.5	18	7.6	12	22.1	10.3	14.9					75	9.9	12.3	84.7	22.6	24	16
NOVIEMBRE				4.6	29	23.1	10.5	15.5					77	11.1	13.3	45.9	16.0	13	16
DICIEMBRE		26.8	8	1.5	3	23.3	8.3	14.9	96	13	30	9	68	8.3	11.4	42.5	17.0	12	10
VALOR ANUAL																734.0			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 16 Anuario meteorologico 1999

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hrs	día	
ENERO						21.8	10.4	14.7	98	26	36	3	80	10.9	13.1	129.0	19.4	7	23
FEBRERO		23.0	3	9.0	3	20.1	11.4	14.7	98	23	45	1	85	12.0	14.1	254.0	51.2	16	24
MARZO						21.0	10.8	15.1					81	11.6	13.7	157.5	20.0	16	27
ABRIL		21.5	30	8.5	25	19.6	11.1	15.2	94	27	54	30	75	10.7	12.9	62.4	22.2	27	23
MAYO				7.0	10	20.1	10.3	14.7	95	8	41	7	78	10.6	12.9	112.8	19.9	11	23
JUNIO				7.4	29	21.0	9.8	15.4					74	10.3	12.6	66.7	7.3	26	20
JULIO				3.0	11	18.4	9.3	14.1	94	29	44	11	72	8.9	11.5	42.4	10.0	28	17
AGOSTO																			
SEPTIEMBRE				6.6	8	21.1	9.3	14.7	97	12	37	6	72	9.1	11.7	63.2	17.0	27	17
OCTUBRE		25.0	25	5.0	18	20.7	9.2	14.8	98	26	40	17	70	9.0	11.6	35.6	12.7	26	11
NOVIEMBRE				6.7	27	23.2	9.5	15.5	97	22	40	16	71	9.8	12.2	24.8	6.3	17	12
DICIEMBRE		23.5	30	8.0	12	20.0	10.8	14.3	98	17	56	12	84	11.6	13.7	179.7	22.0	18	27
VALOR ANUAL																			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4.17 Anuario meteorologico 2000

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hrs	día	
ENERO		25.0	9	5.5	7	20.6	10.0	14.5					80	10.7	12.9	79.7	21.0	26	20
FEBRERO		24.0	9	8.0	4	20.5	10.3	14.5	98	27	50	8	81	11.1	13.3	126.4	22.2	17	22
MARZO		23.2	31	7.6	23	20.3	11.0	14.7	99	5	42	27	83	11.4	13.6	146.2	17.6	14	25
ABRIL				8.2	1	21.0	10.9	15.1					77	10.9	13.1	85.7	35.1	18	22
MAYO		26.0	15	8.0	16	21.0	10.7	15.0	96	2	48	16	78	10.9	13.1	60.1	11.1	10	22
JUNIO		23.5	15	6.2	25	20.5	10.0	14.9	96	17	47	24	74	10.1	12.4	59.5	14.5	16	16
JULIO		25.0	21	5.0	20	20.0	9.4	14.2					72	8.9	11.4	11.3	3.8	3	13
AGOSTO																			
SEPTIEMBRE																			
OCTUBRE																			
NOVIEMBRE																			
DICIEMBRE																			
VALOR ANUAL																			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 18 Anuario meteorologico 2001

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (kPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	día	Número de días con precipitación
ENERO																			
FEBRERO						20.7	10.7	14.9					77	10.7	12.9	82.8			
MARZO		24.0	6	7.0	8	21.7	9.9	15.1	98	16	40	25	76	10.6	12.9	122.1	21.0	15	19
ABRIL		24.5	20	7.1	25	20.6	10.3	15.1	95	1	48	20	74	10.3	12.6	43.2	10.1	16	20
MAYO						21.4	9.9	15.2					75	10.6	12.9	61.7	10.6	20	17
JUNIO				5.8	24	19.0	9.6	14.4	94	6	45	24	72	9.2	11.7	53.2	14.4	10	17
JULIO						19.7	9.9	14.5					72	9.4	11.8	16.7			
AGOSTO		26.0	23	2.5	24	18.3	8.6	13.5					70	7.8	10.7	26.6	12.8	8	13
SEPTIEMBRE				4.6	5	21.2	8.3	14.9					68	8.5	11.2	23.6	10.4	11	10
OCTUBRE				6.8	11	23.2	9.8	15.7	98	17	42	15	70	9.8	12.2	29.8	11.7	21	10
NOVIEMBRE						23.1	9.0	15.2					70	9.1	11.8	79.2			
DICIEMBRE						22.7	10.1	15.6					75	10.9	13.2	66.8	23.4	29	18
VALOR ANUAL																			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 19 Anuario meteorologico 2002

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (kPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	día	Número de días con precipitación
ENERO		25.0	13			22.3	10.3	15.6	99	2	42	13	75	10.7	13.0	21.6	7.7	2	14
FEBRERO				6.0	9	22.4	10.7	15.5					78	11.4	13.6	71.9	17.2	4	19
MARZO		24.5	16	8.4	11	22.2	10.9	15.9					77	11.5	13.6	68.4	17.0	5	13
ABRIL						21.8	10.7	15.5					78	11.4	13.6	95.9			
MAYO				5.5	31	21.3	10.8	15.4					77	11.0	13.2	83.4	36.0	21	21
JUNIO		23.0	5	7.2	18	19.2	10.2	14.3	98	5	51	6	73	9.2	11.7	54.5	11.5	10	16
JULIO				6.4	21	19.5	10.6	14.5	98	18	47	21	75	10.0	12.3	54.0	23.6	5	15
AGOSTO																			
SEPTIEMBRE				1.8	8	21.4	8.8	15.4					69	9.3	11.8	7.2	3.0	3	11
OCTUBRE						21.6	9.3									51.8			
NOVIEMBRE						21.5	10.4												
DICIEMBRE				9.2	12	21.5	11.4	15.9	98	22	53	11	82	12.7	14.8	116.9	25.5	7	20
VALOR ANUAL																			

Fuente:(INAMHI).

Tabla 4. 20 Anuario meteorologico 2003

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACIÓN (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hs	día	Número de días con precipitación
ENERO				6.5	23	21.0	10.0	15.4	97	16	50	26	79	11.6	13.9	26.4	11.4	31	16
FEBRERO		25.5	17			21.1	10.3	15.8					78	11.7	14.1	48.6	15.4	27	21
MARZO		25.5	28			21.1	9.9	15.6					78	11.5	13.8	119.5	16.5	15	17
ABRIL		25.5	19	7.3	17	21.1	11.4	15.8					83	12.8	14.9	97.4	27.0	8	22
MAYO		25.0	5	8.5	5	20.6	11.1	15.3					83	12.4	14.5	54.0	19.6	13	19
JUNIO		23.0	3			20.5	10.1	15.1	97	26	46	5	79	11.5	13.7	28.9	6.6	1	16
JULIO																			
AGOSTO		23.0	22			19.6	9.7	14.5	94	11	33	1	71	9.1	11.7	13.6	2.8	10	12
SEPTIEMBRE				6.0	15	21.1	9.1	14.9					70	9.2	11.7	46.8	18.1	26	10
OCTUBRE		26.5	7			22.3	10.5	15.8					73	10.6	12.9	43.8	11.3	8	12
NOVIEMBRE		25.5	9	3.6	2	22.9	9.4	15.6	96	17	29	1	71	9.9	12.4	65.3	22.9	28	13
DICIEMBRE				6.5	6	21.5	10.9	15.4	96	1	42	5	77	11.2	13.4	79.4	19.9	12	15
VALOR ANUAL																			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 21 Anuario meteorologico 2004

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACIÓN (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hs	día	Número de días con precipitación
ENERO				1.5	22	22.1	8.3	14.9					76	10.2	12.7	50.8			
FEBRERO		25.0	17			22.5	9.8	15.8					74	10.8	13.1	51.4	13.2	19	17
MARZO						21.2	11.5	16.1					74	11.2	13.4	55.8	12.0	26	23
ABRIL		25.0	17			21.9	10.6	15.8					75	11.1	13.3	103.9	18.0	12	19
MAYO						21.5	10.3	15.7					74	10.8	13.1	50.1			
JUNIO		20.5	26	3.0	16	18.5	8.3	14.3					76	10.0	12.3	58.2	13.8	3	22
JULIO						19.7	8.3	14.7					71	9.2	11.7	17.0			
AGOSTO						19.2	7.4	14.1					71	8.6	11.2	4.4			
SEPTIEMBRE				4.0	15	19.6	7.7	14.5					76	10.0	12.3	42.0	16.3	8	17
OCTUBRE						22.3	8.0	15.1					81	11.6	13.7	60.0			
NOVIEMBRE		25.6	16	2.6	15	23.1	6.6	15.6	98	3	53	23	80	11.8	14.0	95.5	27.6	29	19
DICIEMBRE						22.6	6.0	15.3					81	11.7	13.9	75.1			
VALOR ANUAL						21.2	8.6	15.2					75	10.6	12.9	664.2			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 22 Anuario meteorologico 2005

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hrs	día	
ENERO		28,0	25			22,3	7,0	15,3					79	11,3	13,5	48,0			
FEBRERO		24,0	23	7,2	23	21,2	9,6	15,7					83	12,5	14,5	104,0	13,4	7	22
MARZO		23,5	15	4,0	21	21,5	9,1	15,6					85	12,9	14,9	218,0	35,2	16	24
ABRIL				6,5	12	21,4	9,3	15,9					79	12,1	14,2	81,9	15,0	24	24
MAYO		25,0	18	0,5	24	21,9	7,7	15,2	97	8	35	21	76	10,7	13,0	36,7	7,4	5	16
JUNIO		26,5	26			20,6	8,5	15,2	98	23	25	26	74	10,4	12,7	28,4	7,6	28	19
JULIO						19,6	7,7	14,2					70	8,5	11,2	11,2	1,5	6	13
AGOSTO				3,5	22	20,2	7,8	14,5					72	9,2	11,7	6,8	1,6	1	10
SEPTIEMBRE		26,6	25	7,8	19	21,4	9,6	15,0					73	9,8	12,1	27,9	15,1	26	10
OCTUBRE						23,2	9,8	15,2					77	10,8	13,0	37,9	10,3	30	15
NOVIEMBRE						22,6	7,9	14,7					64	7,1	10,5	7,4			
DICIEMBRE		25,6	1			21,9	10,0	14,4	98	25	40	8	81	10,8	13,1	150,0			
VALOR ANUAL						21,5	8,7	15,1					76	10,5	12,9	758,2			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 23 Anuario meteorológico 2006

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hrs	día	
ENERO						20,9	11,6									65,0			
FEBRERO						21,4	11,4	15,7					85	13,0	15,1	99,2	24,8	2	15
MARZO				6,5	18	21,5	11,4	15,5	99	23	51	1	86	13,0	15,0	128,1	27,5	18	18
ABRIL		25,2	19	6,6	28	21,5	10,4	15,2	100	5	54	29	84	12,3	14,4	67,3	11,8	5	14
MAYO		24,2	20			21,0	9,7	14,8	98	12	42	19	74	9,9	12,3	10,4	3,9	1	8
JUNIO						20,4	9,8	14,5					77	10,2	12,5	63,8			
JULIO				5,0	6	19,2	9,9	14,4	99	9	43	28	71	9,1	11,6	13,7	5,3	2	12
AGOSTO		22,2	13	6,7	26	20,0	10,3	14,8	94	11	46	4	69	9,1	11,6	15,4	5,6	2	12
SEPTIEMBRE						21,1	9,5	15,1					70	9,3	11,8	11,0	5,2	18	7
OCTUBRE		27,0	28	1,0	19	23,3	9,4	15,2					72	9,6	12,2	45,1	18,2	12	10
NOVIEMBRE		26,0	5	7,0	3	22,6	10,0	15,1	100	19	38	8	79	11,0	13,2	123,6	27,8	10	19
DICIEMBRE		24,6	19	6,8	13	22,4	11,0	15,5	99	6	42	10	81	11,9	13,9	83,6	14,3	20	18
VALOR ANUAL						21,3	10,4									726,2			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 24 Anuario meteorológico 2007

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	día	Número de días con precipitación
ENERO		23.6	16	9.1	14	21.8	12.1	16.1	98	25	49	16	78	12.0	14.1	105.8	48.6	25	20
FEBRERO				7.2	22	21.3	10.7	15.1	99	16	42	21	81	11.7	13.8	42.0	13.1	13	16
MARZO				8.5	27	21.3	11.0	15.3					80	11.7	13.8	85.3	19.8	28	25
ABRIL		26.5	5	9.3	29	22.1	11.7	15.6	97	8	50	5	80	11.9	14.0	120.8	33.2	24	24
MAYO		24.0	6			21.2	11.2	15.1					81	11.6	13.7	44.6	14.4	17	17
JUNIO				8.2	29	18.6	11.0	14.1	98	19	57	1	77	10.1	12.4	39.4	9.8	10	22
JULIO		24.5	22	6.0	3	20.8	9.5	14.5	97	19	49	23	74	9.6	12.1	15.6	7.2	26	8
AGOSTO				5.5	2	19.8	9.5	14.1					72	8.7	11.3	48.2	17.9	11	18
SEPTIEMBRE		23.2	18			19.5	10.3	14.2	97	24	50	18	73	9.3	11.8	22.5	5.6	15	16
OCTUBRE						21.8	9.3	14.4	97	21	40	28	77	10.0	12.4	69.4	15.6	22	18
NOVIEMBRE						21.6	10.3	14.8					81	11.5	13.7	65.5			
DICIEMBRE		24.5	4	2.6	5	21.4	8.4	14.5	100	14	41	6	76	10.0	12.5	117.8	22.0	20	18
VALOR ANUAL						20.9	10.4	14.8					77	10.7	13.0	776.9			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 25 Anuario meteorológico 2008

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C) ABSOLUTAS Máxima	día	Mínima	día	MEDIAS Máxima	Mínima	Mensual	HUMEDAD RELATIVA (%) Máxima	día	Mínima	día	Media	PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION (mm) Suma Mensual	Máxima en 24 hrs	día	Número de días con precipitación
ENERO		23.0	1	4.1	18	20.5	8.1	14.8					75	10.2	12.8	58.2	18.5	25	20
FEBRERO				3.1	15	20.0	7.2	14.3					85	11.7	14.0	148.0	23.3	16	25
MARZO				2.5	21	21.4	6.4	15.0	100	10	53	13	84	12.1	14.2	155.5	26.8	30	25
ABRIL				4.0	14	21.1	7.2	14.8	99	7	55	5	86	12.3	14.3	115.3	18.6	7	23
MAYO		22.5	7	5.0	7	20.1	8.9	14.6	99	1	56	4	84	11.8	13.9	83.7	18.0	27	21
JUNIO						20.5	9.6	14.5					81	11.1	13.3	46.1			
JULIO		22.5	31	4.5	19	19.0	9.9	14.1	99	9	56	14	83	11.0	13.2	23.2	4.2	11	19
AGOSTO																			
SEPTIEMBRE																			
OCTUBRE																			
NOVIEMBRE		24.6	8	7.0	16	22.3	10.0	15.2	98	1	62	9	89	13.2	15.3	107.0	16.0	26	23
DICIEMBRE		24.5	19	7.0	21	22.2	10.4	15.3	100	31	71	27	92	13.9	16.1	62.6	12.9	27	20
VALOR ANUAL																			

Fuente:(INAMHI)**.**

Tabla 4. 26 Anuario meteorológico 2009

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hs	día	
ENERO		24.0	19	9.5	16	20.6	11.4	15.4	100	29	69	6	93	14.3	16.4	150.7	31.3	23	25
FEBRERO		24.3	25	9.2	20	20.9	11.6	15.4	100	1	81	1	95	14.6	16.8	87.0	26.3	17	18
MARZO				6.2	14	21.5	11.2	15.6	100	2	76	17	94	14.6	16.8	108.2	22.7	12	21
ABRIL						20.9	11.4	15.5	100	3	71	2	94	14.5	16.7	56.0	10.1	20	20
MAYO						21.7	10.5	15.5					94	14.6	16.9	41.5	8.7	1	15
JUNIO		23.6	5	7.0	15	20.8	10.4	15.2	100	7	79	5	95	14.4	16.7	21.4	7.2	11	18
JULIO		23.8	21	5.8	11	20.1	10.6	14.8					95	14.0	16.2	26.3	6.5	22	19
AGOSTO		25.3	16	5.8	6	20.5	10.5	15.0	100	6	84	15	96	14.3	16.6	22.0	4.1	19	16
SEPTIEMBRE		24.8	16			21.0	10.4	15.5					95	14.7	17.0	20.4			
OCTUBRE		26.2	12	6.5	29	23.1	9.8	15.9	100	11	85	21	96	15.2	17.8	68.3	26.1	21	17
NOVIEMBRE		26.6	17	3.2	7	23.3	8.7	15.6	100	24	82	9	96	14.9	17.6	41.0	9.5	24	15
DICIEMBRE		25.5	6	5.6	31	23.3	9.6	16.0					97	15.5	18.0	63.8	23.7	26	20
VALOR ANUAL						21.5	10.5	15.5					95	14.6	17.0	706.6			

Fuente: (INAMHI).

Tabla 4. 27 Anuario meteorológico 2010

M142	SARAGURO	INAMHI

MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION (mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS										Suma	Máxima en		
	(Horas)	Máxima	día	Mínima	día	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	día	Mínima	día	Media	(°C)	(hPa)	Mensual	24 hs	día	
ENERO		24.8	24	7.5	2	21.3	10.9	15.9					97	15.4	17.8	29.8	6.5	11	15
FEBRERO		25.2	5	8.5	15	22.0	11.6	16.4					96	15.8	18.2	111.3	34.0	24	27
MARZO						22.1	11.3	16.6					96	16.0	18.4	56.4	17.8	31	24
ABRIL						22.5	10.3	16.4					96	15.8	18.2	107.7			
MAYO		25.6	22	6.6	24	22.1	10.6	16.3					95	15.5	18.0	91.9	25.5	2	22
JUNIO		22.6	1	1.5	6	19.9	8.8	15.2					95	14.4	16.6	57.7	15.9	20	18
JULIO		24.2	21			21.7	8.7	15.1					96	14.5	17.1	52.1	13.4	13	10
AGOSTO						20.7	7.6	14.5					95	13.7	16.1	16.2			
SEPTIEMBRE		26.0	28	4.2	10	22.0	8.3	15.2					95	14.4	17.1	29.1	9.8	1	8
OCTUBRE		27.0	31	4.5	6	23.0	9.0	15.6					96	15.0	17.7	36.1	15.1	19	10
NOVIEMBRE		26.2	5	4.0	9	23.0	8.2	14.8					96	14.2	16.9	63.2	17.7	13	16
DICIEMBRE						21.5	9.8	15.0					97	14.5	16.9	112.5			
VALOR ANUAL						21.8	9.6	15.6					95	14.9	17.4	764.0			

Fuente:(INAMHI).

A continuación se muestran el histórico de las precipitaciones máximas desde 1991 al 2010.

Tabla 4. 28 Año y precipitación máxima correspondiente

AÑO.	PRECIPITACIÓN.
1991	24
1992	19.8
1993	34.7
1994	24.5
1995	38.2
1996	30.9
1997	25.6
1998	63.5
1999	51.2
2000	35.1
2001	23.4
2002	36
2003	27
2004	27.6
2005	35.2
2006	27.8
2007	48.6
2008	26.8
2009	31.3
2010	34

Para lograr una estimación estadística debemos organizar los datos de menor a mayor como se presenta a continuación.

Tabla 4. 29 Muestra y orden de precipitación máxima

MUESTRA.	**ORDEN.**
1	19.8
2	23.4
3	24
4	24.5
5	25.6
6	26.8
7	27
8	27.6
9	27.8
10	30.9

11	31.3
12	34
13	34.7
14	35.1
15	35.2
16	36
17	38.2
18	48.6
19	51.2
20	63.5

El análisis de la precipitación máxima en 24 horas se lo realizará con el Método de Gumbel. (INVIAS, 2009).

$$x = \mu - \alpha[\ln(-\ln(F(x)))] \quad \text{(Ecuación52)}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} \quad \text{(Ecuación53)}$$

$$\mu = \dot{x} - 0.5772\alpha \quad \text{(Ecuación 54)}$$

μ= Parámetro de ubicación de moda

ẋ= Media aritmética

α= Parámetro de escala

s= Desviación Estándar.

El periodo de retorno considerado es de 100 años establecido por la Norma de diseño geométrico de carreteras para caminos vecinales (MTOP, 2003).

$$T(X) = \frac{1}{1-F(x)} \quad \text{(Ecuación55)}$$

T(x)=Periodo de retorno

F(x)= Función de probabilidad

X= Precipitación proyectada

El valor de la frecuencia observada se obtiene de la siguiente manera.

$$\text{Frecuenciaobservada} = \frac{1}{20} \qquad \text{(Ecuación 56)}$$

$$\text{Frecuenciaobservada} = 0.05$$

$$Frecuencia\ teorica = e^{-e^{\frac{\mu - x}{\alpha}}} \qquad \text{(Ecuación57)}$$

$$\text{Frecuencia teorica} = \mathrm{e}^{-\mathrm{e}^{\frac{28.45-24}{8.32}}}$$

$$\text{Frecuencia teorica} = 0.18.$$

Tabla 4. 30 Valores calculados para el método de Gumbel

media (ẋ)	33.26
desv estndr(s)	10.6746823
α	8.32301564
μ	28.45595537
PERIODO DE RETORNO	100
F(x)	0.99
X(precipitación proyectada)	66.74306933
frecuencia observada	0.05
frecuencia teorica	0.181211044
$\overline{Fnxi}$	0.5

4.5.1 Test de Kolmogorov Smirmov

Para el test de Kolmogorov necesitamos sacar la frecuencia acumulada y la frecuencia teórica. El primer valor para la frecuencia acumulada viene dado por la ecuación.

$$Frecuencia\ acumulada1valor = \frac{1}{20+1} \qquad \text{(Ecuación58)}$$

$$\text{Frecuencia acumulada1valor} = 0.04761$$

Para la muestra 2 el valor sería 0.04761+0.04761=0.09523 (Ecuación59)

Para la muestra 3 el valor sería 0.09523+0.04761=0.1428 (Ecuación60)

$$\text{Frecuencia teorica} = e^{-e^{\frac{\mu - x}{\alpha}}}$$

Fn(xi)=Frecuencia acumulada

F(xi)= Frecuencia acumulada teórica.

Tabla 4. 31 Valores obtenidos del Test de Kolmogorov-Smirmov

MUESTRA	ORDEN	Frecuencia acumulada	frecuencia acmulada teorica	D=Sup[Fn(xi-F(xi)]	[Fn(xi)-F(xi)]^2	$\lvert Fn(xi) - \overline{Fnxi}\rvert^2$
1	19.8	0.047619048	0.059058694	0.011439647	0.000130866	0.204648526
2	23.4	0.095238095	0.159489841	0.064251746	0.004128287	0.009070295
3	24	0.142857143	0.181211044	0.038353901	0.001471022	0.020408163
4	24.5	0.19047619	0.200187329	0.009711138	9.43062E-05	0.036281179
5	25.6	0.238095238	0.244298279	0.006203041	3.84777E-05	0.056689342
6	26.8	0.285714286	0.295190503	0.009476217	8.97987E-05	0.081632653
7	27	0.333333333	0.303867266	0.029466068	0.000868249	0.111111111
8	27.6	0.380952381	0.330114322	0.050838059	0.002584508	0.145124717
9	27.8	0.428571429	0.338916631	0.089654798	0.008037983	0.183673469
10	30.9	0.476190476	0.474478875	0.001711601	2.92958E-06	0.22675737
11	31.3	0.523809524	0.491371239	0.032438285	0.001052242	0.274376417
12	34	0.571428571	0.59827608	0.026847509	0.000720789	0.326530612
13	34.7	0.619047619	0.623588005	0.004540386	2.06151E-05	0.383219955
14	35.1	0.666666667	0.637561011	0.029105656	0.000847139	0.444444444
15	35.2	0.714285714	0.640997513	0.073288201	0.00537116	0.510204082
16	36	0.761904762	0.667662246	0.094242516	0.008881652	0.580498866
17	38.2	0.80952381	0.733345054	0.076178756	0.005803203	0.655328798
18	48.6	0.857142857	0.914940221	0.057797364	0.003340535	0.734693878
19	51.2	0.904761905	0.937024857	0.032262952	0.001040898	0.818594104
20	63.5	0.952380952	0.985270585	0.032889633	0.001081728	0.907029478
			MAXIMO	0.094242516	0.045606388	6.71031746

Escogemos el D máximo 0.09424 luego con una confiabilidad del 95%, numero de valores de muestra 20 con estos datos recabados y usando la tabla del test de Kolmogorov Smirmov.

Tabla 4. 32 Distribución del estadístico del Test de Kolmogorov

	α				
n	0'2	0'1	0'05	0'02	0'01
1	0'900	0'950	0'975	0'990	0'995
2	0'684	0'776	0'842	0'900	0'929
3	0'565	0'636	0'780	0'785	0'829
4	0'493	0'565	0'624	0'689	0'734
5	0'447	0'509	0'563	0'627	0'669
6	0'410	0'468	0'519	0'577	0'617
7	0'381	0'436	0'483	0'538	0'576
8	0'358	0'410	0'454	0'507	0'542
9	0'339	0'387	0'430	0'480	0'513
10	0'323	0'369	0'409	0'457	0'489
11	0'308	0'352	0'391	0'437	0'468
12	0'296	0'338	0'375	0'419	0'449
13	0'285	0'325	0'361	0'404	0'432
14	0'275	0'314	0'349	0'390	0'418
15	0'266	0'304	0'338	0'377	0'404
16	0'258	0'295	0'327	0'366	0'392
17	0'250	0'286	0'318	0'355	0'381
18	0'244	0'279	0'309	0'346	0'371
19	0'237	0'271	0'301	0'337	0'361
20	0'232	0'265	0'294	0'329	0'352

Fuente: (INVIAS, 2009).

El valor que escogemos es 0.294 por lo tanto D<Dt, por lo tanto el ajuste es adecuado.

$$R^2 = 1 - \frac{\Sigma(Fn(x)i) - F(x)i)^2}{\Sigma(Fn(x)i - \overline{Fn(x)1})^2} \qquad \text{(Ecuación61).}$$

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

$$Fn(x)1 = media\ de\ frecuencias\ observadas\ acumuladas.$$

$$R^2 = 0.99$$

Por lo tanto, si cumplió con lo estipulado.

Precipitación proyectada para 100 años = 66.74 mm/h

$$Id_{TR} = 66.74/24$$

$$Id_{TR} = 2.78 mm/h$$

De acuerdo a los mapas de zonificación, se escoge la fórmula de acuerdo a la región que se analiza y el tiempo de concentración escogemos de 5 minutos por ser la condición mas desfavorable.

$$I_{TR} = 97.389.t^{-0.6117}.Id_{TR}$$ (Ecuación62)

$$I_{TR} = 97.389.5^{-0.6117} * 2.78mm/h$$

$$I_{TR} = 101.15mm/h$$

$$I_{TR} = 101.15\frac{mm}{h} * \frac{1h}{3600seg} * \frac{1m}{1000mm} = 0.000028m/s$$

4.5.2 Diseño del Caudal Máximo

Para el diseño del caudal máximo necesitamos estimar mediante el método racional ya que tiene un área de aporte menor a 400 Ha (MTOP, 2003).

Pendiente longitudinal máxima: 8.4%

Pendiente de la cuneta: 3H:1V (33.33%)

N (rugosidad):0.014

C ladera: 0.6

C calzada: 0.9

Longitud del tramo con mayor pendiente= 165m

Aladera= 20*165

Aladera=3300 m2

Acalzada= 2.2*165

Acalzada= 363m2.

Areatotal= 3300m2+363m2

Areatotal= 3663 m2. (0.3663ha)

Por tanto, se usará el método racional para estimar el caudal.

Cponderado=((Cladera*Aladera)+(Ccalzada*Acalzada))/(Aldera+Acalzada)

(Ecuación63)

Cponderado = ((0.6*3300)+(0.9*363))/(3663)

Cponderad0 =0.63.

Q=Cponderado*Idtr*Areatotal (Ecuación64)

Q=0.63*0.000028m/s*3663m2

Q=0.065 m3/s.

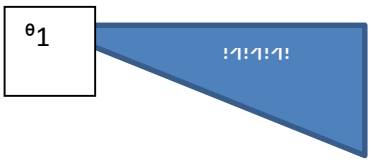
Calculo del tirante crítico

Área de la cuneta triangular

$$A = \frac{z(y^2)}{2}$$ (Ecuación65)

Perímetro mojado

$$Pm = y + y(\sqrt{1 + z^2})$$ (Ecuación66)



$tg^{-1}(pendientedesdelacalzada) = \theta_1$

$(ángulodesdelacalzada) = \theta_1$

$ctg\theta 1 = z$ (Ecuación67)

$$\text{Qcuneta} = \frac{\left((\text{So})^{\frac{1}{2}}\right)\left(\frac{z(y^2)}{2}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(y+y\left(\sqrt{1+z^2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}(n)}$$ (Ecuación68).

$$0.065 = \frac{((8.4/100)^{\frac{1}{2}})(\frac{3(y^2)}{2})^{5/3}}{\left(y + y\left(\sqrt{1+3^2}\right)\right)^{\frac{2}{3}}(0.014)}$$

Y=0.13m.

Sección de diseño

Alto=0.2m

Ancho=0.6m

Pendiente del 33.33%

Área= 0.06m2

Perímetro mojado= 0.8324m.

4.5.3 Diseño de cunetas

Para el diseño de cunetas utilizamos la fórmula de Henderson recomendada por la Norma de diseño geométrico (MTOP, 2003).

Según la formula Henderson estipula los siguientes criterios.

$$Vo = \frac{i}{3.6*10^6} \quad \text{(Ecuación69)}$$

$$a = \frac{So^{1/2}}{n} \quad \text{(Ecuación70)}$$

$$t_e = \left(\frac{L}{Vo^{\frac{2}{3}}*a}\right)^{3/5} \quad \text{(Ecuación71)}$$

$$qmáx = a * (Vo * te)^{5/3} \quad \text{(Ecuación72).}$$

So=Pendiente media de la superficie

n=Coeficiente de rugosidad

L=Longitud del tramo

i= Intensidad de precipitación en exceso

te = Tiempo de equilibrio para que se presente el qmax (s)

4.5.4 Diseño hidráulico de cunetas

Es de mucha importancia ya que con la ayuda de la ecuación de Manning se estima el caudal que lleva la cuneta, el mismo que debe ser mayor al qmáx. (Chow, 1994).

$$Q = \frac{(Am)*(R)^{\frac{2}{3}}*(So)^{1/2}}{n} \quad \text{(Ecuación73)}$$

Am= Área mojada (m2)

R= Radio hidráulico (m)

So= Pendiente del fondo

n=Coeficiente de rugosidad

Q= Caudal de diseño (m3/s)

4.5.5 Datos y resultados de cálculos

n=0.014.

w= 4.4m.

So=2%.

I=101.16mm/h.

Tabla con resultados en el ANEXO D.

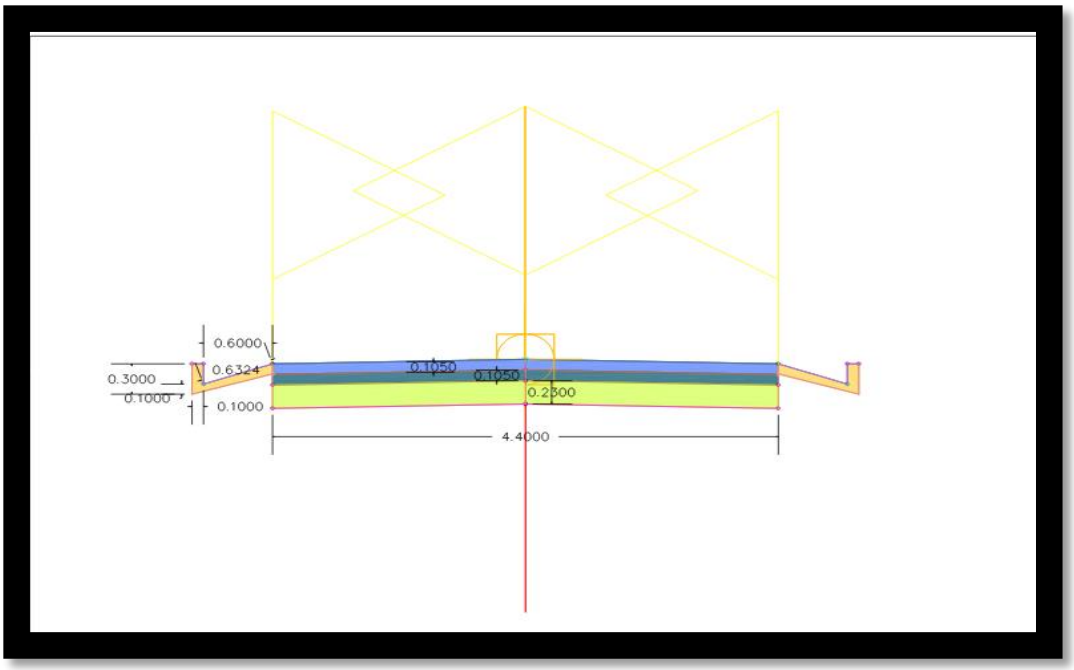


Figura 4. 6 Cuneta tipo.

4.5.6 Diseño de alcantarillas

Para el diseño hidraúlico se toma en cuenta tanto el caudal máximo, pendiente máxima, velocidad máxima y altura de remanso.

Para este caso utilizamos la ecuación de Manning, con lo cual observamos el coeficiente de rugosidad en la tabla 4.1.

Con lo cual obtenemos un valor de 0.024 para metal corrugado sin revestir.

4.5.7 Flujo con control de salida

El control en el flujo de salida se da cuando en la sección de entrada se genera un flujo subcritico y a la salida un flujo supercrítico.

Los datos de entrada para generar este control son los siguientes:

Tipos y dimensiones de la sección transversal

Geometría de la embocadura

Nivel de agua en la entrada

Nivel de agua a la salida

Pendiente del conducto

Rugosidad del conducto

Largo del conducto.

Dentro de su clasificación podemos tener de 4 tipos como se cita a continuación:

A. Sección llena con nivel de aguas abajo por encima del dintel de la sección de salida

B. Sección llena con nivel de aguas abajo por debajo del dintel de la sección de salida

C. Sección parcialmente llena en un tramo del conducto

D. Sección parcialmente llena en todo el conducto

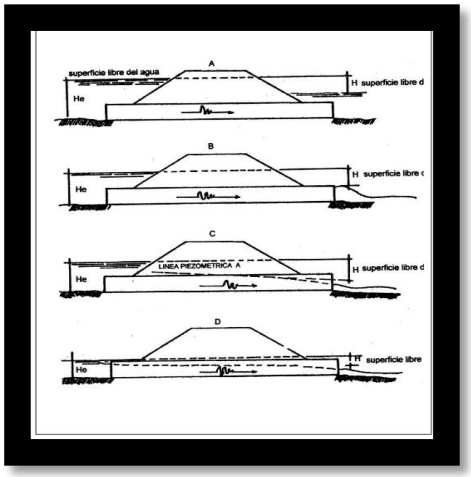


Figura 4. 7 Flujo con control de salida

Fuente: (MTOP, 2003).

Para el cálculo del flujo de control de salida tenemos que realizar la ecuación de energía entre la sección de entrada y la de salida.

Resultando la siguiente ecuación.

He=H+H1-L*i. (Ecuación74)

He= Nivel de agua a la entrada.

H1= Nivel de aguas a la salida.

H= Energía empleada en la obtención de energía de velocidad a la salida, mas la perdida por fricción y pérdidas a la entrada.

L= Longitud del conducto.

i= Pendiente del conducto.

Para lo cual analizamos el caso A en donde:

$$H = h_v + h_e + h_f \quad \text{(Ecuación75)}$$

$$h_v = \frac{V^2}{2*g} \quad \text{(Ecuación76)}$$

$$h_e = K_e * \frac{V^2}{2*g} \quad \text{(Ecuación77)}$$

$$h_e = \frac{2*g*n^2*V^2*L}{R^{4/3}*2g} \quad \text{(Ecuación78)}$$

Lo cual viene de:

$$\mathrm{h_f = L * S_f} \quad \text{(Ecuación79)}$$

$$\mathrm{V = \frac{R^{\frac{2}{3}}*S^{1/2}}{n}} \quad \text{(Ecuación80)}$$

$$\mathrm{S = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}} \quad \text{(Ecuación81)}$$

$$\mathrm{h_f = L * \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}}} \quad \text{(Ecuación82).}$$

El valor de H1 es un valor conocido ya que es el tirante crítico de la sección circular de metal corrugado.

El valor de Ke es una valor que se determina utilizando la tabla anexada en la parte de abajo.

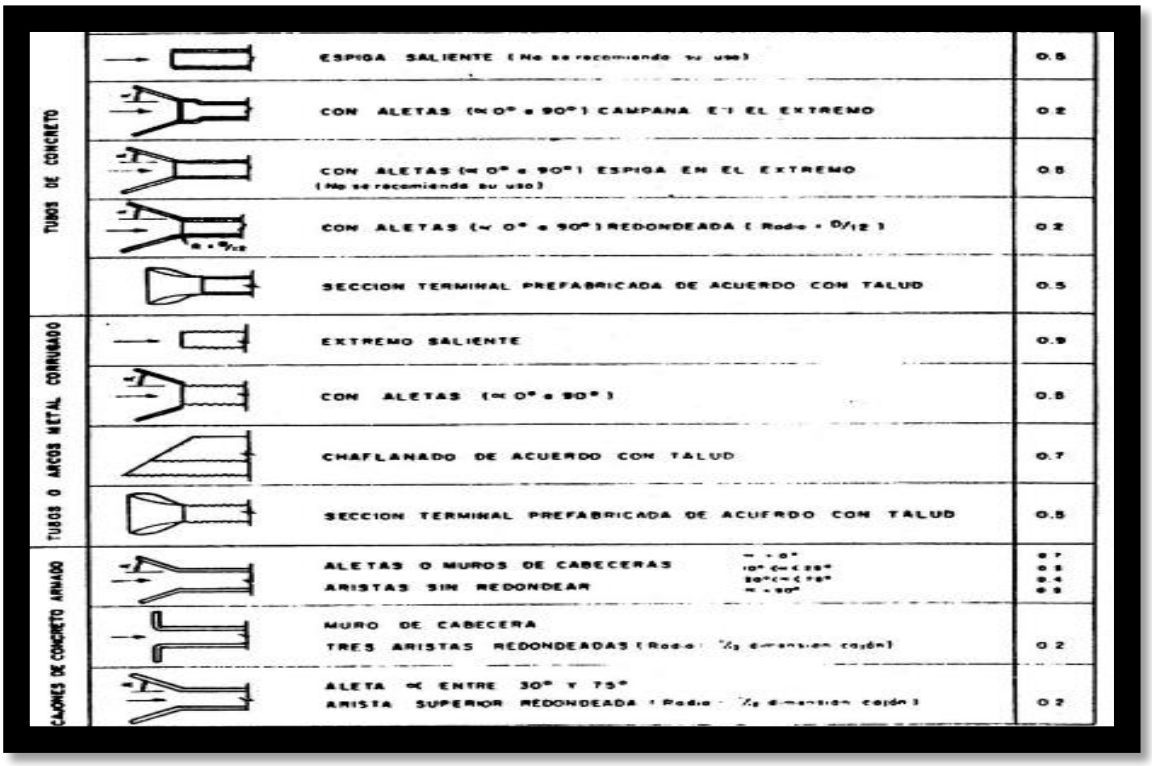


Figura 4. 8 Valor de Ke

Fuente: (MTOP, 2003).

Para nuestro caso tomamos un valor de Ke de 0.5 para secciones con aletas entre 0° y 90° de metal corrugado.

4.5.8 Cálculo de alcantarillas del proyecto

- Cálculo de área de alcantarillas en quebradas

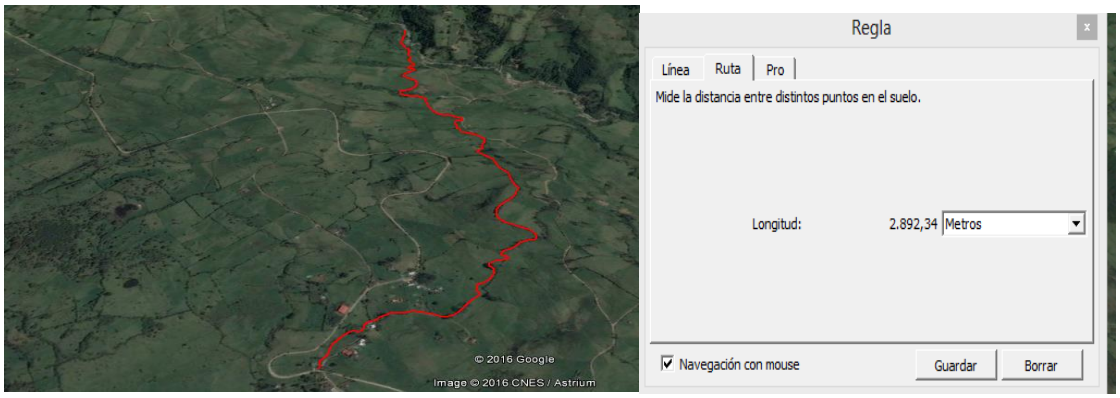


Figura 4. 9 Longitud de quebrada en el sector de María Auxiliadora.

Fuente: Google Earth.

La longitud determinada para la quebrada 1 es de 2892,34m.

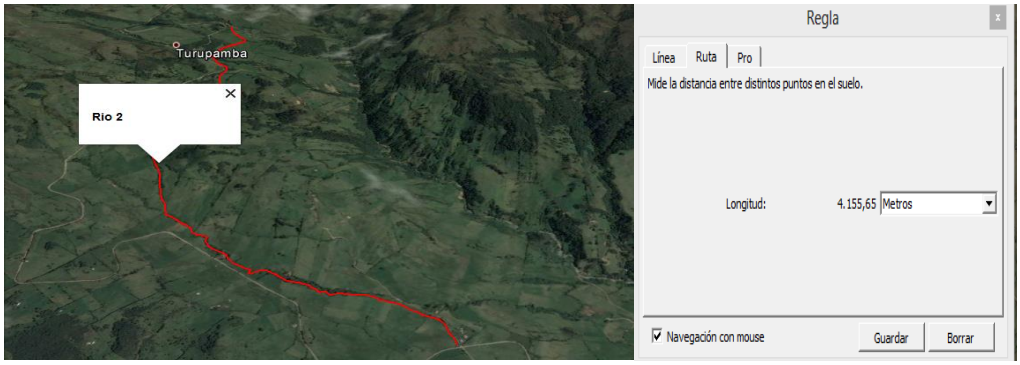


Figura 4. 10 Longitud de quebrada en el sector de Yaguarcocha

Fuente: Google Earth.

La longitud de la quebrada 2 determinada es de 4155.65 m.

Tabla con los resultados en el ANEXO E**,** planos con el diseño de las alcantarillas en el ANEXO I.

CAPITULO 5

PRESUPUESTO

El presupuesto o también llamado estimado se define como el proceso de estimar de manera anticipada el número de materiales, mano de obra, equipo y utilidad por parte del contratista según manifiesta el Ing. Leopoldo Varela en su libro Ingeniería de costos teórica y práctica (Varela, 2009).

El presupuesto se encuentra en el ANEXO G.

5.1 Determinación de rubros

1. Obras preliminares

2. Excavaciones y colocación de alcantarillas

3. Hormigón

4. Acero

5. Desalojo y compactación

6. Colocación de agregados

7. Señalización.

5.2 Cantidades de obra

El cálculo de las cantidades de obra, conocido como cubicación, es un método empleado en el área de la construcción, el cual significa que, basándose en los planos, especificaciones técnicas y el listado de actividades constructivas que componen el proyecto de edificación, permite al contratista obtener el volumen de materiales necesarios en forma ordenada y ágil, ofreciendo la posibilidad de revisar, controlar y modificar los datos en caso de que sea necesario. Se obtiene valores como un producto estos son metros cúbicos, metros lineales, metros cuadrados, quintales, kilogramos, entre otras.

5.2.1 Objetivo

Obtener las cantidades de obra necesarias para la construcción de la carpeta asfáltica como producto final, en la vía San Fernando-Yaguarcocha.

5.2.2 Desarrollo

En el presente trabajo se procederá a dividir las actividades por capítulos, teniendo: obras preliminares, excavaciones, colocación de tubería para alcantarillas, colocación de agregados, acero, hormigones y señalización.

La tabla de cantidad de obra se encuentra en el ANEXO F.

5.3 Análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitarios es una técnica estimativa del valor del proyecto, y se trata de reflejar la cantidad de materiales, mano de obra y equipo. El análisis de precios unitarios está conformado por los costos directos y los costos indirectos en los mismos que se incluyen costo por financiamiento, cargo por la utilidad del contratista y cargos adicionales según expresa el Ing. Leopoldo Varela en su libro Ingeniería de costos (Varela, 2009).

Consta de los siguientes campos por lo general de 6 columnas en donde están colocados: Item, Rubro, Unidad, Cantidad, Costo unitario, Costo total.

Tabla 5.1 Formato para costos

ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL

El análisis de precios unitarios se encuentra en el ANEXO G

- Costos directos

El costo directo es la suma tanto de la mano de obra, material y equipo. Para la elaboración de este según Álvaro Beltrán en su libro costos y presupuestos (Álvaro, 2012), se inicia por los planos y especificaciones que tendrán que estar desarrollados de buena forma para disminuir el error que puede existir, luego tenemos la determinación del concepto de obra para definir el alcance de la obra, después tenemos el listado de materiales, la cuantificación del concepto y la maquinaria y equipo necesarios para el desarrollo de la obra.

- Costos Indirectos

El gasto que no sea necesario para la elaboración de un producto se considera como un costo indirecto especialmente los gastos para dirección técnica, administración, organización, vigilancia, supervisión, fletes, acarreos y prestaciones sociales.

Los costos indirectos de administración y de campo, es necesario conocer la estructura de organización de las oficinas en forma general y particular según manifiesta Álvaro Beltrán en su libro costos y presupuestos (Álvaro, 2012).

CONCLUSIONES

- Mediante el conteo vehicular, el cual se consideró del lunes 21 de noviembre del 2015 al domingo 27 de noviembre del 2015 se observó un tráfico de 2250 vehículos y con los conteos automáticos se obtuvo factores horario, diario, semanal, mensual. Teniendo finalmente un TPDA de 445 vehículos.

- En el presente proyecto vial, el radio de curvatura fue de 45m para una velocidad de diseño de 40 Km/h, de acuerdo al estudio de tráfico realizado. Por lo que, en la primera, cuarta y quinta curva se evidencia un radio de curvatura menor al estipulado, por lo que solo en estos tramos se necesitara una velocidad de diseño de 25 Km/h de acuerdo a lo que estipula Norma Ecuatoriana Vial en la Tabla 2A.204-203.Para el diseño vertical se evitó hacer cortes muy grandes debido a la presencia de sistemas de riego de los cuales no se tiene un conocimiento de la profundidad a la que se encuentran, además de la presencia de 2 quebradas las cuales ya cuentan con alcantarillas para su respectiva conducción, por lo que para cumplir con el diseño geométrico vertical se optó por más volúmenes de relleno y por último la sección transversal debido al estudio de tráfico efectuado, según la Norma Ecuatoriana lo clasifica en una camino agrícola forestal con un ancho mínimo de 2m de calzada, para nuestro caso escogimos un ancho de 2.2m de calzada, 0.7m de ancho de cuneta por presentarse un ancho de vía muy reducido.

- El estudio de suelos fue donado por el GAD de San Fernando, se observó que en todas las calicatas teníamos limos de alta y baja plasticidad y arenas limosas.

- Obtuvimos un CBR del 2.3% de los estudios de suelo, mismo que nos permitió diseñar una estructura vial, de 4 pulgadas de pavimento flexible, 4 pulgadas de material de base granular, y 11 pulgadas de sub-base granular.

- En cuanto al estudio hidrológico y de drenaje, se evidencio 2 alcantarillas que conducían agua de dos quebradas, las mismas se encontraron en buenas condiciones, y con una capacidad hidráulica óptima, estaban compuestas de metal corrugado y con un diámetro de 1.2m y una pendiente del 0.5%.

- Las cunetas las diseñamos tomando en cuenta tramos específicos para que el mayor porcentaje proveniente de laderas se puedan drenar conjuntamente con el agua de las cunetas.

- El presupuesto estimado para el proyecto vial es de dos millones setecientos cincuenta y dos mil noventa y nueve con 16/100 dólares ($2, 752,099.16).

BIBLIOGRAFÍA

AASHO. (1962). *The AASHO Road Test.* Washigton, DC.

AASHTO. (1993). *Guia para el Diseño de Estructuras de Pavimentos.*

Álvaro, B. (2012). *Costos y presupuestos.*

Autodesk. (20 de Enero de 2015). AutocadCivil3D.

Casanova, L. (2012). *Topografía Plana.* Mérida.

Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de canales abiertos.*

Corredor, I. G. (s.f.). *Experimento vial de la AASHO y las Guias de diseño AASHTO.*

Das, B. M. (s.f.). *Fundamentos de ingenieria geotécnica.*

Dirección financiera del G.A.D de San Fernando. (2014). *Estudio economico del cantón San Fernando.* San Fernando.

INAMHI. (2014). *Anuario Meteorológico.* Recuperado el 11 de Diciembre de 2015, de servicio meteorologico: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf

INAMHI. (s.f.). *Manual hidrologico del Ecuador.*

INEC. (s.f.). *Instituto Nacional de estadisticas y censos*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2015, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/

INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras.*

Iturbide, I. J. (2002). *Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos.* Gautemala.

Jacob, C. (1985). *Carreteras Estudio y Proyecto.* Vega.

Medellin, U. N. (s.f.). *unal.* Obtenido de http://www.docentes.unal.edu.co/eazapata/docs/CIV-CLASE%2020.pdf

Milton, T. E. (s.f.). *Ingenieria de Pavimentos.*

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *MTOP*. Recuperado el 14 de Octubre de 2015, de Norma Ecuatoriana Vial: http://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-vial-nevi-12/

MTOP. (2002). MOP – 001 –F-2002. En MTOP, *Especificaciones generales para la construcciones de caminos y puentes.*

MTOP. (2003). *Normas de diseño geometrico de carreteras.*

MTOP. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito.

SHE. (2014). En S. N. Hidrocarburos, *Consumo de combustibles de la provincia del Azuay.*

sjnavarro. (s.f.). *wordpress.* Obtenido de https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/movimiento-de-tierra1.pdf

USON. (s.f.). Recuperado el 1 de octubre del 2015, de http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8693/Capitulo6.pdf

Varela, L. (2009). *Ingenieria de Costos Teórica y práctica en construcción.* Mexico.

ANEXOS.