



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE
LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924 CON LA COLONIA
PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

Edwards Jefferson Arana Corado

Asesorado por el Ing. Boris Abilio Palma Montenegro

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE
LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924 CON LA COLONIA
PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Edwards Jefferson Arana Corado

ASESORADO POR EL ING.BORIS ABILIO PALMA MONTENEGRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERIO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Nicolás Manuel Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Inga. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE
LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924 CON LA COLONIA
PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 04 de mayo de 2018.

Edwards Jefferson Arana Corado

Guatemala, 31 de marzo de 2020

Ingeniero

Mario Estuardo Arriola Avila

Coordinador del Área de topografía y Transportes

Escuela de Ingeniería Civil

Faculta de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Arriola

Por medio de la presente, me permito informarle que revisé y corregí el trabajo de graduación realizado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, EDWARDS JEFFERSON ARANA CORADO que se titula **“DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924 CON LA COLONIA PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO”**.

El trabajo se efectuó de forma muy satisfactoria y cumplió ampliamente con los objetivos planteados, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco su atención a la presente y me suscribo,

Muy Atentamente

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line at the bottom, positioned above the printed name.

Boris Abilio Palma Montenegro

Ingeniero Civil

Colegiado No. 4684



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 16 de septiembre de 2020

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Aguilar:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación
"DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE
CARRETERA DE LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924
CON LA COLONIA PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO" desarrollado
por el estudiante de Ingeniería Civil Edwards Jefferson Arana Corado con registro
académico 201408460 y CUI 2226 71297 0101, quien contó con la asesoría del Ing. Boris
Abilio Palma Montenegro.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para la
facultad y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al
mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA
DE TOPOGRAFÍA
Y TRANSPORTES
COORDINACIÓN



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



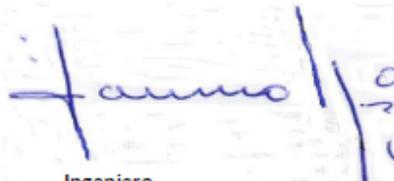
Guatemala, 26 de Enero de 2,021

Señor
Estudiante de Ingeniería Civil
Edwards Jefferson Arana Corado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala Estimado:

Le informo que he revisado las cartas y documentos que sustentan su proceso del tema que presento como trabajo de graduación que tiene el tema de graduación "DISEÑO GEOMETRICO DE INTERSECCION EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE LIBRAMIENTI EN CHIMALTENANG, RUTA CA-1 TRAMO 50+924.00 CON LA COLONIA PATRICIA DE ARZU, EL TEJAR, CHIMALTENANO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edwards Jefferson Arana Corado, CUI: 2226 – 71297 - 0101, Registro Académico: 2014 08460, quién contó con la asesoría del Ing. Boris Abilio Palma Montenegro

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,



Ingeniero.
Armando Fuentes Roca
Director Escuela De Civil



ID Y ENSEÑAD A TODOS



DTG. 029.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO GEOMÉTRICO DE INTERSECCIÓN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERA DE LIBRAMIENTO EN CHIMALTENANGO, RUTA CA-1 TRAMO 50+924 CON LA COLONIA PATRICIA DE ARZÚ, EL TEJAR, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Edwards Jefferson Arana Corado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su inmensa bondad y misericordia para mi vida, por guiarme en todo momento para poder culminar mi carrera con éxito.
- Mis padres** Elías Arana y Enma Corado, gracias por brindarme siempre su apoyo incondicional en todo momento y el amor recibido, por todos los sacrificios realizados y su constante consejo en mi vida.
- Hermana y hermano** Astrid Xiomara y Cristian Omar Arana Corado (q. e. p. d.), por el cariño recibido y los consejos, compartiendo experiencias que fueron de gran ayuda para mi carrera.
- Sobrinos** Herber Omar, Lindsay Sofia y Danniele Alejandro Arana Corado, por ser una fuente de inspiración y de cariño.
- Mi familia** Por brindarme el apoyo y cariño todo este tiempo, además esperando que este acto sea una satisfacción y sirva de ejemplo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el centro de estudio de formación profesional y poder realizar una meta importante en mi vida.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme todos los conocimientos científicos y técnicos, formándome como un profesional.

**Ing. Boris Abilio Palma
Montenegro**

Por su colaboración y experiencia para poder realizar este trabajo de graduación.

**Constructora Nacional
S.A.**

Por su colaboración y apoyo brindado.

Municipalidad de El Tejar

Por la información y apoyo para la realización de este trabajo.

**Mis amigos y
compañeros**

Por ser una importante influencia en mi carrera, compartiendo muchos momentos buenos y malos, y la cooperación brindada.

1.2.1.3.	Múltiples ramales.....	7
1.2.1.4.	Rotondas	8
1.2.2.	Intersecciones a desnivel	9
1.2.2.1.	Condiciones para la construcción de intersecciones a desnivel.....	10
1.2.2.2.	Tipos intersecciones o intercambios a desnivel	11
1.2.2.2.1.	Intersecciones a desnivel con tres ramales.....	12
1.2.2.2.2.	Intersecciones de cuatro ramales	12
1.3.	Elementos de diseño geométrico	14
1.3.1.	Elementos de diseño geométrico para intersecciones a nivel	15
1.3.1.1.	Alineamiento.....	15
1.3.1.2.	Perfil	16
1.3.1.3.	Visibilidad de intersección.....	17
1.3.1.4.	Distancia de visibilidad.....	18
1.3.1.4.1.	Distancia de reacción o decisión	18
1.3.1.4.2.	Distancia de reacción o decisión	20
1.3.1.5.	Triángulos de visibilidad.....	21
1.3.2.	Diseño de rotondas e intersecciones giratorias	23
1.3.2.1.	Elementos de diseño para rotondas.....	25
1.3.2.1.1.	Capacidad de rotondas.....	25

	1.3.2.1.2.	Visibilidad en rotondas	27
	1.3.2.1.3.	Ancho de giro para vehículos pesados.....	28
1.3.3.		Elementos geométricos de diseño para intersecciones a desnivel o intercambios de nivel ...	29
	1.3.3.1.	Consideraciones generales de diseño	30
		1.3.3.1.1. Determinación de la configuración.....	30
	1.3.3.2.	Alineación, perfil y la sección transversal	31
	1.3.3.3.	Medianas	33
	1.3.3.4.	Restricciones laterales	33
	1.3.3.5.	Altura libre del paso inferior.....	34
	1.3.3.6.	Separación de niveles distancia horizontal	34
1.4.		Proceso de selección de diseño	35
1.5.		Volumen de tránsito.....	38
	1.5.1.	Tránsito promedio diario anual o TPDA	39
	1.5.2.	Tránsito de la hora pico.....	40
		1.5.2.1. FHP (factor hora pico)	41
	1.5.3.	Composición de tránsito.....	41
1.6.		Movimientos de tierras.....	41
	1.6.1.	Corte.....	42
	1.6.2.	Relleno.....	42
1.7.		Derecho de vía	43

2.	ANÁLISIS DEL PROBLEMA VEHICULAR DE LA COLONIA PATRICIA DE ARZÚ.....	47
2.1.	Historia del Tejar	47
2.1.1.	Localización geográfica	48
2.1.2.	Ubicación y accesos	49
2.1.3.	Colindancias físicas.....	49
2.1.4.	Suelo	50
2.1.5.	Flora y fauna	50
2.1.6.	Clima	50
2.1.7.	Población	51
2.1.8.	Actividades productivas	51
2.1.9.	Salud	51
2.1.10.	Gestión integrada del recurso hídrico - fuentes de agua	52
2.1.11.	Gestión de riesgos.....	53
2.1.12.	Vulnerabilidades	54
2.1.13.	Sanearamiento ambiental	55
2.1.14.	Educación.....	56
2.1.14.1.	Cobertura y nivel de educación.....	56
2.1.14.2.	Deserción y finalización	57
2.1.14.3.	Calidad y movilidad educativa.....	58
2.1.14.4.	Analfabetismo	58
2.2.	Antecedentes históricos de la colonia Patricia de Arzú.....	58
2.3.	Coordenada geográfica de la Colonia Patricia de Arzú	60
2.4.	Población afectada.....	60
2.5.	Estudio de TPDA.....	61
2.6.	Medios de transportes más comunes en el sitio	62
2.7.	Evaluación de riesgos de transito.....	64
2.8.	Tipo de suelo.....	65

3.	ALTERNATIVAS Y OPCIONES DE INTERSECCIONES	67
3.1.	Dimensionamiento preliminar de las intersecciones para colonia patricia de Arzú	67
3.1.1.	Análisis de opciones a nivel y desnivel de intersecciones	67
3.1.2.	Intersecciones de cuatro ramales a nivel	70
3.1.2.1.	Principales ventajas	70
3.1.2.2.	Principales desventajas.....	71
3.1.3.	Rotondas	72
3.1.3.1.	Principales ventajas para la intersección.....	72
3.1.3.2.	Desventajas para la intersección.....	72
3.1.4.	Intersecciones a desnivel con tres ramales.....	73
3.1.4.1.	Principales ventajas para la intersección.....	73
3.1.4.2.	Principales desventajas para la intersección.....	74
3.1.5.	Intersección de cuatro ramales tipo diamante	74
3.1.5.1.	Principales ventajas de la intersección.....	74
3.1.5.2.	Principales desventajas.....	75
3.2.	Análisis de tránsito de la intersección	75
3.2.1.	Análisis volumen de tránsito en la intersección	76
3.2.2.	Análisis de posibles conflictos vehiculares	78
3.3.	Propuestas y presupuestos para alternativas más adecuadas.....	79
3.4.	Criterios para la selección final	83

4.	DISEÑO GEOMETRICO PRELIMINAR DE INTERSECCION.....	85
4.1.	Criterios de diseño según AASTHO y SIECA	85
4.1.1.	Vehículo de diseño	85
4.1.2.	Velocidad de diseño	85
4.1.3.	Ancho de aceras o banquetas	86
4.1.4.	Altura de separación.....	87
4.1.5.	Ancho de la mediana	92
4.1.6.	Distancia horizontal de separación	94
4.1.7.	Derecho de vía	96
4.1.8.	Alineación y perfil	98
4.2.	Diseño de pavimento.....	99
4.2.1.	Periodo de diseño.....	99
4.2.2.	Espesores sugeridos	100
	CONCLUSIONES	105
	RECOMENDACIONES	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	ANEXOS	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Intersección de tres ramales	6
2.	Intersección de cuatro ramales sin canalización	7
3.	Intersección multi-ramal con reacondicionamiento de carril	8
4.	Minirotonda	9
5.	Intersección tipo trompeta	12
6.	Intersección tipo diamante	13
7.	Trébol de cuatro hojas.....	14
8.	Variaciones de alineamiento en las intersecciones	16
9.	Intersección de cuatro ramales con triángulos de visibilidad	21
10.	Tipos de rotondas	23
11.	Ancho de vehículos pesados en rotondas normales	28
12.	Altura libre H para terrenos planos para paso inferior o superior en estructura a desnivel	35
13.	Tipos de intersecciones con diferentes volúmenes de tránsito	37
14.	Invasión de derecho de vía	44
15.	Empresa de fabricación de ladrillo	47
16.	Delimitación del Tejar, Chimaltenango	49
17.	Predio vehicular y granja.....	59
18.	Colonias afectadas.....	60
19.	Conjunto de viviendas cercanas a la intersección	61
20.	Pesos y dimensiones	63
21.	Transportes alternativos.....	63
22.	Áreas colindantes a la intersección	67
23.	Demolición de pozos y corte de terreno	68
24.	Comparación de volúmenes de carretera principal y secundaria...	77

25.	Intersección de cuatro accesos con un solo carril por sentido y sin control	79
26.	Propuesta no.1 rotonda	80
27.	Geometria basica de la bóveda	87
28.	Angulo entre el ancho del carril y la altura	88
29.	Angulo complementario	89
30.	Altura del segmento circular	90
31.	Altura de separación de bóveda	91
32.	Elevación de la sección	92
33.	Distancia horizontal para agregar	93
34.	Distancia horizontal para la mediana	93
35.	Distancia horizontal aproximada con la pendiente	95
36.	Planta de bóvedas gemelas.....	96
37.	Derecho de vía de bóvedas gemelas.....	97
38.	Diseño en Civil de bóvedas y carretera principal	98
39.	Diseño CAD de perfil de bóvedas	99
40.	Detalle de asfalto	102

TABLAS

I.	Decisión para evitar maniobras.....	20
II.	Distancia de visibilidad para giros a derecha e izquierda	22
III.	Distancia de visibilidad de rotondas	27
IV.	Ancho para giros recomendados	29
V.	Distancias mínimas para realización de separación de estructura	34
VI.	Aspectos operativos y de seguridad	38
VII.	Características geométricas de la carretera.....	40

VIII.	Vehículos que transitan por el lugar	62
IX.	Presupuesto preliminar para rotonda (sin derecho de vía)	81
X.	Presupuesto preliminar para paso a desnivel.....	82
XI.	Periodo de diseño por tipo de carretera	100
XII.	Espesores mínimos sugeridos	101
XIII.	Espesores mínimos de capas asfálticas sobre base	101
XIV.	Espesores para utilizar	102
XV.	Presupuesto de puente vehicular tipo bóveda.....	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°	Grados
km	Kilometro
m	Metro
mm	Milímetro
'	Minutos
N	Norte
O	Oeste
%	Porcentaje
Q	Quetzales
“	Segundos

GLOSARIO

AASTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials, en español, Association Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transportes.
Aceras	Orilla de la calle de otra vía pública, por lo general ligeramente elevada y enlosada, situada junto a las fachadas de casas y particularmente reservada al tránsito de peatones.
Alineamiento	Es una proyección tanto vertical como horizontal de la geometría de una carretera.
Autopista	Carretera con calzadas separadas para los dos sentidos de la circulación, cada una de ella con dos o más carriles, sin cruces a nivel.
Calzada	Parte central de la comprendida entre dos aceras y con firme asfaltado.
Caminos	Franja de terreno utilizada o dispuesta para caminar o ir de un lugar a otro; puede estar asfaltada o no.
Capacidad	Número máximo de vehículos por unidad de tiempo que, razonablemente, puede esperarse que pase por

un tramo de un camino, en un sentido o en dos sentidos, bajo las condiciones que imperan en el camino y el tránsito.

Costos Son los gastos generales en términos monetarios que una empresa utiliza para su existencia.

Distancia Espacio o intervalo de lugar o de tiempo que media entre dos cosas o sucesos.

Flujo vehicular Es el fenómeno causado por la circulación vehicular en una vía, calle o autopista.

Intersección Se llama intersección, al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan.

Maniobra Movimiento u operación que se hace al manejar cualquier tipo de vehículo.

Pendiente Medida de inclinación de una recta o de un plano.

Presupuesto Cantidad de dinero calculado para hacer frente a los gastos generales de un proyecto de construcción.

Ramales Es la vía que sale de una intersección y forma parte de ella.

Rotondas	Es una intersección de carretera, avenidas o calles, donde los vehículos circulan alrededor de un anillo.
Suelo	Conjunto de materiales orgánicos e inorgánicos de la superficie terrestre, capaz de sostener vida vegetal.
Topografía	Conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno.
Visibilidad	Mayor o menor distancia a que, según las condiciones atmosféricas, pueden reconocerse o verse los objetos.
Volumen de tránsito	Cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo.

RESUMEN

Las intersecciones en muchos lugares del país son causantes de grandes percances vehiculares los cuales tienen consecuencias graves para los usuarios, esto es el resultado de diseños deficientes y de una larga lista de problemas de educación y cultura dentro del país.

Se han realizado muchos estudios enfocados en las intersecciones desde un punto estadístico, estos han llegado a disminuir los riesgos y daños que pueden ocasionarse en las intersecciones, en el presente trabajo se analizan de una manera sencilla criterios básicos para el diseño y elección de una intersección, los cuales ayudarán de una manera práctica al desarrollo de una ingeniería más efectiva al momento de realizar intersecciones dentro del país.

Primero, se realizó un estudio de antecedentes generales de las intersecciones basados en las normas AASHTO y SIECA, y estableció información relevante para poder seleccionar una intersección, observando criterios relevantes para el diseño y características esenciales para la elección de una intersección.

Segundo se estableció la información del municipio, la demografía, geografía, clima, ubicación del lugar de estudio, y la cantidad de personas afectadas dentro de la colonia.

Tercero se ordenan las diferentes intersecciones que se pueden utilizar en el lugar, además de criterios de diseño que deben ser importantes para la

selección de intersecciones y muestra las intersecciones que son más adecuadas para el punto conflicto.

Cuarto se enumeran los criterios de diseño que son el derecho de vía, vehículo de diseño, velocidades de diseño y ancho de aceras.

OBJETIVOS

General

Realizar el diseño geométrico de la intersección en la construcción de carreteras de libramiento en Chimaltenango, ruta CA-1 tramo 50+924 con la colonia Patricia de Arzú.

Específicos

1. Determinar los criterios más importantes para seleccionar una intersección.
2. Elaborar un estudio de TPDA para determinar el flujo vehicular de la colonia Patricia de Arzú.
3. Analizar la intersección que sea más factible para la colonia y que cumpla con los criterios de diseño.
4. Realizar plano de intersección y presupuesto preliminares en base a criterios de diseño geométrico.

INTRODUCCIÓN

Las intersecciones viales son elementos de obra vial donde se cruzan uno o más caminos, los cuales tienen como finalidad el cambio de dirección en una trayectoria. Dentro de las intersecciones viales están las intersecciones a nivel y desnivel, la primera consiste en la intersección de uno o varios caminos que convergen en un mismo y la segunda es la intersección de caminos.

Las intersecciones a nivel en Guatemala tienen mucho riesgo y son focos de inseguridad estos frecuentemente producen accidentes, tiempos de espera, riesgos para los conductores y riesgo para los peatones. Se pretende analizar las alternativas de construcción de intersección de vías a nivel y a desnivel, haciendo ver cuál es la más efectiva de ellas para la colonia Patricia de Arzú, se realizará un estudio de campo para la elaboración de las alternativas que permita un diseño adecuado cumpliendo con las características del lugar, las ventajas, desventajas, espacio a utilizar de cualquiera de las alternativas, capacidad de la intersección y seguridad para los usuarios.

Se pretende que la información recopilada tenga la función de servir de guía para la resolución de conflictos entre carreteras principales y vecinales, disminuyendo los conflictos en la intersección y mejorando el flujo vehicular de la zona afectada.

1. GENERALIDADES ACERCA DE LAS INTERSECCIONES

1.1. Intersecciones

Las intersecciones se definen como el área comprendida dentro de una carretera donde dos o más caminos se cruzan, los cuales son diseñados geométricamente para brindar eficiencia, seguridad y comodidad a los usuarios. Siendo una de las características principales la seguridad debido que la percepción de los usuarios al momento de transitar y a la homogeneidad del mismo diseño facilita la comprensión de la geometría de la intersección a los automovilistas y a los peatones.

Gran parte de las soluciones y alternativas a intersecciones dependen también de la topografía del lugar o del sitio, de las características geométricas de las carreteras que se cruzan y de las condiciones de flujo vehicular que se pueden dar en el lugar. Otra característica de vital importancia es el costo del terreno y el derecho de vía del lugar donde se ubicará las intersecciones.

Por lo tanto, se deben tener criterios de diseño los cuales darán como resultado un diseño apropiado y eficiente el cual tendrá el propósito de brindar la comodidad y la seguridad para todos los grupos de usuarios.

1.1.1. Características para intersecciones

Son las áreas necesarias para el tránsito de peatones, bicicletas, vehículos de pasajeros y camiones, se debe tomar en cuenta no solo el pavimento sino

también las banquetas o aceras cerca de la intersección y las rampas adecuadas para los peatones. Las cuatro características claves para el diseño son:

- Foco de actividades: Se refiere a la concentración de destinos que pueden poseer las intersecciones.
- Movimientos conflictivos: Son aquellos puntos donde se realizan movimientos para cruzar donde se involucran peatones, bicicletas y vehículos motorizados.
- Control del tráfico: Son todas aquellas señales que tienen la finalidad de regularizar los movimientos de los usuarios produciendo cierta cantidad de demoras dentro de la intersección y que repercuten en los usuarios.
- Capacidad de la intersección: Es la cantidad de usuarios que pueden adaptarse en un tiempo dado, siendo los controles de tráfico las limitaciones en las carreteras que se intersecta.

1.1.2. Área de maniobra o área funcional

Es el área donde un conductor o conductores realizan las operaciones para ejecutar las maniobras requeridas, esta área se extiende mucho antes de llegar a la intersección y después de la misma, al momento de acercarse a la intersección existen ciertos elementos que deben ser tomados en cuenta uno de ellos es la distancia de percepción, la distancia de maniobra y distancia de almacenamiento en cola este último solo aplica para intersecciones a nivel.

Dentro de las intersecciones nivel pueden existir ciertas maniobras las cuales pueden crear conflictos dentro de las mismas debido a la forma en la cual se llevará a cabo estas acciones, una de ellas es la divergencia, integración y cruce las cuales se deben de unir a las maniobras de entrecruzamiento. En el Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de carreteras se

comenta que, en el área dispuesta para la intersección, se pueden realizar maniobras de divergencias o separación, convergencia y cruce, estas pueden incluir una maniobra de entrecruzamiento, estas maniobras representan grandes fuentes de conflictos, no solo viéndose afectado el conductor que realizará el movimiento dentro de la intersección, si no afectando a otros vehículos en el área, según la apreciación de Raúl Leclair.

1.1.2.1. Maniobra de divergencia o separación

Es donde un vehículo se separa del flujo principal ya sea a la izquierda o hacia la derecha, este movimiento afecta al vehículo detrás debido a la reducción de la velocidad en la maniobra de separación.

1.1.2.2. Maniobra de convergencia o integración

Punto donde se incorporan uno o más ramales, con el cual el punto de conflicto es el vehículo ya debe alcanzar la velocidad del flujo principal para poder integrarse.

1.1.2.3. Cruce

Es el área donde dos o más caminos se cruzan, esto puede ser nivel como a desnivel siendo este un inconveniente para el usuario ya que la intersección será un punto de conflicto alto.

1.1.3. Objetivos para diseñar

El diseño de las intersecciones se debe ajustar a las transiciones naturales y a las características de operación que puedan ofrecer las mismas, llegando el

usuario a percibir la comodidad de la intersección mejorando la movilidad dentro de la misma, se consideran cuatro elementos básicos el primero son factores humanos, las consideraciones de tráfico, elementos físicos y factores económicos para el diseño.

1.1.4. Capacidad de intersección

La capacidad de una carretera se verá afectada por las restricciones que contengan las intersecciones, cuando existen una ralentización del flujo vehicular dentro de las carreteras se reduce considerablemente el servicio de la misma. La capacidad se ve influenciada para las condiciones de tráfico y las condiciones de la carretera.

En las condiciones de tráfico se tienen que observar la cantidad de volumen que existen en el punto, la distribución de vehículos por movimiento, paradas de autobuses dentro de la intersección, si existen puntos donde crucen peatones y áreas de estacionamiento de vehículos cerca de la intersección. En las condiciones de la carretera se deben tomar en cuenta la geometría básica de las intersecciones y la cantidad de carriles dentro de la misma.

Se pueden obtener capacidades óptimas y buenos niveles de servicio cuando se tomen en cuenta o se incluyan dentro del diseño carriles auxiliares, la canalización del flujo y controles de tráfico adecuado.

1.1.5. Elementos básicos para el diseño de intersecciones

Estos elementos son utilizados para poder diseñar de manera adecuada una intersección tanto a nivel como a desnivel, esto según ASSTHO 2011 y el

Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras lo más utilizado es:

- Alineación y perfil
- Visibilidad de la intersección
- Carriles auxiliares
- Rotondas
- Giros en carreteras y canalización

1.2. Clasificación de intersecciones

Existen gran variedad de intersecciones las cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Intersecciones nivel
- Rotondas o intersecciones giratorias
- Intersecciones a desnivel

1.2.1. Intersecciones nivel

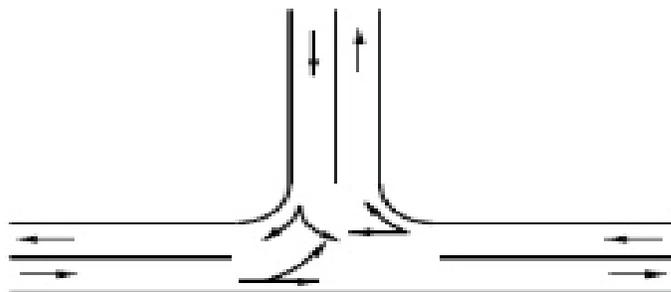
Se refiere a intersecciones que su geometría puede formar tres ramales (tipo T), hasta cuatro ramales los cuales pueden utilizarse para caminos con poca afluencia vehicular, los cuales necesitando mayor área para las maniobras vehiculares necesitando carriles auxiliares para aumentar la capacidad de los carriles. También existen intersecciones a nivel que puede tener ciertas variaciones como pueden ser canalizadas y sin canalizar.

1.2.1.1. Intersección tipo T o de tres ramales

Son intersecciones que tiene tres ramales los cuales interceptan en un punto y pueden tener la forma en T, la mayor parte del tiempo son intersecciones sin canalizar, cuanto la velocidad es muy alta se tiende a que sea mayores sus áreas para las acciones y maniobras por parte de los usuarios haciendo que se deben incorporar carriles auxiliares para el aumento en la capacidad de este. Para poder controlar estas intersecciones se debe tener presente algunas condiciones como el volumen de tránsito, condiciones económicas y aspectos ambientales.

Este tipo de intersecciones son muy comunes en caminos secundarios y uniones de carreteras secundarias con autopistas más importantes, se debe tomar en cuenta que en esta última el ángulo de inclinación no debe ser mayor a 30° desde la perpendicular y es para intersecciones no canalizadas. En las intersecciones canalizadas se proporcionan puntos óptimos para los peatones donde pueden transitar, se logra por medio de aumentar los radios de esquina entre las vías permitiendo el giro separado de la vía secundaria en la intersección.

Figura 1. Intersección de tres ramales

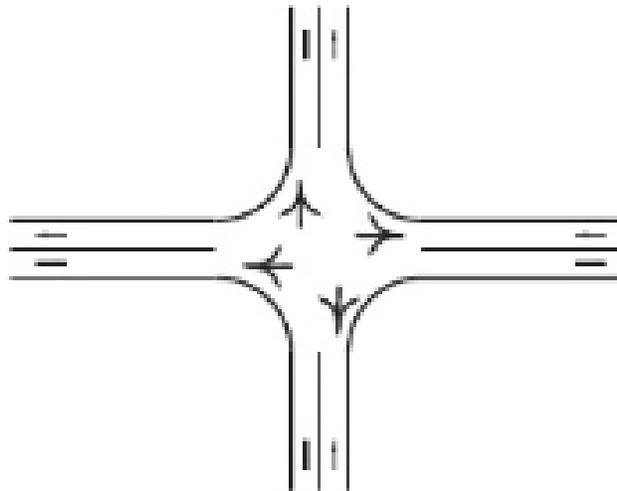


Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 642.

1.2.1.2. Intersecciones de cuatro ramales

Son intersecciones donde existen cuatro ramales que convergen en un punto, son mejor utilizados donde existan caminos que contengan poco flujo vehicular y donde existan carreteras con mucho flujo. Para este tipo de intersecciones se pueden aumentar su capacidad de la intersección al agregar carriles adicionales, son excelentes para utilizar cuando existan áreas suburbanas donde haya mucho espacio y se tengan elevado flujo vehicular.

Figura 2. **Intersección de cuatro ramales sin canalización**



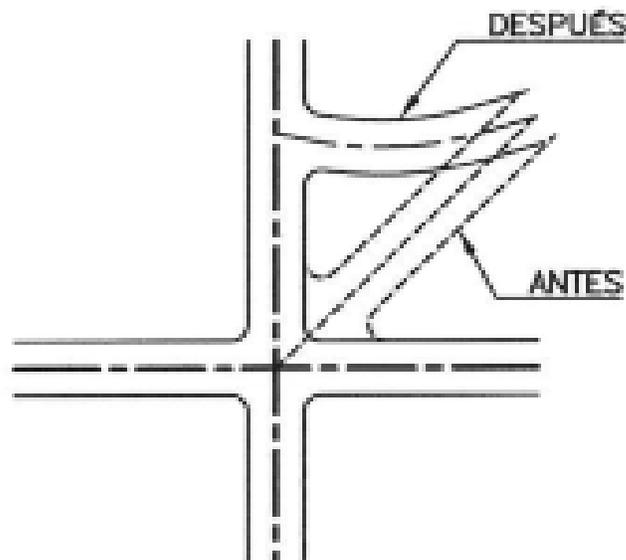
Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 644.

1.2.1.3. Múltiples ramales

Son intersecciones que tienen de cinco o más ramas, este tipo de intersecciones pueden utilizarse siempre y cuando los volúmenes de tránsito sean bastante livianos, además de reconfigurarse cada uno de los movimientos que pueden causar conflicto dentro de las mismas. Esto se logra cambiando la

orientación de uno de los ramales que cruzaran y combinando los movimientos del tráfico dentro de la intersección.

Figura 3. **Intersección multi-ramal con reacondicionamiento de carril**



Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 649.

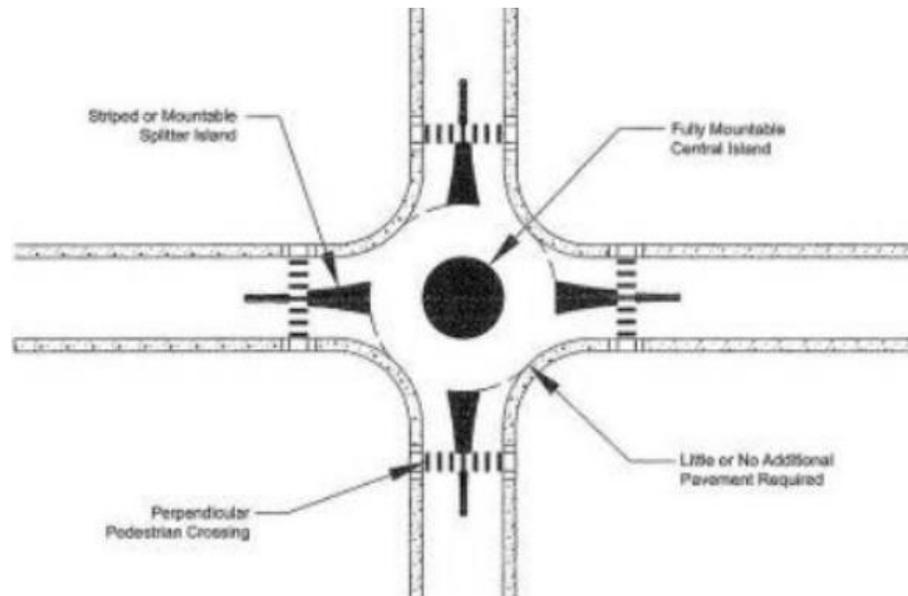
1.2.1.4. Rotondas

Son intersecciones con una isla central en la que el tránsito pasa alrededor de la isla y el tránsito debe girar en contra de las agujas del reloj teniendo varios ramales que se intercepten y pueden resolver el problema de congestión de tránsito con volúmenes medios, porque son más económicas y flexibles para el movimiento del tráfico, y reduce significativamente los puntos de colisión. Existe una clasificación para las rotondas según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras esta es:

- Mini rotondas

- Glorietas de un solo carril
- Glorietas de varios carriles

Figura 4. **Minirotonda**



Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 652.

1.2.2. **Intersecciones a desnivel**

Las intersecciones a desnivel o intercambios de nivel son elementos que separan grandes volúmenes de tránsito en una intersección de carreteras, este tipo de intersección suele utilizarse y se ve influenciada por muchos factores tales como la clasificación de la carretera, velocidad de diseño y el control que se tenga para el acceso a las mismas. Al tener intersecciones que funcionen en diferentes niveles se reducen los tiempos de espera dentro de las carreteras además provoca que los flujos no se interrumpan logrando que el usuario transite en menor tiempo hacia su destino, muchas ocasiones los intercambios de nivel

pueden también estar asociados a la topografía del lugar considerando cuando los terrenos son ondulados tienen mayor armonía con el lugar, estos tipos de intersecciones presentan varios factores a tomar en cuenta los cuales son la economía, la fluidez y la seguridad de los usuarios.

Otro tipo de problemas son los puntos de conflicto que con las intersecciones a nivel tiende a aumentarse cuando el flujo vehicular aumenta tanto para los vehículos ya sean transporte pesado o liviano como para los peatones y para los ciclistas. En muchos casos en países en desarrollo las intersecciones a nivel cada vez toman menos importancia, pero la falta de educación vial haciendo que los usuarios hagan maniobras muy peligrosas dentro de las intersecciones a desnivel toman mayor importancia debido a la seguridad que ofrecen al momento de transitar tanto para usuarios de vehículos como peatones y ciclistas.

1.2.2.1. Condiciones para la construcción de intersecciones a desnivel

- **Determinación de diseño:** cuando se decide desarrollar una carretera se debe tener presente que si existe un punto de intersección se debe determinar si se proporcionara una separación por medio de una intersección a desnivel, debido a que la principal prevención que se debe tomar en cuenta es el flujo continuo en la carretera principal, garantizando que la carretera principal no se vea afectada por el segundo flujo.
- **Reducción de puntos de conflicto y de tránsito:** existe cuando una intersección no puede suplir la necesidad de transitar dentro de la misma por ser rutas con demasiado flujo vehicular.

- Reducción de frecuencia de accidentes: por la cantidad de accidentes que suceden en intersección a nivel, esto cuando se tienen carreteras con mucho flujo vehicular y carreteras con poco tránsito, debido a que las velocidades son muy altas en estos puntos, normalmente se encuentran en lugares o áreas rurales donde no existen gran flujo vehicular.
- Topografía del lugar: cuando la topografía del lugar muchas veces solo permitirá intersecciones a desnivel debido a la forma del terreno, esto para satisfacer las necesidades de diseño o el costo que tendrá dicha intersección.
- Beneficios y costos: cuando los costos por el congestionamiento creado en la intersección afectan a los usuarios directamente y los productos, debido a los tiempos de espera que se vuelven largos haciendo que los recorridos sean más caros debido a el consumo de combustible, aceite, entre otros.

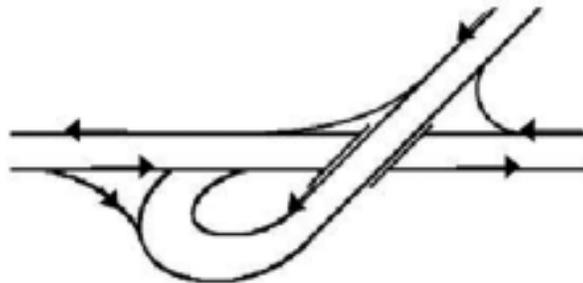
1.2.2.2. Tipos intersecciones o intercambios a desnivel

Existen muchos tipos de intersecciones, pero se deben seleccionar y diseñar de acuerdo a los requerimientos y a las alternativas técnicamente posibles, pero a su vez existen ciertas intersecciones básicas que se utilizan en la práctica y su conocimiento es esencial para poder tomar una decisión, por consiguiente, pueden ser tres o cuatro principales y básicas:

1.2.2.2.1. Intersecciones a desnivel con tres ramales

Es el tipo más común de intersección debido a que entrelaza una o más estructuras a diferentes niveles en carreteras que tienen un solo sentido en el movimiento del tránsito y la configuración esta para el sentido del tránsito que tiene preferencia, este tipo intersecciones serán usuales cuando en el lugar el flujo vehicular no tienda a aumentar o no aumente considerablemente.

Figura 5. **Intersección tipo trompeta**



Fuente: AASTHO. A policy on design of urban and arterial streets. p. 586.

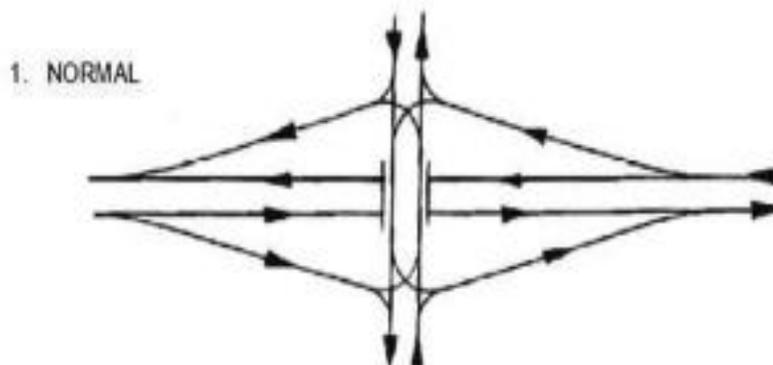
1.2.2.2.2. Intersecciones de cuatro ramales

Se construyen donde cuando dos carreteras principales se entrecruzan, las cuales necesitan distribuir los flujos vehiculares para realizar maniobras de separación, integración y cruce, estas configuraciones se dividen en seis más de acuerdo a American Association of State Highway and Transportation Officials,

siendo rampas, intercambios en diamante, doble rotonda, intercambios de diamante en un punto , tréboles y por ultimo intercambios direccionales.

- Rampas: son pequeños segmentos de carreteras que tienen la finalidad de intercambiar desde un ramal a otro, sirviendo o permitiendo la transferencia de vehículos de una carretera a otra. Tienen la facilidad de utilizarse cuando existen volúmenes de tráfico bajos.
- Intercambios en diamante: es la configuración más simple debido a la facilidad de intercambiar por medio de rampas en forma diagonal que tienen flujo libre con velocidades considerablemente altas, realizando maniobras de giros hacia izquierda como a la derecha. Son altamente efectivas, necesitan menos derecho de vía y espacio para poder construir las, se debe tomar en cuenta que deben tener una señalización adecuada.

Figura 6. **Intersección tipo diamante**

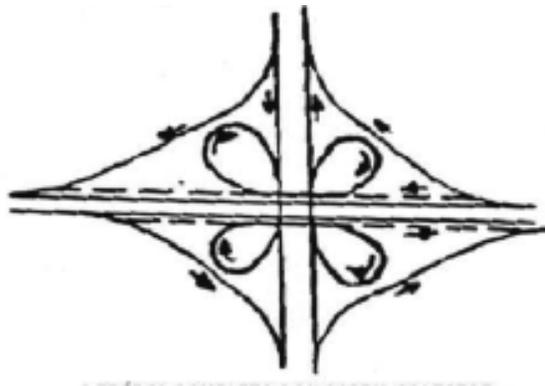


Fuente: AASTHO. A policy on design or urban and arterial street. p. 589.

- Tréboles: son intersecciones que emplean rampas las cuales tienen forma circular o en forma de aros, resuelve gran cantidad de movimientos hacia

la izquierda en intercambios, este tipo de intersecciones se seleccionan normalmente para poder evitar que el flujo en la carretera principal no sea afectado y este puede ingresar directamente a la carretera secundaria. Se pueden dividir en dos clases los cuales pueden ser tréboles de cuatro cuadrantes o de cuatro hojas y tréboles parciales. Una de las principales desventajas es la distancia extra para recorrer y las áreas de derecho de vía que se utilizan.

Figura 7. **Trébol de cuatro hojas**



Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 594.

1.3. Elementos de diseño geométrico

Para realizar un correcto trazo de una intersección se deben conocer parámetros o elementos importantes para el diseño de la geometría específicos para el punto de análisis y así poder tomar la decisión correcta al momento de realizar una elección de una intersección a nivel o a desnivel.

1.3.1. Elementos de diseño geométrico para intersecciones a nivel

Para un correcto diseño debemos tomar en consideración aspectos como el alineamiento, el perfil del terreno, la visibilidad de la intersección, etc., las cuales nos ayudaran a comprender de mejor el comportamiento real de la misma intersección.

1.3.1.1. Alineamiento

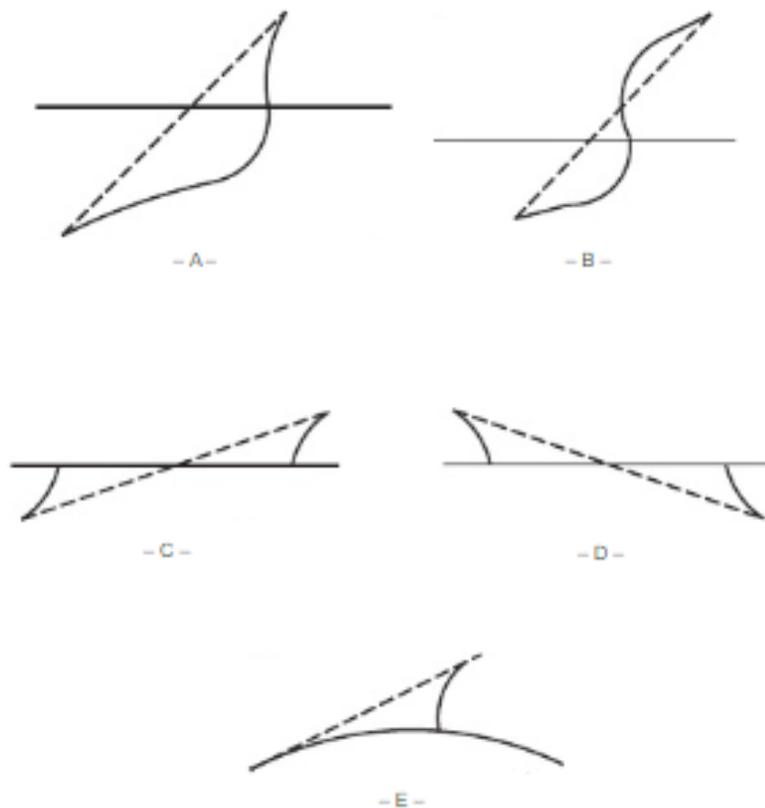
El alineamiento debe permitir que los usuarios puedan visualizar las intersecciones con claridad para que pueda realizar las acciones o maniobras para poder transitar dentro de la intersección con seguridad y la mínima interferencia, teniendo presente que el diseño debe ser adecuado y el objetivo principal es tratar de eliminar las dificultades que el usuario se le presentarán dentro de la intersección.

El alineamiento debe ser lo más recto posible y que las pendientes sean mínimas deben estar entres el tres o menos, las pendientes mayores requieren ajustes a los diseños para dar las condiciones adecuadas, se debe tomar en consideración que las carreteras deben interceptarse lo más recto que se pueda considerando 60° una variación máxima. Aunque las condiciones siempre estarán marcadas por la topografía del lugar. El alineamiento debe permitir que la carretera secundaria al momento de interceptar con la carretera principal llegue a tener una velocidad equilibrada debiendo evitar que tengan curvas muy cerradas.

Por consiguiente, se deban utilizar intersecciones tipo T que puedan crearse curvas cortas para acezar a la carretera principal, debido a esto se deben tener

áreas diseñadas para el almacenamiento de vehículos o plataforma de almacenamiento. Se presentan algunos alineamientos los cuales se deben evitar y la línea punteada en cada una de ellas es la manera correcta de eliminarlas en las intersecciones.

Figura 8. **Variaciones de alineamiento en las intersecciones**



Fuente: AASHTO. A policy on geometric design of highways and streets. p. 655.

1.3.1.2. Perfil

No deben tener cambios muy grandes en las pendientes o por el contrario que existan combinaciones de pendientes haciendo que el usuario no pueda controlar el vehículo, si se dan el caso que existan una curva horizontal cerrado-

combinada con una cresta se debe evitar toda costa. Se debe conservar la rasante del camino principal y se ajusta la del camino secundario.

Cuando existan intersecciones sin canalizar, en las que la velocidad del proyecto sea baja y se pueda controlar por medio de señalización se recomienda que al vértice superior se le de cierta curvatura en la intersección de ambos caminos, esto dependiendo de la dirección en la que se encuentre el drenaje.

1.3.1.3. Visibilidad de intersección

Gran parte de las intersecciones tienen un potencial alto para los accidentes y conflictos vehiculares, se pueden reducir significativamente cuando se dan distancias visuales adecuadas y controles en el tráfico, uno de los elementos que deben ser de vital importancia en intersecciones a nivel es el diseño de distancias de visibilidad seguros para los accesos vehiculares que circularan dentro de la intersección. El conductor debe tener una visión fuera de obstáculos que no dejen que la visión mire completamente la intersección, además una longitud lo suficientemente grande con la carretera que intercepta, se necesita que los conductos puedan observarse de manera clara y cada uno de ellos tiene la posibilidad de realizar tres acciones que son acelerar, reducir la velocidad y detenerse. Para cada caso, la relación que se tiene con el tiempo y el espacio determinara el triángulo de visibilidad libre de obstrucciones que debe existir, se debe realizar una restricción de operaciones que se realizarán dentro de las intersecciones esto para obtener movimientos seguros dentro de las mismas.

En tal caso cualquier vehículo que se detenga su marcha dentro de la intersección tendrá que contar con la suficiente visibilidad hacia uno y otro lado, se formara un triángulo de visión de la intersección. Dentro de este concepto, se debe considerar una serie de posibilidades las cuales pueden ser:

- Intersecciones sin control, se realiza cuando los vehículos se aproximan hacia la intersección agusanando la velocidad de los vehículos.
- Intersecciones controladas con señales de ceda el paso.
- Intersecciones donde existan altos, donde uno de los flujos debe desacelerar hasta detener los vehículos.
- Intersecciones donde los vehículos que giran a la izquierda desde la vía principal deberán ceder de la corriente opuesta sobre la vía principal.

1.3.1.4. Distancia de visibilidad

Es la distancia mínima continua en la carretera o calle para que los conductores tengan vista de lo que está delante esto para permitir que los conductores se detengan y es fundamental para la operación de intersección, esta distancia de visibilidad se proporciona en la intersección para permitir a los conductores percibir la presencia de vehículos, la misma dará el tiempo necesario esto para que modere la velocidad o pare si es necesario.

La distancia de visibilidad se basa en los principios de distancia de visión, se basa en la observación del conductor en las intersecciones. También se utiliza para permitir que los conductores de vehículos que se encuentran detenidos tengan la suficiente visibilidad para poder ingresar a la carretera, anticiparse y evitar colisiones.

1.3.1.4.1. Distancia de reacción o decisión

Es la distancia a la cual un conductor observa un objeto o situación peligrosa y le permite al conductor realizar el frenado en situaciones normales, si no detecta la fuente y no la percibirla puede realizar una desaceleración y elegir camino

apropiado realizando maniobras elaboradas, se puede determinar fácilmente si la velocidad del conductor es constante y si se conoce el tiempo de reacción se podrá determinar la distancia.

El tiempo de reacción, a veces denominado de percepción-reacción, de 2,5 segundos, es adecuado para el 90 % de las situaciones que pueden presentarse. Sin embargo, en situaciones complejas, como las que se presentan en intersecciones, pueden requerirse tiempos mayores.

Se presenta la siguiente ecuación que ayudará a determinar la distancia de reacción:

$$d_R = \frac{V}{3,6} t$$

Donde:

d_R = Distancia de Reacción (m)

V = Velocidad de Proyecto (km/h)

t = Tiempo de reacción

En el Manual Centroamericano de Diseño Geométrico de Carreteras se establece algunos tiempos de reacción los cuales son para caminos rurales de 3 segundos para detenerse, para caminos urbanos de 9,1 segundos para detenerse, maniobra en camino rural con cambio de dirección es de 10,2 a 11,1 segundos y en caminos urbanos con cambio de dirección entre 14 a 14,5 segundos.

Las distancias pueden ser muy cortas muy cortas y esto puede ocasionar que las distancias de reacción la visibilidad no sea la suficiente dando lugar a

maniobras no son apropiadas al momento de transitar dentro de una intersección, se debe diseñar con la distancia de visualización adecuada para los conductores que facilite las maniobra. En la siguiente tabla se presenta distancias promedio las cuales pueden ser diseñadas las carreteras con distancias de reacción o decisión adecuadas:

Tabla I. **Decisión para evitar maniobras**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	DISTANCIA DE DECISIÓN PARA EVITAR LA MANIOBRA (m)				
	A	B	C	D	E
50	70	155	145	170	195
60	95	195	170	205	235
70	115	235	200	235	275
80	140	280	230	270	315
90	170	325	270	315	360
100	200	370	315	355	400
110	235	420	330	380	430
120	265	470	360	415	470

Fuente: AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. p. 594.

1.3.1.4.2. Distancia de reacción o decisión

Es la distancia requerida para que los vehículos pueden detener el vehículo cuando surge una situación fuera de lo común o situaciones de peligro y que son perceptibles delante en su recorrido, la distancia para que el conductor pueda detener la marcha debe ser por debajo del promedio. La distancia de visibilidad de parada es la suma de la distancia de reacción o decisión más la distancia que tarda el carro en detenerse se da por la siguiente ecuación:

$$d = \frac{v}{3,6} t + 0,039 \frac{v^2}{a}$$

Donde:

V=velocidad de Diseño (km/h)

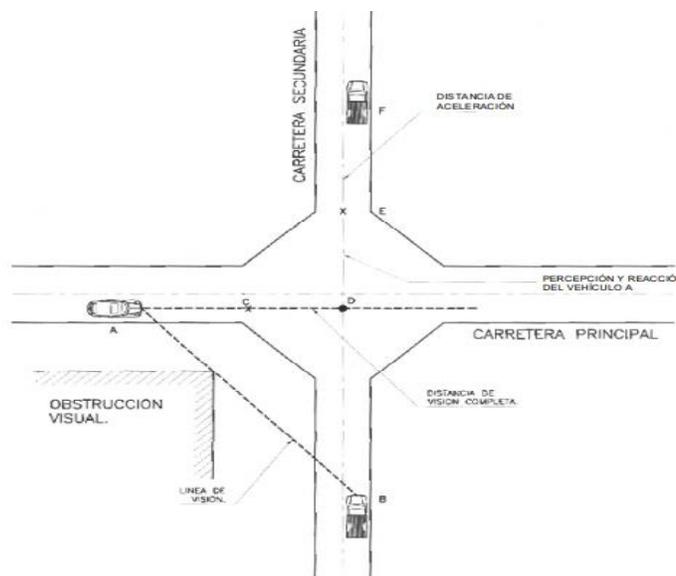
t=tiempo de percepción-reacción, 2,5 segundos

a=tasa de desaceleración, m/seg²

1.3.1.5. Triángulos de visibilidad

Son espacio en las esquinas de las intersecciones las cuales están libres de obstrucciones sirviendo para tener una visión clara de los vehículos en la intersección tanto para el que va dentro del flujo vehicular en la carretera principal como para el conductor del vehículo que intenta ingresar al mismo.

Figura 9. **Intersección de cuatro ramales con triángulos de visibilidad**



Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 227.

Los diseños de los triángulos de visibilidad dependerán de la velocidad de diseño de las carreteras que se cruzan además de los controles de tráfico dentro de la misma, y se basan el comportamiento de observación del conductor.

Cuando se presentan giros hacia la izquierda y derecha por parte de cualquier vehículo se debe tomar en cuenta las distancias recomendadas por la siguiente tabla:

Tabla II. **Distancia de visibilidad para giros a derecha e izquierda**

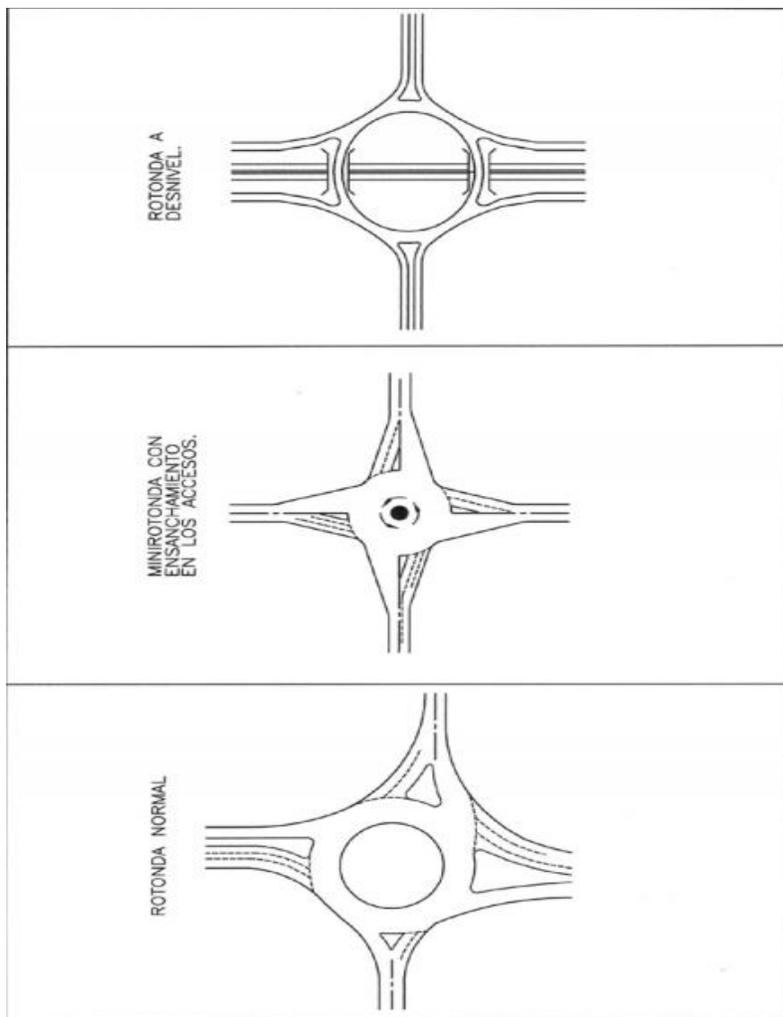
Velocidad de diseño (m)	Derecha		Izquierda			
	Auto	Camión	Auto		Camión	
	A	A	B	C	B	C
30	76	204	83	76	209	204
40	105	275	104	105	262	275
50	140	359	124	140	314	359
55	184	462	145	184	366	462
60	238	591	166	238	419	591
70	302	757	187	302	471	757
80	376	975	207	376	523	975
80	461	ND	228	461	576	ND
90	558	ND	249	558	628	ND
100	670	ND	269	670	680	ND
110	796	ND	290	796	733	ND

Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 299.

1.3.2. Diseño de rotondas e intersecciones giratorias

Este tipo de intersecciones son usuales cuando existen volúmenes de tráfico intermedios que constituyen una solución a los movimientos de tránsito en el área rural y en el área urbana.

Figura 10. Tipos de rotondas



Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras*. p. 218.

Algunas de las ventajas que tiene este tipo de intersecciones son las siguientes:

- Reducción de velocidad para los diferentes accesos mejorando el flujo vehicular dentro de la intersección.
- Incorporación de vehículos a velocidades uniformes esto para poder realizar diferentes maniobras dentro de la misma esto reduciendo conflictos.
- Esto se da cuando los flujos son aproximadamente por día de 60,000 vehículos, por consiguiente, la entrada de vehículos debe ser uniforme y equilibrada.
- Tiene mejor funcionamiento en lugares donde haya muy poca afluencia de peatones transitando dentro de la intersección.
- Una de las ventajas es la visibilidad para los conductores esto debido a que se debe considerar una visión segura de la intersección para su identificación.
- También existen grandes desventajas en este tipo de intersecciones, aquí se tienen las siguientes:
 - No se pueden utilizar cuando existen semáforos en la carretera.
 - No se da prioridad a los movimientos de tráfico para los diferentes de accesos.
 - Requieren grandes dimensiones y áreas para la construcción cuando las velocidades son altas, esto debido a que se necesita mayores longitudes los puntos de entrecruzamiento o cuando existen rotondas con más de cuatro ramales.

1.3.2.1. Elementos de diseño para rotondas

Están relacionado con la capacidad, seguridad en el movimiento de los flujos vehiculares, economía y medio ambiente.

1.3.2.1.1. Capacidad de rotondas

Se compone de la capacidad práctica de entrecruzamiento para los vehículos y de la capacidad de las entradas vehiculares. Para calcular la capacidad de zonas de entrecruzamiento utiliza la siguiente expresión:

$$Q_p = 282 * W * \left(1 + \frac{E}{W}\right) * \left(1 + \frac{P}{3}\right) / \left(1 + \frac{W}{L}\right)$$

Donde:

Qp=capacidad de Rotondas en Veh/hora

W= ancho de la calzada circular de rodadura (m)

E= Promedio de ancho del acceso de entrada y el ancho de la calzada circular (m)

P= Proporción de las corrientes de transito que se entrecruzan en relación de volumen

L= Longitud de la sección de entrecruzamiento (m)

La siguiente expresión es la capacidad de entradas vehiculares:

$$Q_e = K(F - F_c * Q_c) \text{ (veh/h)}, \text{ cuando } f_c * Q_c \text{ es menor o igual } F.$$

$$Q_e = 0, \text{ Cuando } f_c * Q_c \text{ es mayor que } F$$

Donde:

$$K = \{(1 - 0,00347(\varnothing - 30)) - (0,978 \left[\frac{1}{r} - 0,05 \right])\}$$

\varnothing = Angulo de entrada

r= Radio de entrada (m)

F=303 X_2

fc= 0,21*tp [1+0,2* X_2]

Qc=Volumen de transito que circula en la entrada (veh/hora)

Donde los factores:

$$a) X_2 = V + \left(\frac{e-V}{1+2*S} \right)$$

e=Ancho de acceso (m)

V=Ancho de la calzada de la carretera (m)

Amplitud del ensanchamiento (S)

$$S = 1,6 * \left(\frac{e - V}{l} \right)$$

Donde

$$b) Tp = \left(\frac{1+0,5}{1+M} \right)$$

$$M = e * \left(\frac{D - 60}{10} \right)$$

e= Base de Logaritmos neperianos

D= Diámetro inscrito de rotonda (m)

1.3.2.1.2. Visibilidad en rotondas

Tanto la distancia de visibilidad como la distancia de visibilidad de parada para las consideraciones geométricas son de suma importancia, y la siguiente tabla especifica algunos valores dependiendo la velocidad de diseño del proyecto:

Tabla III. **Distancia de visibilidad de rotondas**

a) Distancia de visibilidad de parada	b) Distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada	
Velocidad de Diseño(km/h) 50 60 70 85 100	Diámetro inscrito (m) <40 40-60 60-100 >100	Distancia de visibilidad (m) Toda la Intersección 40 50 60
Mínima Deseable (m) 70 95 125 165 225		
Mínima Absoluta (m) 50 70 95 125 165		

Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 241.

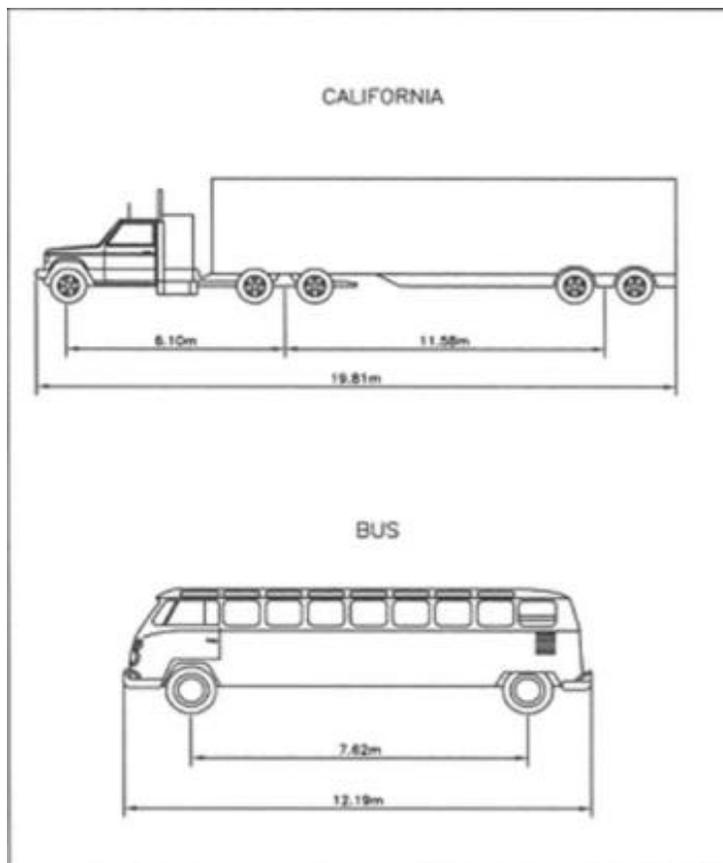
La altura del ojo del observador y del objeto debe ser de 1,05 mts, y se debe estar despejado aproximadamente 2 metros, esto debido a que la visibilidad no debe ser interrumpida por plantas y muros bajos que pueden ser diseñados dentro de la intersección giratoria. La visibilidad de los vehículos que circulan dentro de la rotonda debe tener una visión clara del ancho de esta, esto de acuerdo con el tamaño de la glorieta.

Se debe considerar el cruce de peatones, aunque esto no es deseable, pero deben tener una parada deseable, el cruce peatonal debe localizarse a 50 m o menos del punto de salida de los vehículos.

1.3.2.1.3. Ancho de giro para vehículos pesados

Se determina por medio de dos tipos de vehículos, y se identifican en el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico de Carreteras como un semirremolque, de 19,8 metros de largo total, que corresponden a un WB-19 en AASTHO y un autobús con las dimensiones que se presentan en la siguiente figura.

Figura 11. Ancho de vehículos pesados en rotondas normales



Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 243.

Se presenta los giros recomendables para rotondas entre cunetas para vehículos pesados:

Tabla IV. **Ancho para giros recomendados**

Diámetro del círculo inscrito, f	Vehículos de diseño			
	California mínimo		Bus mínimo	
91.4 85.3	6.6	6.6	5.2	5.2
79.2 73.2	6.9	7.0	5.2	5.3
67.1 61.0	7.3	7.6	5.3	5.5
57.9 54.9	7.8	8.1	5.5	5.6
51.8 48.8	8.4	8.7	5.8	5.8
45.7 42.7	9.1	9.6	5.9	6.1
39.6 36.6	10.2	11.1	6.2	6.4
33.5 30.5	12.3	*	6.7	7.0
29.0		*		7.2

Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 242.

1.3.3. Elementos geométricos de diseño para intersecciones a desnivel o intercambios de nivel

Las intersecciones a desnivel poseen configuraciones las cuales se ven afectadas por la cantidad de flujo que posea la zona afectada, además también las condiciones de la topografía para su fácil configuración.

1.3.3.1. Consideraciones generales de diseño

Las consideraciones más importantes para el diseño de las intersecciones es la configuración, el perfil, la influencia de los espacios alrededor para espacios laterales y medianas considerando el derecho de vía.

1.3.3.1.1. Determinación de la configuración

En las áreas rurales, la configuración a desnivel se selecciona basándose principalmente en la demanda del servicio, cuando se interceptan autopistas puede ser necesario la utilización de intersecciones para volúmenes altos. Los intercambios rurales necesitan espacios amplios y pueden diseñarse de forma individual sin ningún efecto en el intercambio, la configuración final de un intercambio puede determinarse la continuidad de la ruta, las salidas individuales que tendrá la estructura antes de salir y la disponibilidad del derecho de paso. Los intercambios de trébol se pueden adaptar donde el derecho de vía no es un problema además se debe prestar especial atención a la mejora de la calidad operativa debiendo diseñar distribuidores en la carretera principal.

En los diseños de tréboles parciales pueden proporcionar una capacidad superior a otras configuraciones, son apropiados cuando no se tienen derechos de paso no están disponibles o se utilizan algunos movimientos de flujo cuando son desproporcionados.

En las intersecciones en diamante son más comunes para las intersecciones en una carretera principal cuando existen instalaciones menores, y está limitada por la capacidad de rampas, cuando existen volúmenes altos

podrían impedir el uso de diamantes a menos que se tenga señalización adecuada.

La distancia de visibilidad de la estructura debe ser al menos tan larga como la necesidad para detenerse y preferiblemente más larga y para las salidas se prefiere la distancia de visión. Cuando se tiene un entorno urbano es más complicado debido a que el análisis es mucho más complejo para poder desarrollar la alternativa.

La alineación final es compatible, tanto horizontal como vertical, en el sitio de intercambio, en las zonas urbanas, deben de integrarse a un diseño de sistema en el lugar debe considerarse de forma individual, por lo tanto, se puede desarrollar varias combinaciones alternativas para su análisis y comparación.

1.3.3.2. Alineación, perfil y la sección transversal

La presencia de una estructura es una obstrucción que no debe ser aumentada por inconsistencias que pueden provocar accidentes, la alineación, perfil y sección deben de ser consistentes, el diseño geométrico debe ser mejor que el diseño de la carretera o de la autopista esto por causa de la restricción a causa de pilares, muelle, bordillos y rieles. Una intersección a nivel debe ser tangente y las pendientes deben ser suaves tanto como sea posible, pero se debe ser consiente que las condiciones del lugar marcarán la forma adecuada, y las distancias de visibilidad deben ser iguales o mayores que los mínimos recomendados para ciertas condiciones.

La alineación y el perfil en las autopistas a través de un intercambio deben ser de las planas y con bastante visibilidad, esto para la carretera principal. Algunas de las cosas que se deben de evitar son las siguientes:

- Las curvas horizontales cerca de una cresta pronunciada se deben de mantener al mínimo y tiene que satisfacer la necesidad de diseño para las condiciones del lugar y de la carretera.
- Evitar las pendientes muy pronunciadas debido a que esto hace que se ralenticen los vehículos más pesados reduciendo el flujo vehicular dentro de la intersección.
- El movimiento lento a través de los vehículos también fomenta el corte brusco de los vehículos que salen y entran en las carreteras.
- Cuando se tiene una intersección sin rampas, la alineación y la sección transversal no presentan mayor inconveniente, pero si este se ensancha mediana o muelle central la cual se reduce para economía central.
- En una carretera cuando esta está dividida, se debe proveer de giros a la izquierda como a la derecha que pueda implicar el ensanchamiento de la sección transversal, para un carril combinado de cambio de velocidad y almacenamiento.
- Una carretera que tiene cuatro carriles puede transportar bastante tráfico se pueden justificar los giros a la izquierda a nivel, proporcionando rampas adecuadas para maniobras de giro a la izquierda.

Para condiciones de economía y seguridad en los movimientos dentro de las carreteras se debe tratar de que las intercepciones sean en ángulo recto o lo bastante cercano, los ángulos agudos, requerirán mayores áreas para realizar movimientos dentro de las mismas incrementando los peligros y se limitara la visibilidad, sobre todo de los conductores de vehículos pesados. Se debe realinear las intersecciones a un ángulo casi recto ya que beneficia de manera económica, esto cuando idealmente se alcancen velocidades similares dentro de la carretera secundaria a la carretera principal. Una de las formas de transformar intersecciones que tienen ángulos agudos es realizar dos intersecciones tipo T agregando una curva corta en cada acceso de la carretera secundaria con lo cual

se logra que la intersección se traslade hacia adelante, para lograr que suceda el tráfico de la vía secundaria debe ser menor que el de la principal.

También se debe evitar curvas cerradas, ya que el efecto que produce en el conductor es que se introduzca dentro del carril contiguo generando conflictos potenciales o incrementándolos, perdiendo cierta eficacia dentro de la señalización vertical y horizontal en la intersección por falta de tiempo.

1.3.3.3. Medianas

Se debe evitar construir medianas con bordillos en puentes que tengan longitudes de 30 metros o menos, esto cuando existan carreteras de cuatro o más carriles sin división central o se pueda tener una mediana de 1,20 metros de ancho.

1.3.3.4. Restricciones laterales

El ancho de la mediana debe ser al menos de unos 3,0 metros, esto permite la construcción de hombros de 1,20 metros de ancho de cada lado, cuando se tienen carreteras que tienen 6 o más carriles se recomienda una mediana de 6.6 metros esto para dejar hombros aproximadamente de 3,0 metros dejando una barrera rígida al medio. Deben ser diseñadas las carreteras de alta velocidad para tener bordillos continuos debido a los drenajes para la rápida evacuación del agua pueden estar a la izquierda y a la derecha. Se debe dejar una sección lo suficiente despejada, se recomienda que las pilas, estribos y columnas se protejan esto para la seguridad de la estructura.

1.3.3.5. Altura libre del paso inferior

La mayor altura del vehículo de diseño debe ser de 4,10 metros, pero pueden alcanzar una altura cuando están cargados hasta 4,40 metros, pero se debe poseer una altura libre desde el vehículo cargado y la cara inferior de la estructura de por lo menos de 0,30, una altura recomendable puede ser de 5,50 metros esto por si existiera alguna perdida de altura.

1.3.3.6. Separación de niveles distancia horizontal

Esta distancia dependerá de la velocidad de diseño, de la pendiente longitudinal y de la altura de subida o de bajada, en la siguiente tabla se puede observar algunos parámetros preliminares cuando existe pendiente entre el 2 % y 7 % con velocidades entre 50 y 110 kilómetros por hora.

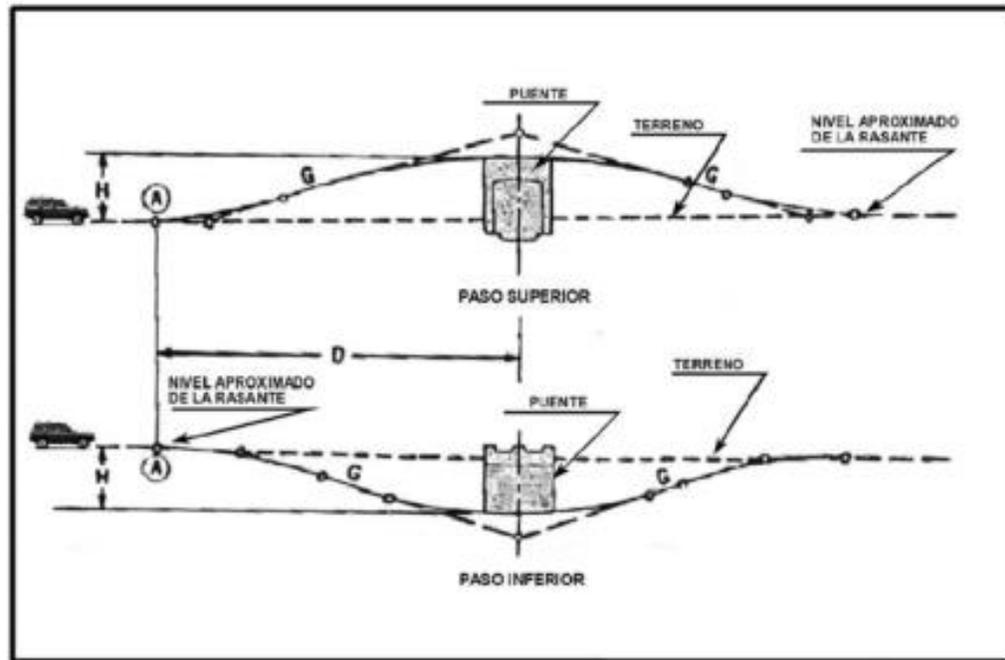
Tabla V. Distancias mínimas para realización de separación de estructura

Velocidad, km/h y Pendiente		Valores de H**, metros			
VELOCIDAD	PENDIENTE	4	6	8	10
50	5%	130	170	210	250
50	7%	-	160	180	210
60	4%	160	210	260	310
60	6%	-	190	220	250
80	3%	220	290	350	420
80	5%	-	-	300	340
100	2%	330	400	460	530
110	3%	-	350	410	480

Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 258.

La siguiente figura muestra la distancia requerida en un terreno plano y que puede utilizarse para diseño preliminar.

Figura 12. **Altura libre H para terrenos planos para paso inferior o superior en estructura a desnivel**



Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 255.

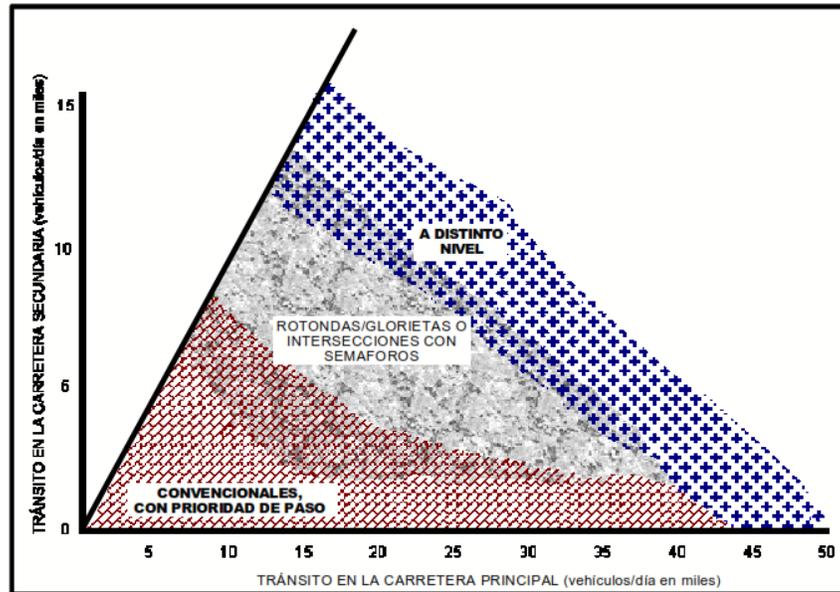
Donde la distancia D es la suma de curva vertical de entrada, más la longitud de la tangente y la mitad de la curva vertical en la cresta o en el columpio de la estructura, y la cual se basa en la distancia mínima de visibilidad de parada, siendo recomendable una curva mucho mayor. La diferencia típica en elevaciones es de 6,0 a 6,6 metros, esto tomando en cuenta que la altura libre vertical como el peralte de la estructura.

1.4. **Proceso de selección de diseño**

- Se deben tener presente y considerar los siguientes aspectos generales para poder definir un diseño:

- Se debe realizar un estudio de tránsito actuales y proyectados, estudios en hora pico o punta y la composición de tipos de vehículos que transitarán dentro de la intersección.
- También se deberían realizar estudios de movimiento peatonal, siempre y cuando se justifique la realización del mismo.
- Objetivos de la intersección para el funcionamiento de la carretera.
- Estudios de atractivos turísticos y de la protección ambiental.
- Estudios del entorno para el diseño además también de la capacidad, del nivel de servicio, el costo de la construcción y el mantenimiento que se le tiene que dar.
- En el caso de Guatemala las intersecciones siempre estarán determinadas por el costo económico en muchas ocasiones las intersecciones a nivel son mucho más económicas que las opciones a desnivel o intercambios.
- Para poder tomar una idea de que intersección elegir, utilizando los volúmenes de tránsito de la carretera principal con la secundaria, se le puede observar en la figura No.13.

Figura 13. Tipos de intersecciones con diferentes volúmenes de tránsito



Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 185.

El diseño de las intersecciones está sujeto a las condiciones variadas de operación de tránsito y están relacionadas a las características operativas que se desean. En el caso de las intersecciones rurales y suburbanas están caracterizados por aspectos operativos y de seguridad como lo ilustra la siguiente tabla.

Tabla VI. Aspectos operativos y de seguridad

Relaciones	Intersecciones Rurales	Intersecciones Suburbanas
Operativas	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de alta velocidad en los movimientos de tránsito directo. • Fácil travesía para conductores nuevos en la ruta. • Disposición de movimientos cómodos en los giros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad para absorber el crecimiento del tránsito. • Control de accesos a lo largo de las rutas del tránsito mayor. • Mantenimiento de capacidad en las intersecciones principales dotadas de instalaciones semaforizadas.
De seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigación de conflictos en las colas de vehículos, ante maniobras de giro. • Proveer una configuración geométrica adecuada, y distancias de visibilidad apropiadas para la selección y aceptación de espacios o brechas entre vehículos. • Evitar situaciones sorpresivas para los conductores de los vehículos, por elementos de diseño inadecuados en la intersección 	<ul style="list-style-type: none"> • Previsión de ángulos de conflictos por la parte trasera de los vehículos en intersecciones congestionadas. • Localización de problemas relacionados con peatones. • Eliminación o mitigación de los conflictos en los accesos de las vías.

Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 184.

1.5. Volumen de tránsito

Se debe poseer la información adecuada sobre la intensidad del movimiento de tránsito dentro de cualquier carretera para el periodo de diseño seleccionado, esto se puede utilizar tanto una carretera nueva o una ampliación. Esta medición se puede obtener mediante conteos sistemáticos en forma mecánica o manuales, haciendo aforos vehiculares o conteos dentro de las carreteras. En el caso de las intersecciones, los estudios volumétricos de tránsito se clasifican por la dirección de los movimientos, esto proporciona datos básicos para poder realizar caracterización de tránsito que pasara en la misma intersección.

1.5.1. Transito promedio diario anual o TPDA

Es un elemento primario para el diseño de carreteras, debido a que mide la cantidad de vehículos que pasan en una sección de carretera o por punto en específico que puede ser mayor de un día y menor o igual a un año, esto se divide por el número de días del periodo. Aunque este sistema de medición no es tan exacto debido a tiende a que en carreteras de alto volumen de tráfico se puedan duplicar la cantidad de vehículos que transitan en promedio, realizando estaciones de registro de volumen que deben analizar las fluctuaciones de tránsito a lo largo de un año. El TPDA se ha tomado como un indicador numérico par el diseño de carreteras debido a sus características principales sean la circulación de vehículos y la fácil manera de obtener los datos, además de la caracterización de cada vehículo que pasa dentro del punto.

En la siguiente tabla se presentan se muestran los promedios diarios de vehículos que se utilizan para el diseño en carreteras en Guatemala de la Dirección General de Caminos.

Tabla VII. Características geométricas de la carretera

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS CARRETERAS EN ESTADO FINAL												
T.P.D.	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO (K.P.H.)	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERIA		DERECHO DE VIA (m)	RADIO MÍNIMO (m)	PENDIENTE MÁXIMA (m)	DISTANCIA VISIB PARADA *		DISTANCIA VISIB PASO	
				CORTE (m)	RELLENO (m)				MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)	MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)
3000 A 5000	TIPO "A"		2 * 7.20	25.00	24.00	50.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
1500 A 3000	TIPO "B"		7.20	13.00	12.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
900 A 1500	TIPO "C"		6.50	12.00	11.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
500 A 900	TIPO "D"		6.00	11.00	10.00	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
100 A 500	TIPO "E"		5.50	9.50	8.50	25.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
10 A 100	TIPO "F"		5.50	9.50	8.50	15.00						
	REGIONES:											
	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	50	100

Fuente: Dirección General de Caminos, Guatemala.

1.5.2. Tránsito de la hora pico

Se debe tomar en consideración la intensidad del tránsito a lo largo de un día, pero estas registran ciertas variaciones durante periodos definidos del día, cuando se da la hora pico se da situaciones de extremo flujo promedio, esto significa que en las 24 horas del día se dan eventos de extremo flujo que admiten cierto grado de tolerancia, pero esto puede provocar insatisfacción en la comodidad del conductor. Para poder medir la cantidad en la hora pico se debe establecer una estación de registro permanente, mostrando la gráfica en la ordenada los volúmenes registrados de mayor a menor, estos como porcentajes de TPDA, en tanto las abscisas se refieren a la cantidad de horas transito que es mayor por año.

La hora máxima puede llegar a representar entre el 25 hasta el 38 % del TPDA, en carreteras urbanas el volumen de tránsito se puede ubicar entre 8 al 12 %, se puede utilizar un valor de 10 % del TPDA para diseñar, a falta de investigaciones de tránsito.

1.5.2.1. FHP (factor hora pico)

Se expresa menor a la unidad, entre la cuarta parte del volumen de tránsito durante la hora pico y el volumen mayor que se registró durante un lapso de 15 minutos, es este caso se están asumiendo las condiciones más exigentes de la demanda.

Este factor suele utilizarse cuando se tienen una gran cantidad de fluctuaciones del movimiento vehicular durante la hora máxima, afectan las decisiones operativas y de diseño de carreteras, se dice que si es menor que 0,85 las variaciones son representativas.

1.5.3. Composición de tránsito

Depende de la ubicación se debe tomar en cuenta los vehículos que transitarán en la carretera porque, si existe una tendencia a que circulen vehículos pesado, como camiones, autobuses y vehículos grandes, pueden afectar el flujo, afectando el diseño geométrico de la carretera.

1.6. Movimientos de tierras

Consiste en la operación de cortar y remover cualquier tipo de material no importando su composición o sus características, movilizándolo tanto adentro del proyecto como fuera del mismo, esto para ser utilizado en la construcción de

terraplenes, rellenos y cualquier otra obra de construcción de carreteras. Se determinan en base a las secciones transversales obtenidas en todo el eje de la vía. Cada uno de los perfiles transversales se debe ubicar a través de análisis de taludes y el diseño horizontal, transversal y vertical de la explanación con obteniendo las áreas de excavación o las de terraplén que sean necesarias.

Las cantidades de movimiento de tierra se pueden determinar por medio de secciones transversales con la elaboración de diagramas de masas por medio de programas de computadoras para poder datos aproximadas del movimiento de tierra dentro del proyecto.

1.6.1. Corte

Previamente al inicio de los trabajos de construcción de carreteras, se deben ejecutar las operaciones de limpieza y destronque, limitándolos por el derecho de vía la cual se debe limpiar, chapear y remover raíces. El corte es la excavación dentro de los límites de construcción de materiales no clasificados, esto para utilizarlo en la construcción de las carreteras y dependiendo de tipo, calidad o cantidad de material a remover.

1.6.2. Relleno

Es el material que se coloca y se compacta de manera que se pueda levantar su nivel y formar un apoyo para la construcción de una obra. Se les denomina terraplenes, en este se debe retirar todo material orgánico de la superficie y realizar los trabajos de limpia, chapeo y destronque, también se deben remover todas las construcciones existentes en el lugar. El terraplén debe ser construido en capas, iniciando en la parte inferior con capas de anchos parciales y aumentando tales anchos.

Todos los terraplenes se deben construir hasta llegar a la subrasante de diseño y realizando capas paralelas entre ellas, necesitará que existan personal encargado de la topografía, esto para ir colocando la información que determinara el espesor de las capas. Se depositará el material para su posterior compactación, homogenización y humedecimiento de los materiales por medio de motoniveladoras y vibro compactadores.

La compactación de los terraplenes debe ser al menos del 90 % de la densidad máxima, esto siendo determinado por el método AASHTO T 180 y los últimos 0,30 m se deberá compactar al 95 % de la densidad máxima.

1.7. Derecho de vía

Es la franja de terreno que normalmente adquiere el estado, esto para la construcción de una carretera que tenga un balance adecuado de todos los componentes dentro de la misma carretera esto dependiendo la clasificación de la misma carretera. Se requiere anchos apropiados ya que pueden existir variaciones por las solicitudes que tendrá el proyecto en general, pueden existir variaciones por intersecciones, mayores distancias de visibilidad y también exigencias para la eliminación de ruidos que son contaminantes ambientales. Para la determinación del derecho de vía de una carretera se debe determinar el periodo de diseño debido a este periodo se obtendrá la cantidad correcta de ancho de vía siendo está calificada como mínima.

Este espacio se ha pensado como factor de seguridad debido a los imprevistos suscitados o desarrollados durante el tiempo, por ende, el derecho de vía en muchas ocasiones debe ser bastante generoso, también siendo un factor importante el suelo ya que si existe una capacidad de suelo baja se deberá considerar para la obtención de material de mejor calidad.

En el caso de Guatemala el derecho de vía es un inconveniente debido a la invasión del mismo por parte de la población, muchas veces estos espacios permanecen por largo tiempo sin utilizar provocando inconvenientes dentro de la ampliación de una carretera, esto se puede observar en la carretera CA-1 que pasa directamente en Chimaltenango y el derecho de vía fue ocupado por diferentes personas para negocios personales, y esto ha provocado gran afluencia vehicular dentro de esta carretera.

Figura 14. **Invasión de derecho de vía**



Fuente: Prensa Libre. *Comunidades de Chimaltenango.*

<https://www.prensalibre.com/ciudades/chimaltenango/en-15-dias-entra-en-vigor-la-ley-que-autoriza-expropiacion-de-terrenos-para-construir-el-libramiento-de-chimaltenango/>. Consulta: marzo de 2019.

Este tipo de inconvenientes deben de ser vigilados por autoridades responsables del mantenimiento de las carreteras y que deben estar apegadas a ley, en Guatemala existe un Acuerdo Gubernativo él fue hecho en 1942 en el

gobierno de Jorge Ubico donde para las carreteras principales era de aproximadamente de 25 metros desde la línea central las mismas no se ha respetado en el país.

En algunas soluciones, se puede ampliar el derecho de vía en calles marginales, y tienen la finalidad de distribuir de mejor manera el tránsito a las diferentes propiedades colindantes, así libera de manera bastante eficiente las vías principales, también puede afectar el espacio físico de la arteria principal. Cuando existen problemas de adquisición de derecho de vía para se puede reducir el ancho de la franja a unos 30 metros, se deberán hacer consideraciones especiales para el diseño de la carretera dentro de un área rural.

2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA VEHICULAR DE LA COLONIA PATRICIA DE ARZÚ

2.1. Historia del Tejar

Según la dirección municipal de planificación de la municipalidad del Tejar el origen es Pre-Hispánico Kaqchikel. Fue conocida como Tejar de Ortiz y también como San Sebastián El Tejar, su nombre fue puesto porque este produce ladrillo y teja, y tuene alrededor de 80 ladrilleras, este lugar en la época precolonial perteneció a la extensa región de Sacatepéquez del gran reino Kaqchikel.

Figura 15. Empresa de fabricación de ladrillo



Fuente: Editorial Restauero. *Los tejeros y ladrilleros del Tejar.*

<https://editorialrestauro.com.mx/los-tejeros-y-ladrilleros-del-tejar-chimaltenango-guatemala-un-ejemplo-de-artesania-de-la-construccion-en-el-siglo-xxi/>. Consulta: marzo de 2019.

El 11 de octubre de 1825 según la constitución política de la República de Guatemala, fueron declarados los pueblos que integran su territorio, dividiéndolos en 11 distritos y varios circuitos, por lo que El Tejar aprecia dentro del circuito Sacatepéquez y Chimaltenango. Luego el 27 de agosto de 1836. El Tejar se adscribe al circuito de Chimaltenango.

La iglesia católica fue reconstruida después del terremoto de 1976. Hay diferentes religiones como la evangélica, testigos de Jehová, adventista y mormones, pero la que predomina es la católica; cada una con sus respectivos templos.

La Fiesta titular es llevada a cabo el 20 de enero, es celebrada en honor San Sebastián El Tejar. También se tienen otras celebraciones como la de la Santísima Virgen de Mercedes celebrada el 8 de septiembre y la feria del 20 de octubre.

2.1.1. Localización geográfica

El municipio de El Tejar pertenece al departamento de Chimaltenango geográficamente se ubica en la latitud $14^{\circ}38'46''$, longitud $90^{\circ}47'30''$, con una altitud de 1 765 metros sobre el nivel del mar.

Figura 16. **Delimitación del Tejar, Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Maps.

2.1.2. Ubicación y accesos

Por la carretera interamericana CA-1 al oeste-noreste, 3 km. A la cabecera departamental del municipio de Chimaltenango desde el Tejar por la misma CA-1, 1,52 km. Hacia la ciudad de Guatemala. Tiene asimismo caminos, roderas y veredas que unen a sus poblados y propiedades rurales entre sí y con los municipios adyacentes.

2.1.3. Colindancias físicas

El municipio de El Tejar cuenta con un área geográfica de 144 km.² y limita con sus alrededores de la siguiente manera:

- Norte San Juan Sacatepéquez y Chimaltenango
- Sur Parramos
- Este San Juan Sacatepéquez, Zumpango y Santo Domingo Xenacoj
- Oeste Chimaltenango

2.1.4. Suelo

En relación con la tenencia y el uso de la tierra, El Tejar posee varias tierras municipales, entre los que se pueden mencionar Tzunjuyu I y II, Astillero Municipal San Miguel Morazán y el Astillero Municipal Santo Domingo. Estas tierras municipales son utilizadas para el cultivo de siembras, especialmente el maíz y la reforestación, debido a los constante incendios en el área.

2.1.5. Flora y fauna

Por la deforestación en el área rural son poco los animales que aún se conservan, existen en las montañas, maderas para construcción y maderas, finas entre estas: ciprés, pino, Matiliguatate, entre otros.

2.1.6. Clima

El clima de El Tejar es templado y frío en los meses diciembre, enero y febrero. En el mundo existen aproximadamente 60 clasificaciones para el clima y en Guatemala se utilizan dos: Clasificación climática según Thornwhite y clasificación Climática según Köppen.

Para el municipio de Chimaltenango y sus alrededores las condiciones climáticas bajo esta clasificación son Sistema Thornwhite BB'2: Bosque húmedo templado y sistema Köppen es Cwbig: Templado húmedo con invierno benigno, presencia de lluvias en verano, fresco, isothermal, con diferencia en temperaturas entre el mes más frío y el más caliente.

2.1.7. Población

Por ser un municipio que cuenta con mayor porcentaje de población ladina, el 95 % habla el idioma castellano, tanto en el área urbana como en el área rural y el 5 % el idioma Kaqchikel. La población actual para el municipio es de 30 176 habitantes, siendo el 51 % mujeres y un 49 % hombres en su mayoría perteneciente a la etnia ladina. El crecimiento poblacional a partir del año 2002 y 2009 tiene una tasa de crecimiento de 6,21 %, a partir del 2009 hubo un descenso en el porcentaje bajando a 4,52 % por año, se proyecta que para el año 2020 habrá una población aproximada de 34 286 habitantes en el municipio.

2.1.8. Actividades productivas

La mayoría de los habitantes se dedican a la agricultura especialmente al maíz, frijol, rosas, ayote, güicoy, tomate y miltomate. Como industria, aunque en grado menor que antes la elaboración de ladrillo y teja de barro, de donde le provino su nombre.

2.1.9. Salud

En el municipio existe un puesto de salud el cual ha sido remodelado actualmente y el mismo se encuentra a una cuadra del parque central y es atendido por un Doctor en medicina general, dos enfermeras auxiliares graduadas, EPS en medicina general y personas voluntarias. En la Aldea San Miguel Morazán se cuenta con una unidad mínima sin ningún tipo de mobiliario y equipo, es atendido por el mismo personal del puesto de salud de El Tejar, únicamente el día jueves de cada semana.

Actualmente en el área Urbana y rural existen doce comadronas y dieciséis promotoras de salud, quienes reciben talleres de capacitación periódicamente en el puesto de salud del municipio y se mantienen en constante comunicación con este.

2.1.10. Gestión integrada del recurso hídrico - fuentes de agua

El municipio este beneficiado por varios nacimientos de agua, tres están ubicadas en Finca Santo Domingo llamados Santo Domingo I, II y la Finca, además están el nacimiento Zapotillo, San Miguel, Los Sanjuaneros y Barranca Grande, siendo la Municipalidad propietaria de estos.

Entre las poblaciones quienes hacen uso de las mencionadas fuentes de agua están Cantón Rastro Viejo, Eucalipto, Colonia San Juan, ubicadas en la zona urbana. Las aldeas San Miguel Morazán y Santo Domingo El Rosario, también se benefician de los nacimientos.

Los nacimientos son utilizados para el riego de cultivos en especial en el área de la aldea Santo Domingo El Rosario (sur de municipio).

Entre sus accidentes hidrográficos están: El rio Guacalate y Motagua, y entre sus riachuelos están Barranca Chiquita, Barranca San Miguel, Barranca Grande, el Zapotillo y Los Baños.

Las zonas de recarga hídrica del municipio no cuentan con área protegidas, pero tiene áreas boscosas en 1 432 hectáreas, que están compuestas por bosques húmedos montanos subtropical, en donde la vegetación natural constituye el 31 % de la extensión territorial del municipio. Existen unas

736 viviendas que usan leña, siendo su consumo de unos 5 096 metros cúbicos, según censo, INE.

El uso apropiado para este tipo de zonas es filocultural forestal, en donde el maíz, frijol, trigo, verduras y frutales como durazno, pera, manzana y aguacate.

2.1.11. Gestión de riesgos

El proceso de planificación dentro de su metodología contemplo el tema de análisis de riesgo a través de un taller participativo, en donde se identificaron amenazas y vulnerabilidades que permiten conocer la percepción de los actores locales en relación con el grado de riesgo que se presenta en su municipio.

Las amenazas representan las probables manifestaciones de un fenómeno natural o causado por la acción de los seres humanos (antrópico) que pone en peligro la vida de las personas, la infraestructura y el ambiente.

En el municipio de El Tejar, las mayores amenazas naturales son las inundaciones, crecidas de ríos, derrumbes y deslizamiento. Algunas colonias y aldeas, como santo domingo El Rosario, el Barreal, Calvario, Sector Chiri, Calle Real y el Camino a Chipoton registran fuertes inundaciones y algunas se ven afectadas por las diferentes correntadas de aguas pluviales.

Las causas de esta amenaza obedecen a diversas razones, tales como asentamientos en zonas inundables, la falta de un adecuado drenaje para las aguas pluviales, así como deposiciones de los desechos sólidos en los ductos de alcantarillados.

Los derrumbes son otra amenaza que afecta a varias colonias de El Tejar, entre ellas San Juan de Dios, Aldea Santo Domingo El Rosario, San Miguel Morazán. Esto es ocasionado por la ubicación de las viviendas, las cuales están asentadas en las proximidades del barranco, por lo que estas familias se encuentran en alto nivel de riesgos.

También están los deslizamientos, en donde los lugares más afectados son Colonia 20 de octubre y Patricia de Arzú ubicadas en la zona urbana en la parte suroeste del municipio, como consecuencia de la tala descontrolada de los bosques de laderas. Tanto los derrumbes como los deslizamientos han ocasionado pérdidas humanas y materiales.

Otra amenaza que se puede identificar son los incendios forestales y la deforestación de los pocos bosques que aún conserva el municipio, entre ellos el bosque municipal Tzunjuyu y los cerros que están al nororiente del municipio. Es posible que las actividades de tala indiscriminada de los bosques se vean estimulada por la existencia de fábricas de tejas y ladrillos que demandan grandes volúmenes de leña.

2.1.12. Vulnerabilidades

Para realizar el análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y su caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso, en base a lo anterior, una vez identificadas las vulnerabilidades, se puede deducir, que la vulnerabilidad del área urbana en el aspecto físico estructura, es muy baja. Esto obedece a que menos del 25 % de las viviendas están ubicadas cerca de algunas de las amenazas como deslizamientos e inundaciones, además la calidad de construcción de las viviendas en general es buena.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta y que repercute en que el nivel de vulnerabilidad sea bajo, es la buena organización comunitaria que se tiene, siendo este factor importante para la mitigación de estas amenazas, aunque se presentan debilidades en la capacidad de respuesta inmediata a los desastres.

También habrá que agregar, que en el área urbana en donde existen accesos a servicios sanitarios, a drenajes, agua potable, energía eléctrica y gran parte es cubierta por el tren de aseo hace que el grado de vulnerabilidades sea más bajo en comparación a las áreas en donde no está garantizada la misma cobertura de los servicios básicos antes mencionados.

Sin embargo, no en todos los factores se da un nivel bajo. En el tema ambiental, cultural y político institucional, en especial el indicador de la autonomía local, el nivel de vulnerabilidad es muy alto, casi la totalidad de las familias no identifican las causas naturales y sociales que provocan los desastres, además no mantienen una actitud altamente previsoras antes de estos eventos y carecen de autonomía para tomar decisiones.

En el área rural, se percibe que tanto la ubicación de las viviendas, como la calidad de estas, representan un alto nivel de vulnerabilidad, casi la totalidad de los hogares se encuentran ubicada muy cerca de amenazas, especialmente frente a los derrumbes e inundaciones.

2.1.13. Saneamiento ambiental

A pesar de que la municipalidad brinda un buen servicio de recolección de desechos sólidos se identifica la existencia de focos de contaminación, derivados de basureros clandestinos. Se han reconocido la existencia de alrededor de seis basureros clandestinos. En relación con las aguas residuales, lamentablemente

las ubicaciones de estos focos de contaminación están en los alrededores de los nacimientos de aguas, que provocan contaminación en agua para riego y consumo humano, generando plagas y enfermedades. Los más perjudicados son: San Miguel, El Zapotillo, la Finca y Aldea Santo Domingo.

2.1.14. Educación

El proceso de la educación en los departamentos ha sido bastante lento considerando la parte central del país por lo cual los índices de educación a nivel tanto básico como diversificado son bastante bajos comparando con el nivel de primaria, pero para el departamento de Chimaltenango nos arrojan los siguientes datos.

2.1.14.1. Cobertura y nivel de educación

La tasa bruta de escolaridad es de 92,20 % en el nivel primario. En el ciclo básico es de 50,71 % y el de diversificado es de 3,28 %. Es evidente como la cobertura al avanzar los niveles educativos muestra una clara tendencia a la baja. La tendencia anterior, también es reportada en la tasa neta de escolaridad, estando el nivel primario con una cobertura del 80,94 %, el básico con 35,85 % y el diversificado con 1,48 %. Es evidente la falta de oferta educativa a los jóvenes en los niveles de diversificado.

En relación con el ODM, aun el municipio no cuenta con la capacidad de generar una tasa de 100 % de escolaridad en primaria, a pesar de un alto nivel de logro. La cobertura educativa del municipio del El Tejar, según los indicadores del MINEDUC, reportan un total de 12 establecimientos del nivel primario, 9 del nivel básico y únicamente 2 que cubre el nivel de diversificado.

Al respecto habría que señalar diferencia marcada en cobertura educativa entre el nivel primario y básico. Cabe además destacar el sector cooperativo que brinda alternativas de educación sin fines de lucro y sobre la base de un modelo asociativo de padres de familia y que por lo mismo puede representar un potencial de ampliación de la oferta educativa en zonas rurales y/o pobres, si contara con apoyo estatal.

2.1.14.2. Deserción y finalización

También es importante mencionar la tasa interanual, esta se puede conocer mediante los datos de inscripción inicial e inscripción final. Esto indica cuantos alumnos finalizan el ciclo escolar. La tabla siguiente muestra que en el nivel primario 118 alumnos no culminaron el ciclo escolar, señala que la tasa interanual en nivel primario es de 3,75 %, es decir que de cada 10 alumnos en nivel primario aproximadamente 4 abandonaron el año escolar.

Mientras que en el nivel básico la tasa interanual fue de 17 % y en el nivel diversificado fue 0, por lo que todos los alumnos inscritos culminaron el año escolar. Otra variable que es importante conocer es el porcentaje de alumnos promovidos, no todos los alumnos que finalizan el ciclo escolar son promovidos al grado inmediato, En el nivel primario se registran 201 alumnos no promovidos, dando un porcentaje de promoción de 93,36 %, mientras que el ciclo básico la tasa de promovidos fue de 57,69 % mucho mejor que la primaria. Sin embargo, en el diversificado el 84,09 % fueron promovido, siendo únicamente 7 alumnos reprobados.

2.1.14.3. Calidad y movilidad educativa

La calidad educativa es percibida por las poblaciones como buena, sin embargo, manifestaron en talleres participativos realizados por SEGEPLAN 2009, que las metodologías pedagógicas son deficientes, además, existen temas importantes relacionados con valores, medio ambiente, sexualidad, entre otros, los cuales no son proporcionado o enfatizados dentro de los diferentes centros educativos.

2.1.14.4. Analfabetismo

La tasa de alfabetismo del municipio de EL Tejar es de 92,6 % en la población entre 15 y 24 años, en donde el porcentaje de mujeres analfabetas es de 90,82 % y el de hombres es de 92,13 %.

2.2. Antecedentes históricos de la colonia Patricia de Arzú

La colonia fue creada en el gobierno del Presidente Álvaro Arzú junto a la primera dama Patricia de Arzú durante su gestión desde el 14 enero de 1996 a 14 de enero de 2000, se presentaron un grupo de personas de escasos recursos hace 25 años viajaron a la capital para pedir que se les otorgara un terreno para poder tener acceso a una vivienda digna, dirigiéndose a la que fue la Primera dama en ese momento, logrando establecer desde los primeros momentos un dialogo con Patricia de Arzú y ofreció su ayuda para la obtención de terreno para que la mayoría de personas tuviera un acceso digno a un terreno.

Después de un proceso administrativo Patricia de Arzú realizo un convenio donde ella se comprometía a financiar una parte del terreno, dejando un pago significativo para poder tener acceso al terreno que tenía que ser pagado por los

pobladores para poder obtener acceso a su terreno, el monto a pagar fue de Q 1 000,00 y podían también realizarse pagos parciales para poder tener el acceso a la escritura de sus terrenos. Las personas fueron beneficiadas ya que obtuvieron el acceso a terrenos económicos con dimensiones aproximadas de 5 por 10 metros.

Dentro de la misma colonia existe varios lugares importantes uno de los primeros es la Escuela Oficial Rural Mixta “Cantos Sanjuyu”, que tiene una capacidad de 250 estudiantes de primaria, existen también un predio de vehículos pesados dentro de la colonia, este guarda aproximadamente 30 vehículos pesado y además existe una granja donde también hay movimiento de vehículos pesados.

Figura 17. **Predio vehicular y granja**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Maps.

2.3. Coordenada geográfica de la Colonia Patricia de Arzú

Se ubica en el municipio del Tejar a una latitud de $14^{\circ}38'6.30''$ N y a una longitud de $90^{\circ}47'17.81''$ O, teniendo una colindancia con las residenciales San Miguel Buena Vista que se ubica con las coordenadas a una latitud de $14^{\circ}37'55.65''$ N y a una longitud de $90^{\circ}47'16.85''$ O.

Figura 18. Colonias afectadas



Fuente: elaboración propia, empleando Google Maps.

2.4. Población afectada

La mayor parte de la población que se encuentra en ese lugar son personas de escasos recursos, las dos colonias afectados tienen una población aproximada de 1 550 personas del cual 95 % es de ascendencia ladina y un 5 % de es de ascendencia Kaqchikel. Tiene un crecimiento poblacional estimado de

4,52 % por año en el municipio del tejar siendo este bastante alto en comparación a la media nacional, la colonia Patricia de Arzú tendrá un crecimiento aproximado de 2 900 a 3 200 personas en los próximos años afectará por la expansión urbana dentro del municipio.

2.5. Estudio de TPDA

Según la Superintendencia de Administración Tributaria el crecimiento vehicular en el departamento de Chimaltenango es del 4,92 % promedio en el año 2018, este aumento en la tasa de crecimiento vehicular bastante alta se utilizará para medir la cantidad de vehículos que habrá en el futuro dentro de las colonias afectadas.

Figura 19. **Conjunto de viviendas cercanas a la intersección**



Fuente: elaboración propia, colonia Patricia de Arzú.

El análisis de TPDA para ambas colonias solo existe una salida y una entrada para el lugar de intersección de la carretera principal, los resultados se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Vehículos que transitan por el lugar**

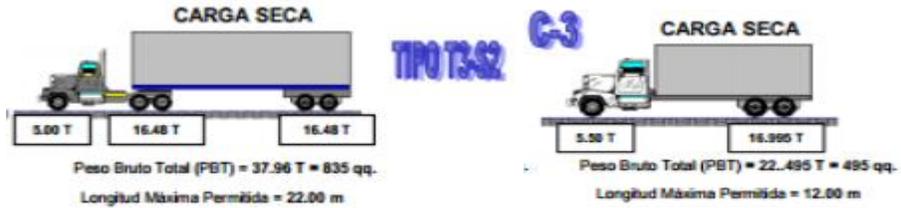
Tipo de vehículo		Cantidad de vehículos al día
Automóvil, panel	Pick-up,	35
Moto		15
Transporte pesado		17
Transporte liviano (Tuc-Tuc)	publico	10

Fuente: elaboración propia.

2.6. Medios de transportes más comunes en el sitio

Dentro del lugar la mayoría de los vehículos utilizados son pick-ups y automóviles sedan siendo estos aproximadamente 35 los que transitan dentro de la intersección, y se debe contar que existe un tránsito de tuc- tuc dentro de la misma. También existen el movimiento de transporte pesado, dentro de la misma se movilizan vehículos articulados tipo T3-S2 que son cabezales eje doble con tándem con eje trasero doble utilizado por MASECA que se encuentra cerca de estas colonias, además se utilizan para el transporte de animales porque existe una granja dentro del lugar y el transporte son camiones tipo C-3 que consisten en un automotor con tándem con eje de rueda doble.

Figura 20. **Pesos y dimensiones**



Fuente: Direccion General de Caminos. *Acuerdo Gubernativo 1084-92*. p.19.

Se debe agregar que existen en el lugar el uso de bicicletas particulares siendo estas un aproximado de 17 diarias, también existe el servicio de bicitaxi y se utiliza para salir directamente a la CA-1.

Figura 21. **Transportes alternativos**



Fuente: elaboración propia, colonia Patricia de Arzú.

2.7. Evaluación de riesgos de tránsito

La ruta principal Libramiento Chimaltenango tendrá un movimiento de flujo vehicular bastante grande y puede provocar una serie de problemas al transitar en una intersección, se deben evaluar todos los posibles riesgos tomando en consideración cada factor que puede ser determinante al momento de que cambien las condiciones del lugar, porque si una intersección se puede transformar en un punto de conflicto como ya paso en la antigua ruta, que tiene varios puntos de intersección que provocan grandes colas y el aumento en los tiempos de espera para el piloto, además de ser un problemas que genera inseguridad para los peatones, algunos riesgos son:

- Cantidad de personas transitando por la intersección, debido a que existen dentro del lugar lugares de trabajo y existen una escuela donde asisten niños de primaria los cuales también van acompañados por algún familiar generando una alta inseguridad tanto para el peatón como para el conductor.
- Maniobras altamente riesgosas, esto debido a la falta de educación vial por parte de muchas personas que transitan dentro del lugar.
- Exceso de velocidad por parte de los usuarios dando lugar a accidentes graves que pueden provocar muertes.
- Construcciones dentro de la intersección las cuales bloquean visibilidad de los usuarios.
- Servicio público que genera tránsito lento por ingreso de personas a las unidades dando como resultado tiempos de espera más largos y reducción del flujo en una de las vías.
- Vehículos pesados los cuales tendrán que realizar maniobras peligrosas.
- Giros de los conductores altamente peligrosos.
- Conductores y peatones que no respetan las señales de tránsito.

2.8. Tipo de suelo

El terreno está constituido según la clasificación SUCS como una arena limosa (SM), este tipo de material tiene valores de índice de plasticidad entre 0,73 y 4 el cual tiene finalidad de indicar el porcentaje de agua que está en el suelo para mantenerse en un estado plástico, este tipo de suelo al tener una graduación granulométrica optima y una humedad optima se puede obtener valores de compactación mayores del 95%, para carreteras es un porcentaje adecuado según las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes.

3. ALTERNATIVAS Y OPCIONES DE INTERSECCIONES

3.1. Dimensionamiento preliminar de las intersecciones para colonia patricia de Arzú

Parte del dimensionamiento es encontrar las condiciones mas adecuadas tanto del lugar como la estructura a nivel o a desnivel que puedan cumplir con las características más específicas de la topografía.

3.1.1. Análisis de opciones a nivel y desnivel de intersecciones

Podemos observar la necesidad de realizar una configuración adecuada por la cantidad de vehículos que pasaran en la zona afectada.

Figura 22. Áreas colindantes a la intersección



Fuente: elaboración propia, empleando Google Maps.

Figura 23. **Demolición de pozos y corte de terreno**



Fuente: elaboración propia, proyecto Libramiento Chimaltenango área de comunicación social.

La ubicación del lugar permite obtener una cantidad de opciones viables al momento de realizar el diseño, pero se debe explorar primeramente cuales son las opciones más destacadas o con mejor desempeño para la intersección. Una de las primeras herramientas a tomar es el análisis es el TPDA de la carretera principal y de la carretera secundaria, debido a que el flujo en la carretera secundaria tendrá una menor cantidad vehículos, pero este afectara el volumen de flujo principal dentro del punto de intersección, porque se debe hacer notar que la intersección presentará un punto de conflicto por la velocidad de diseño que tendrá la carretera principal, además que esto podría poner en peligro la vida

de los conductores si no se elige cuidadosamente el diseño correcto, por la alta incidencia de accidentes de tránsito que posee la actual ruta del país, se puede observar que la mayor parte de accidentes es por velocidad y la falta de educación de los mismos conductores. También existe otro punto a tomar en consideración es el derecho de vía donde se realizará la intersección en la cual existen construcciones aledañas haciendo que se encarecería el proyecto al querer obtener más espacio para la construcción, esto pone de manifiesto la necesidad de crear una solución más económica y que pueda adaptarse al lugar de manera que no afecte a las personas que habitan dentro de la carretera secundaria que son las que transitarán dentro de la misma. El suelo ubicado en lugar tiene una gran capacidad para poder ser trabajado por su facilidad de utilizarles para la construcción es bastante estable y ofrece buena capacidad de compactación.

También se debe considerar a los peatones que transitarán en esta intersección debido a que existen escuelas cercanas, y se debe considerar que los niños y las personas que transitarán dentro de la intersección podrían afectar el tránsito de las misma, además existen tanto empresas como agricultores locales que tienen que trasladar su productos hacia otros lugares para venderlos debiendo considerar el transporte que estas personas utilizaran ya que se debe diseñar para la condiciones de transporte del lugar.

Una de las características de hoy en día en la sociedad guatemalteca es la a la movilidad, tanto de personas y mercancías dentro de las carreteras haciendo que se aumenten los riesgos al momento de transitar, produciendo un número de accidentes más elevado. Por eso se debe mejorar la eficiencia y los niveles de seguridad debido a que cada día se vuelven una demanda social. En Guatemala un accidente de tránsito se por una serie de factores los cuales están relacionados con los usuarios, vehículos, la infraestructura, el tránsito y el

entorno. En la actual ruta interamericana la mayor parte de los accidentes que se producen a factores humanos y las condiciones de la infraestructura. En el caso de la infraestructura como una intersección debe de proteger de manera adecuada a los usuarios que la utilizaran, para esto el ingeniero debe tomar en consideración como se comportaran los conductores y los peatones dentro de la misma, debido a que puede pueden provocar accidentes por realizar maniobras que ponen en peligro a los que transitarán dentro de la intersección, parámetros como la seguridad, confort y la velocidad serán de suma importancia.

Las siguientes opciones pueden ser estudiadas, porque se consideran las más viables para el lugar, se pueden adaptar de una manera bastante sencilla a la realidad en que se encuentra en el lugar:

- Intersecciones de cuatro ramales
- Rotondas
- Intersecciones de tres ramales a desnivel
- Intersecciones de cuatro ramales tipo diamante

3.1.2. Intersecciones de cuatro ramales a nivel

Es intersecciones son para caminos con flujos vehiculares altos los cuales le dan cierta importancia a uno de los flujos.

3.1.2.1. Principales ventajas

Son carreteras que convergen en un mismo punto por lo cual las principales ventajas son:

- Tienen a ser utilizadas en carreteras que tienen alto flujo de volumen vehicular que pueden interceptar con intersecciones que contengan poco flujo vehicular, se debe notar que necesitan ser diseñadas de manera que los usuarios que ingresan a la carretera principal tengan la visibilidad necesaria diseñando los triángulos de visibilidad en ambos lados para el libramiento Chimaltenango.
- También se pueden diseñar cuando existan maniobras de giro no tan importantes, considerando el tipo de vehículo debido a que de esto dependerá el diseño y el planteamiento de la intersección.
- Se pueden agregar carriles para aumentar la capacidad de la intersección esto para generar la incorporación de los vehículos a la arteria o carretera principales, teniendo en cuenta que la velocidad y los tiempos de espera no deben ser afectados.

3.1.2.2. Principales desventajas

- La desventaja de este tipo de intersecciones es la cantidad de espacio a requerir dentro de la intersección, inadecuada cuando existen construcciones dentro del área donde se contempla la intersección.
- Tiene a tener una gran cantidad de accidentes debido a la velocidad flujo principal que es mayor que la de la carretera secundaria provocando movimientos inadecuados o inseguros para el conductor.
- La percepción del conductor al momento de transitar dentro de la intersección será de estreches y de peligro para el conductor de la carretera secundaria.
- Aumento en los tiempos de espera dentro de la intersección causando aumento gastos económicos para conductores y empresas por el retardo de la entrega de sus productos.

3.1.3. Rotondas

Son intersecciones donde varios flujos llegan a converger y esto condiciona la velocidad de todos los usuarios que llegan al lugar.

3.1.3.1. Principales ventajas para la intersección

- La velocidad debe ser uniforme para todos los vehículos esto para poder realizar la maniobra de entrecruzamiento, incorporarse y salir de la corriente de tránsito, sin realizar conflictos dentro de la misma.
- Tienen una alta aplicación cuando existen volúmenes de flujos medios, haciendo notar que deben ser equilibradas las entradas hacia la rotonda, tomando en consideración el flujo principal para la capacidad de la misma.
- Su funcionamiento es mejor donde no exista grandes cantidades de peatones transitando.
- Tiene gran visibilidad para los conductores.

3.1.3.2. Desventajas para la intersección

- No se pueden instalar en lugares donde ya existen semáforos
- Requieren grandes áreas cuando las velocidades de las carreteras son altas para las zonas de entrecruzamiento de cada una de ellas.
- Son muchos más peligrosas para los peatones ya que no ofrecen las mismas condiciones que otros tipos de intersecciones.
- No existen prioridades en las corrientes de tránsito en los diferentes accesos.
- Se necesitan grandes espacios para la creación de las mismas, esto encarece el proyecto debido a las dimensiones que necesitaría.

- Como no prioriza el movimiento para ninguno de los flujos se dan más retrasos debidos a que los conductores tendrán que disminuir la velocidad al llegar la intersección provocando el aumento del tráfico, esta disminución en a velocidad dará como resultado que el flujo de la carretera principal tenga mayores tiempos de retención haciendo colas en el lugar y a su vez los conductores realizarán maniobras inadecuadas creando nuevos conflictos de tránsito.

3.1.4. Intersecciones a desnivel con tres ramales

Son intersecciones que tienen como principal idea la incorporación de un flujo pequeño hacia un camino principal.

3.1.4.1. Principales ventajas para la intersección

- Suelen utilizarse donde los flujos vehiculares no aumentan demasiado o que su aumento no sea significativo.
- Necesitan derechos de vía bastante amplios.
- Tiene la finalidad de dar prioridad a movimientos en las autopistas beneficiando el flujo vehicular de la carretera principal, esto siendo beneficioso cuando existen caminos rurales los cuales no poseen flujos altos, trayendo consigo una mejor distribución del tráfico, velocidad del tráfico rápida y menores tiempos de espera dentro de la intersección.
- Tiende a tener un carril de aceleración el cual beneficiará, porque no tendrán que esperar para poderse incorporar a la vía principal.
- Es una intersección que tiene como objetivo brindar giros amplios para vehículos pesados, los cuales pueden generar menos afluencia vehicular.

3.1.4.2. Principales desventajas para la intersección

- Encarecimiento del proyecto por el derecho de vía debido al espacio que necesitara para su construcción y el desarrollo de los carriles de acceso a la carretera secundaria.
- Al momento de ingresar dentro de la intersección puede ser un punto de accidentes debido a todos los movimientos que los automovilistas realizan dentro de la misma.
- La carretera secundaria experimenta mayores restricciones debido a su poco flujo vehicular, con lo cual la movilidad se verá afectado por los cambios efectuados dentro de la misma.

3.1.5. Intersección de cuatro ramales tipo diamante

Estas son intersecciones que tienen grandes amplitudes para realizar maniobras de convergencia, cruce y divergencia.

3.1.5.1. Principales ventajas de la intersección

- El flujo vehicular dentro de las intersecciones es de alta velocidad lo cual hace que los vehículos que transitan tengan menos tiempo de espera.
- Los giros pueden realizarse tanto para la izquierda y derecha.
- No necesitan mucho espacio para el derecho vía no es un inconveniente, además para construirla los espacios no son tan grandes esto beneficia el costo directo de la obra, para lo cual el ingeniero debe tener un conocimiento de que vehículos transitarán dentro de a la intersección.

- Las rampas de acceso los vehículos no reducen la velocidad, por consiguiente, los vehículos ingresan sin demoras y sin perjudicar el flujo en la vía principal.
- Al existir calles aledañas a la intersección se pueden agregar las rampas para poder obtener un mejor desempeño de la intersección.
- Se necesitan giros amplios para poder realizar las maniobras adecuadas, por consiguiente, la necesidad de que no existen construcciones que puedan afectar los giros de los vehículos pesados que transitarán en la intersección.

3.1.5.2. Principales desventajas

- Se deben realizar para intersecciones que contengan flujos similares y grandes de vehículos, para este caso debe ser intersecciones que contengan flujos urbanos altos.
- Se debe de colocar semáforos en las intersecciones cuando los flujos en ambas sean demasiado altos con lo cual se beneficiará y se maximizará.
- Aumentos de conflictos en las rampas de salida hacia la carretera principal con lo cual se reducirá la capacidad del servicio que se espera.

3.2. Análisis de tránsito de la intersección

En el anterior capítulo se habló de los vehículos que diariamente transitaban dentro del lugar, de la composición y las características del mismo, se debe tomar en cuenta que las intersecciones se deben elegir si son intersecciones a nivel o a desnivel por medio del volumen de flujo vehicular que transitara dentro de la intersección, para lo cual el ingeniero debe descartar cualquier posibilidad antes de llegar a tomar una decisión que pueda hacer que el proyecto se viable o no económicamente.

3.2.1. Análisis volumen de tránsito en la intersección

En el caso de la colonia se debe saber que son aproximadamente 77 vehículos al día que transitan dentro de la misma, estos vehículos están divididos en pesados y livianos como está tipificado en la tabla no. 22, se debe agregar que la mayor parte de vehículos salen en el transcurso de la mañana en horario laboral, por consiguiente, la intersección mantiene un flujo alto en el transcurso de 5:00 a.m. a 8:00 a.m., agregando que existen una escuela donde asisten un aproximado de 250 niños que utilizan esta vía secundaria para transitar, se debe realizar una aproximación de los vehiculos que transitarán a futuro.

Para saber la cantidad de demanda de vehículos en los próximos 20 años dentro de la intersección se debe utilizar la fórmula de crecimiento geométrico que se presenta a continuación:

$$vf = Vo(1 + i)^n$$

Donde

vf =volumen proyectado o a futuro

Vo = Volumen de vehículos diarios (77)

i = Tasa de crecimiento vehicular (0,0492 dato obtenido de SAT)

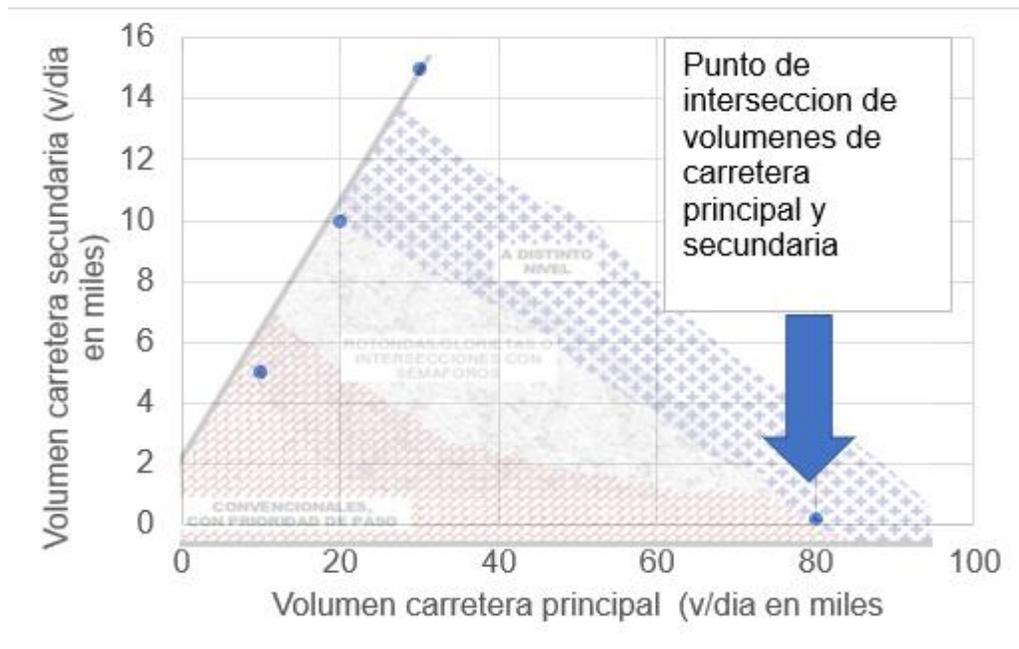
n = número de años proyectados (20 años)

$$vf = 77(1 + 0,0492)^{20}$$

vf =202 vehículos transitarán diariamente dentro de la intersección

La cantidad de vehículos es relativamente pequeña comparándola con la carretera principal, si se observa la siguiente gráfica se podrá ver cuál es la opción analizando los volúmenes de transito de ambas carreteras.

Figura 24. **Comparación de volúmenes de carretera principal y secundaria**



Fuente: elaboración propia.

Si se analiza el punto de intersección muestra que la forma adecuada para la intersección de carretera debe ser a desnivel o a distinto nivel como lo dice la gráfica anterior, esto debido a la cantidad de flujo que ambas carreteras poseerán, se eliminara conflictos por tráfico, además la geometría de la intersección a desnivel permite mayor seguridad para los usuarios de la carretera principal como los que están en la carretera secundaria, también estas intersecciones el flujo vehicular se puede aumentar y es flexible.

En la intersección a desnivel se puede controlar los accesos a la carretera principal beneficiando a largo plazo, debido a que muchos conflictos en las intersecciones son por el crecimiento vehicular debido a que los diseños no son

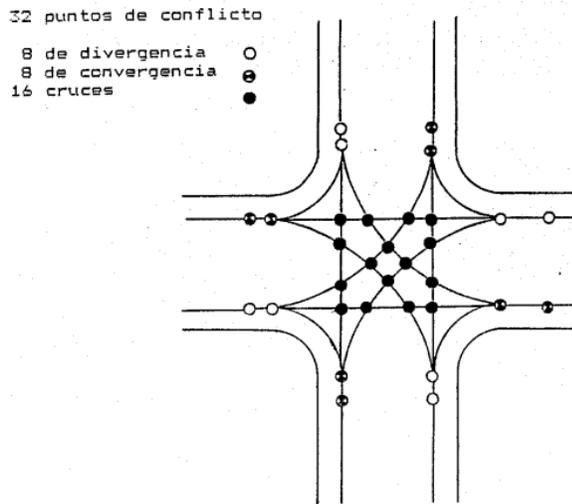
flexibles para posibles cambios en el volumen que transitara en una carretera. En el caso de Libramiento Chimaltenango siendo esta carretera nueva, requiere la agilización en las intersecciones siendo de vital importancia que el diseño evite que se transforme en puntos de conflicto.

3.2.2. Análisis de posibles conflictos vehiculares

La Colonia Patricia de Arzú posee distintos tipos de vehículos los cuales necesitaran realizar diferentes maniobras dentro de la intersección, el diseño debe permitir que las maniobras sean seguras, pero muchos de los problemas de la antigua ruta interamericana era la interrupción del tránsito vehicular por maniobras inadecuadas de los conductores donde los principales conflictos era la invasión del derecho de vía, intersecciones a nivel que producen que el flujo vehicular sea más lento, exceso de velocidad y la gran cantidad de accidentes que se producen en la ruta.

En el área de la intersección, el conductor puede realizar una serie de maniobras las cuales pueden ser de cruce, convergencia y divergencia, para el caso de la Colonia Patricia de Arzú se debe considerar que los usuarios realizarán una maniobra de cruce en la intersección a nivel presentando muchos puntos de conflicto, además de ser una de las maniobras que tienen mayor peligro atravesando la corriente de tránsito y producen una mayor cantidad de retrasos, como se pueden observar en la siguiente figura donde se muestra la cantidad de conflictos que se pueden observar dentro de una intersección de cuatro ramales:

Figura 25. **Intersección de cuatro accesos con un solo carril por sentido y sin control**



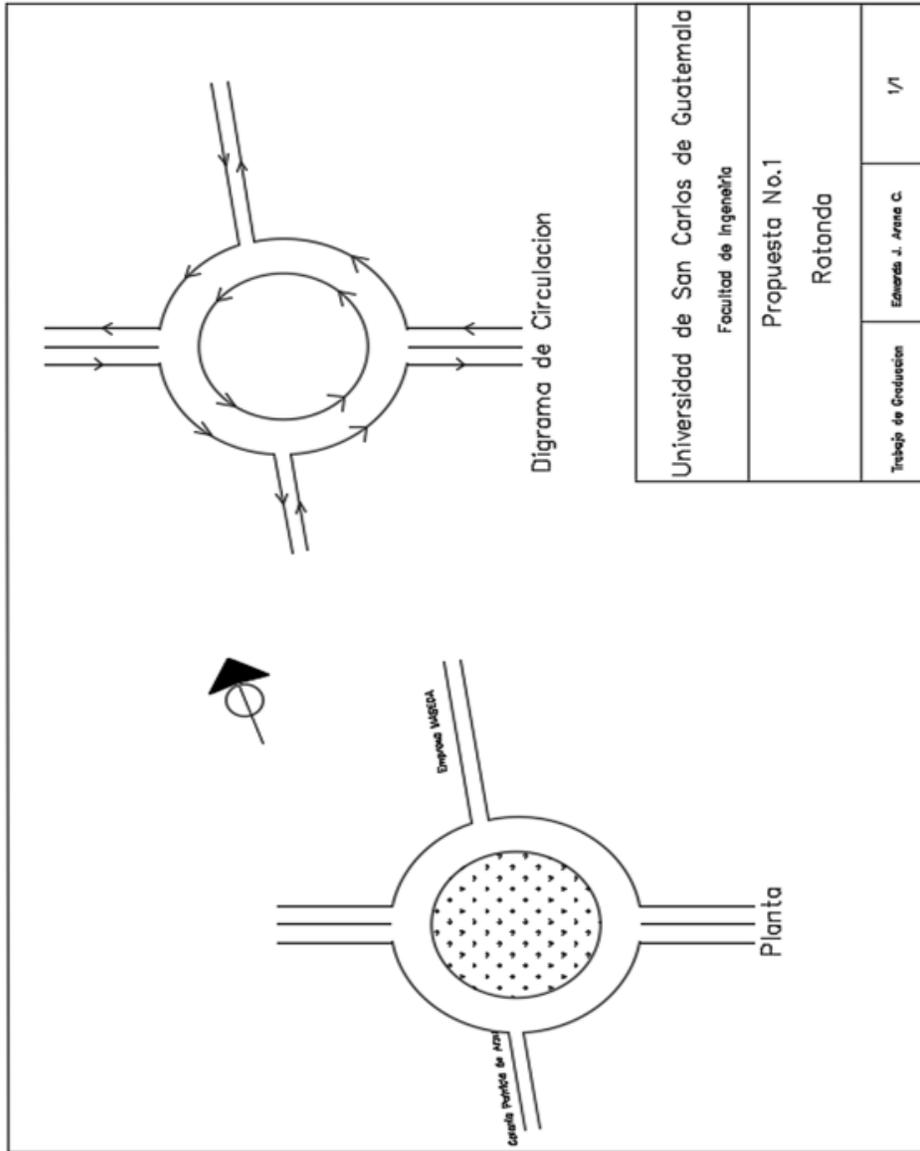
Fuente: LECLAIR, Raúl. *Manual centroamericano de diseño geométrico de carreteras*. p. 187.

Se debe evitar que la intersección sea un punto de conflicto mejorando las condiciones de la carretera secundaria para evitar que Libramiento Chimaltenango se vea afectado por peatones o medios de transporte que realicen retenciones las cuales son las que han afectado a la antigua ruta, para poder eliminar los posibles conflictos modificando el diseño considerando una intersección tipo rotonda o una intersección a desnivel tipo trompeta, las cuales modifican los tiempos de espera y dan mayores ventajas al momento de transitar dentro de la intersección.

3.3. **Propuestas y presupuestos para alternativas más adecuadas**

El esquema que se presenta a continuación de la rotonda nos indica la forma y el comportamiento de las vías en el lugar.

Figura 26. Propuesta no.1 rotonda



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Tabla IX. Presupuesto preliminar para rotonda (sin derecho de vía)

Descripción	Cantidad	Unidad	C. Unitario	Sub- Total
Trabajos preliminares				
Limpieza de terreno	1	Global	Q 1 200,00	Q 1 200,00
Replanteo topográfico y trazo	125,66	M2	Q 1,60	Q 201,06
Remoción de adoquín existente	103	M2	Q 47,90	Q 4 933,70
Demolición de drenajes existentes	1	Global	Q 1 610,00	Q 1 610,00
Excavación	2 111,1	M3	Q 55,30	Q 116 743,83
Diseño de intersección a desnivel	1	Global	Q 20 000,00	Q 20 000,00
			Subtotal	Q 144 688,59
Pavimentación				
Conformación y Compactación de Subrasante	719,3	M2	Q 12,33	Q 8 868,97
Colocación conformación y compactación de capa base	719,3	M2	Q 6,50	Q 4 675,45
Pavimento vehicular 0.15m	719,3	M2	Q 320,65	Q 230 643,55
Bordillo	219,9	M	Q 187,90	Q 41 319,21
			Subtotal	Q 285 507,17
Rotonda				
Caminamiento	60	M2	Q 285,62	Q 17 137,20
Remate de Caminamiento	10	M	Q 139,83	Q 1 398,30
Bordillo prefabricado	60	M	Q 134,02	Q 8 041,20
Iluminación	1	global	Q 719,00	Q 719,00
Jardinización	2 827,4	M2	Q 115,11	Q 325 462,01
			Subtotal	Q 352 757,71
Señalización vial				
Reducidores de velocidad	6,5	M2	Q 525,40	Q 3 415,10
Borde de calzada línea Continua 0.10 m ancho	38,8	M	Q 19,70	Q 764,36
Línea de Detención 0.40 m	7,8	M2	Q 138,00	Q 1 076,40
Paso de cebra	32	M2	Q 116,86	Q 3 739,52
Inscripciones (Alto)	10	M2	Q 163,45	Q 1 634,50
Flechas indicación de carril	8	M2	Q 690,15	Q 5 521,20
			Subtotal	Q 16 151,08
		Total		Q 799 104,55

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Presupuesto preliminar para paso a desnivel

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Subtotal
Trabajos Preliminares				
Limpieza chapeo y destronque	0,44	Ha	Q35 450,00	Q 15 598,00
Trazo y nivelación	22,6	m	Q 421,50	Q 9 525,90
Retiro de drenajes existentes	20,6	ml	Q 56,57	Q 1 165,34
Planos finales y diseño	1	Global	Q25 000,00	Q 25 000,00
Excavación no clasificada	1 810,90	m3	Q 52,50	Q950 507,25
			Subtotal	Q1 001 796,49
Puente de concreto armado en situ				
Relleno estructural (aproxches)	200	m3	Q 380,00	Q 76 000,00
Concreto 4000 PSI	20,6	m3	Q 5 820,00	Q 119 892,00
Acero de refuerzo	570	Varilla	Q 112,00	Q 63 840,00
Pavimento de 0.05 m	103	m2	Q 420,00	Q 43 260,00
Formaleta para losa	103	m2	Q 108,00	Q 11 124,00
			Subtotal	Q 314 116,00
Dispositivo de control de trafico				
Pintura termoplástica línea central	0,03	km	Q 21 404,32	Q 642,13
Pintura termoplástica para línea no central	0,03	km	Q 21 404,32	Q 642,13
Señales de tráfico informativa	2	U	Q 2 580,50	Q 5 161,00
Barandal	20,6	ml	Q 67,50	Q 1 390,50
Banqueta	1	Global	Q 12 560,00	Q 12 560,00
			Subtotal	Q 20 395,76
			Total	Q1 336 308,25

Fuente: elaboración propia.

3.4. Criterios para la selección final

Para poder determinar que alternativa es la más factible para la intersección se debe observar la figura No.22 esta dice que la intersección debe ser a desnivel considerando los flujos que existen dentro de la misma, basándose en la intersección será peligrosa debido a la maniobra de cruce que realizarán los vehículos de la vía secundaria. Esto da un primer punto de partida para analizar si es conveniente el intercambio de nivel o plantear una intersección a nivel que sea lo suficientemente eficiente.

Una de las opciones del lugar es la construcción de una rotonda que modifica la velocidad de los vehículos y no prioriza el movimiento vehicular para ninguna de las vías, otorgando orden al momento de realizar los diferentes movimientos dentro de la intersección, como antes se ha mencionado la intersección requiere que la canalización de flujo se constante en las diferentes vías que conectan el punto conflicto debido a esto el volumen de transito debe ser similar para que la intersección funcione de manera adecuada y los vehículos que vendrán dentro de la vía principal no realicen maniobras peligrosas que pueden llegar a ser fuertes percances vehiculares. Al no tener una priorización la velocidad de diseño de la vía principal se verá afectada al momento de ingreso los vehículos tendrán que detenerse esto aumentará el tránsito en la intersección provocando cierta cantidad de tráfico en el lugar, este se quiere evitar porque es uno de los problemas de la antigua ruta. Este tipo de intersecciones presentan otro tipo de problemas los cuales son un factor muy importante y es el derecho de vía, el cual dentro de las intersecciones representa un problema por la adquisición de la tierra dentro de lugar, debido a que existen construcciones alrededor de la intersección, son viviendas y muros perimetrales de la empresa Maseca, se debe considerar que el derecho de vía se ha vuelto un conflicto muy

difícil de solucionar y en la construcción de Libramiento Chimaltenango un alto costo en la adquisición de terreno para la construcción.

La solución más adecuada para el lugar es un paso vehicular tipo bóveda que trae como beneficio el adecuado flujo vehicular y la disminución de los tiempos de espera debido al movimiento de cruce de la carretera secundaria, la velocidad será constante dentro de la intersección para el Libramiento Chimaltenango logrando eliminar muchos de los conflictos vehiculares y posibles accidentes dentro de la ruta, además de proteger a los peatones debido a que ellos deberán realizar la maniobra de cruce fuera del flujo más alto. Aunque la propuesta es mucho más costosa que la rotonda se debe considerar que ofrece un mayor nivel servicio y mayor capacidad, debido al aumento del nivel de servicio y su mayor capacidad se reducen considerablemente los tiempos de espera esto recae en una disminución de los costos de operación vehicular.

4. DISEÑO GEOMETRICO PRELIMINAR DE INTERSECCION

4.1. Criterios de diseño según AASTHO y SIECA

Los criterios de diseño para AASTHO son específicos y nos brindaran información para poder desarrollar las condiciones adecuadas para poder configurar la estructura de la intersección.

4.1.1. Vehículo de diseño

Es el vehículo de mayores dimensiones que pasara sobre el paso a desnivel de la Colonia Patricia de Arzú, para tal caso es un tráiler tipo T3-S2 con tándem con una dimensión aproximada de 22 metros de largo y con un ancho aproximado de 2,60 metros, la estructura debe permitir las dimensiones adecuadas por consiguiente se debe analizar que el ancho de calzada será de aproximadamente 5,50 m de ancho esto sin incluir bordillos del paso a desnivel.

4.1.2. Velocidad de diseño

La selección de la velocidad de diseño o de operación consiste en la máxima velocidad en que el conductor en condiciones óptimas puede transitar, para esto se debe sumar el entorno que rodea a los automovilistas. Anteriormente se había hablado del vehículo y sus dimensiones, esto influirá en como el usuario podrá transitar dentro de la intersección, para el caso de la Colonia Patricia de Arzú se debe considerar las condiciones del lugar por ser este rural las condiciones de velocidad deben ser reducidas a velocidades pequeñas por la gran cantidad de personas que transitarán dentro del lugar, porque existe una

institución educativa, y se debe agregar a las personas que pueden llegar de otros sitios, y que pueden llegar a ser conflicto.

La selección de una velocidad de 30 Km/h como una velocidad adecuada para el proyecto tiene que ver más bien con la seguridad de los peatones, se debe hacer notar que SIECA menciona dos velocidades más que son de operación y ruedo, la primera se refiera a la velocidad del usuario sin exceder la velocidad de diseño en una sección de carretera y la ruedo se refiera a una velocidad promedio obtenida de medir una distancia recorrida durante un tiempo efectivo. Pero debido a que no pueden exceder la velocidad de diseño se tomó como parámetro fiable la velocidad asignada anteriormente, y se debe decir que, aunque la velocidad de diseño sea de 30 km/h puede que las autoridades locales bajen la velocidad utilizando un método alternativo.

4.1.3. Ancho de aceras o banquetas

Se debe construir donde no existan hombros, para tal caso deben estar fuera del ancho de calzada y se tiene que estar dentro de los límites del derecho vía, logrando una reducción del accidente de tránsito, para el caso de la intersección ya que no existen una medida estándar lo dejan a criterio del ingeniero, aunque existen niveles de servicio de aceras, pero dependerá totalmente del derecho de vía y del diseño.

Para tal caso se utilizará un ancho de banqueta donde puedan transitar haciendo mención al ancho que aproximadamente tienen los hombros de las personas, que esta próxima de 0,50 metros y un ancho de torso de aproximadamente de 0,30 metros, se elegirá un ancho aproximado de 0,60 metros dentro la intersección existiendo una delimitación por el derecho vía. Para el nivel de servicio de la acera se debe reflexionar la importancia de la

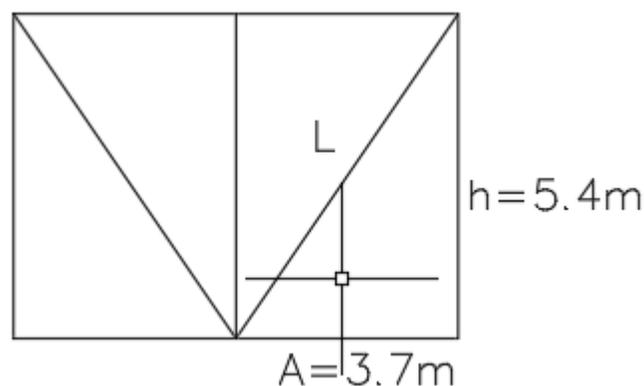
velocidad a la que transitarán los peatones, y SIECA establece una velocidad promedio de 0,9 a 1,2 metros/segundo, al establecer cuál es el ancho aproximado de la banqueta se puede analizar un nivel de servicio Clase E que establece una aproximado de 0,5 a 1,5 metros cuadrados/peatón, esto reduce la velocidad del peatón por aglomeración en la banqueta.

4.1.4. Altura de separación

Se debe recordar que la altura de diseño del vehículo es aproximadamente 4,1 metros, pero se debe considerar que en algunas ocasiones la carga pueda tener una altura 4,4 metros para fines practicas la altura a tomar en consideración es de 5,4 metros.

Para poder obtener el valor de la altura de la bóveda se debe realizar el diseño por medio de geometría.

Figura 27. Geometria basica de la bóveda



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Se necesitará el valor de L esto para utilizar las fórmulas de cuerdas, se utilizará la ecuación de teorema de Pitágoras:

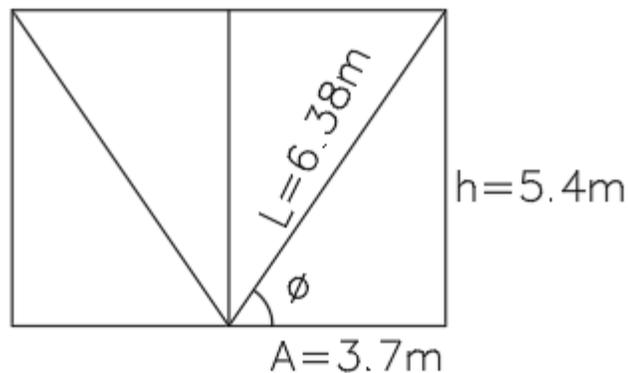
$$L = \sqrt{A^2 + h^2}$$

$$L = \sqrt{3,4^2 + 5,4^2}$$

$$L = 6,38m$$

También se debe obtener el valor del ángulo entre la altura (h), y el valor de ancho del carril (A) que se necesitará el complementario de este:

Figura 28. **Angulo entre el ancho del carril y la altura**



Fuente: elaboración propia, AutoCAD "020.

Donde

$$\tan \phi = \frac{h}{A}$$

$$\tan \phi = \frac{5,4m}{3,7m}$$

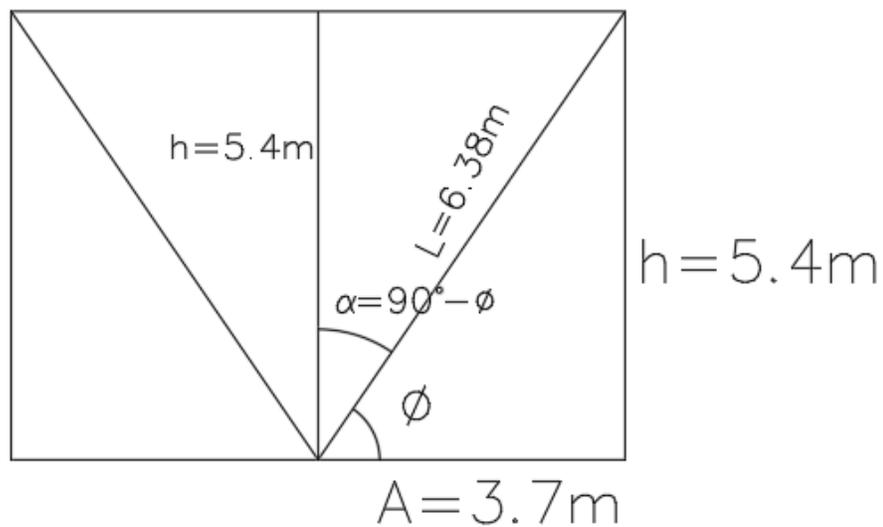
$$\phi = \tan^{-1} \frac{5,4m}{3,7m}$$

Se obtiene:

$$\phi = 55,58^\circ$$

Se necesitará el ángulo complementario entre la altura y la hipotenusa del triángulo.

Figura 29. **Angulo complementario**



Fuente: elaboración propia, AutoCAD 2020.

$$\alpha = 90^\circ - \phi$$

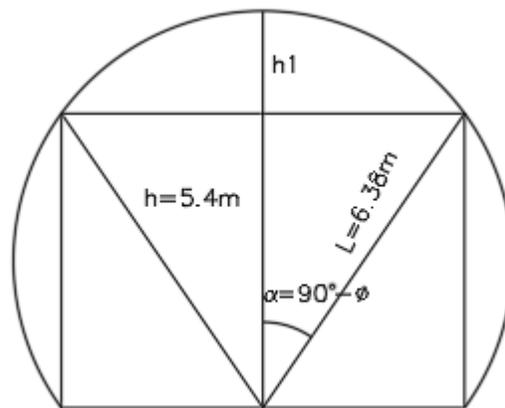
$$\alpha = 90^\circ - 55,58^\circ$$

Se obtiene,

$$\alpha = 34,42^\circ$$

Se debe obtener la altura extra del segmento circular de la bóveda esto se le debe agregar a los 5,40 m por medio de ecuaciones de segmentos circulares:

Figura 30. **Altura del segmento circular**



Fuente: elaboración propia, AutoCAD 2020.

La ecuación a utilizar es

$$h1 = R(1 - \cos \frac{\theta}{2})$$

donde $\theta = \alpha * 2$ y $R = L$, al simplificar se obtiene

$$h1 = R(1 - \cos \alpha)$$

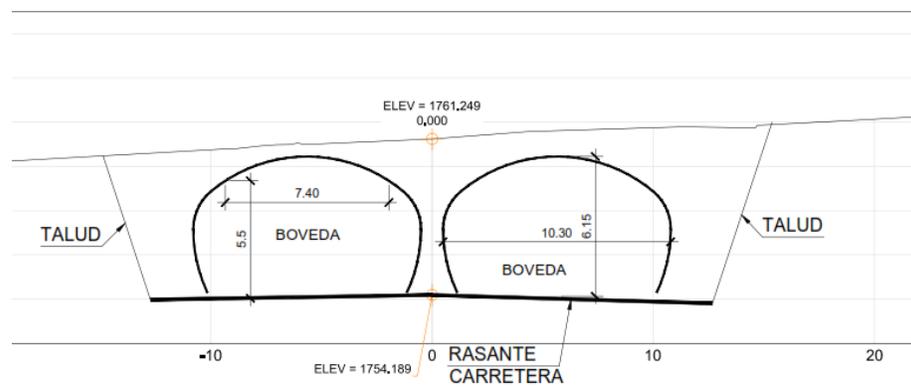
$$h1 = 6,38(1 - \cos 34,42)$$

Se obtiene

$$h1 = 112$$

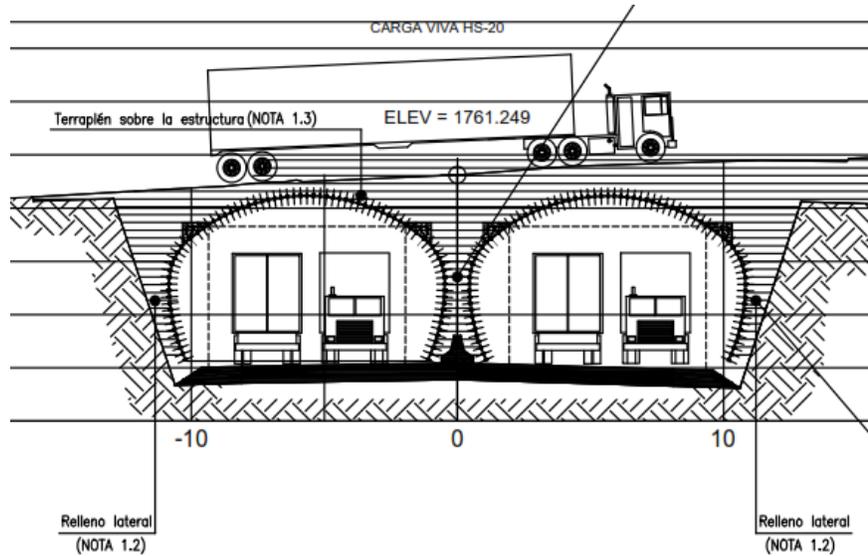
La altura aproximada debe ser unos 6,50 m, esto puede variar dependiendo la forma de la bóveda, la altura real será de 6,15 m debido a las especificaciones de los materiales a utilizar, también se debe considerar que a partir de esta altura se debe colocar un aproximado de 60 cm de material que es el espesor aproximado para protección de la lámina de la bóveda.

Figura 31. **Altura de separación de bóveda**



Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de bóveda*. Oficina de diseño.

Figura 32. Elevación de la sección

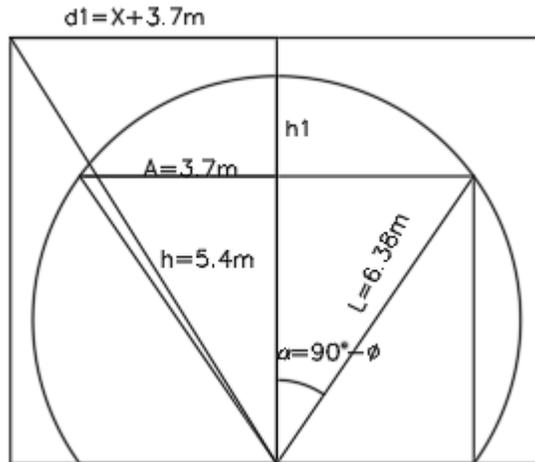


Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de bóveda*. Oficina de diseño.

4.1.5. Ancho de la mediana

La mediana debe ser lo suficientemente espaciosa para poder colocar tanto la cimentación como una pequeña banqueta dentro de la bóveda, para poder obtener una distancia se propone la siguiente metodología:

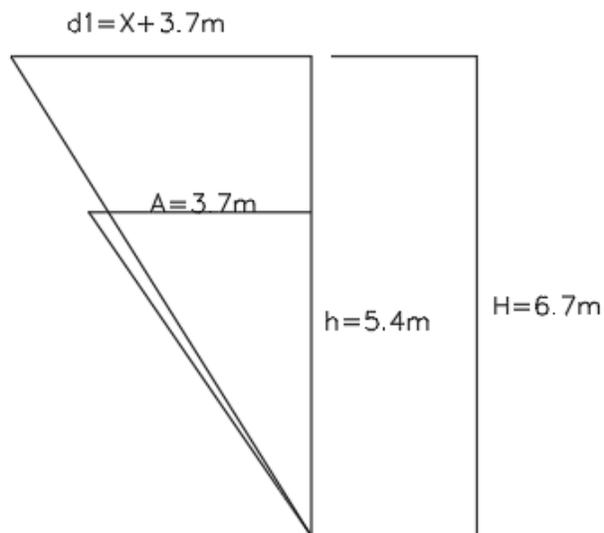
Figura 33. **Distancia horizontal para agregar**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Se busca desglosar los triángulos formados por medio de semejanza porque se conocen las alturas de los triángulos, y de esto se obtiene la siguiente figura:

Figura 34. **Distancia horizontal para la mediana**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Se obtiene la siguiente ecuación donde la altura H es la suma de 5,4 m más 1,10 m de altura de segmento circular más 0,60 m de material y asfalto que llevará encima:

$$\frac{6,7}{x + 3,7} = \frac{5,4}{3,7}$$

Al despejar se obtiene la siguiente ecuación:

$$6,7 \times 3,7 = 5,4x + 3,7 \times 5,4$$

Despejando se obtiene:

$$\frac{6,7 \times 3,7 - 3,7 \times 5,4}{5,4} = X$$

$$X = 0,90 \text{ m}$$

La distancia horizontal que se le debe agregar a ambos externos debe ser aproximadamente de 0,90 m, y ayudará a poder colocar la cimentación de la bóveda.

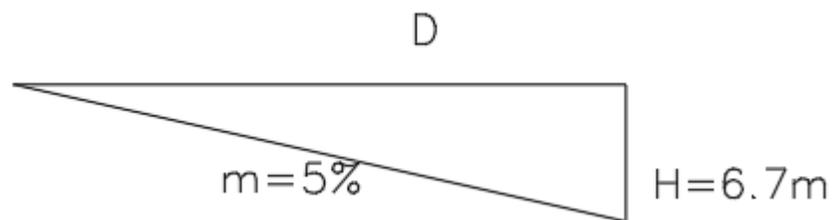
4.1.6. Distancia horizontal de separación

La separación de niveles según AASTHO va a depender del tipo de pendiente y la velocidad de diseño de la carretera principal, esto para lograr la separación adecuada y así la visibilidad de la infraestructura sea lo suficiente. En este caso para una carretera donde su velocidad de diseño esta aproximadamente en 80 km/h y una pendiente del 5 %, que brindará una visibilidad adecuada de la estructura, se debe tener aproximadamente una

distancia de 220 metros para poder obtener una altura de la estructura de 6 metros.

La separación también se puede realizar por medio de la pendiente y el valor de la altura de la bóveda por medio de la ecuación de la pendiente:

Figura 35. **Distancia horizontal aproximada con la pendiente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

De la figura anterior al utilizar la fórmula de la pendiente

$$m = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

Se obtiene la siguiente ecuación donde $x1$ y $y1$ son iguales a 0 y solo queda la siguiente expresión:

$$x2 = \frac{y2}{m}$$

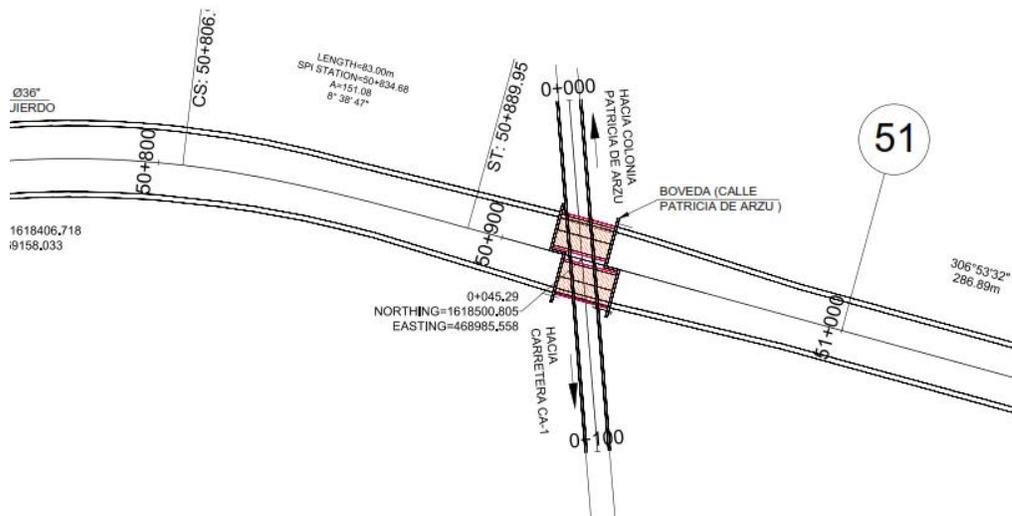
$$x2 = \frac{6,7}{0,05}$$

Se obtiene

$$x2 = 134 \text{ m}$$

Geoméricamente la distancia de 134 m es correcta y es un aproximado de lo que realmente se pondrá en la intersección, mientras que la 220 m es una distancia que está en función de la velocidad.

Figura 36. **Planta de bóvedas gemelas**



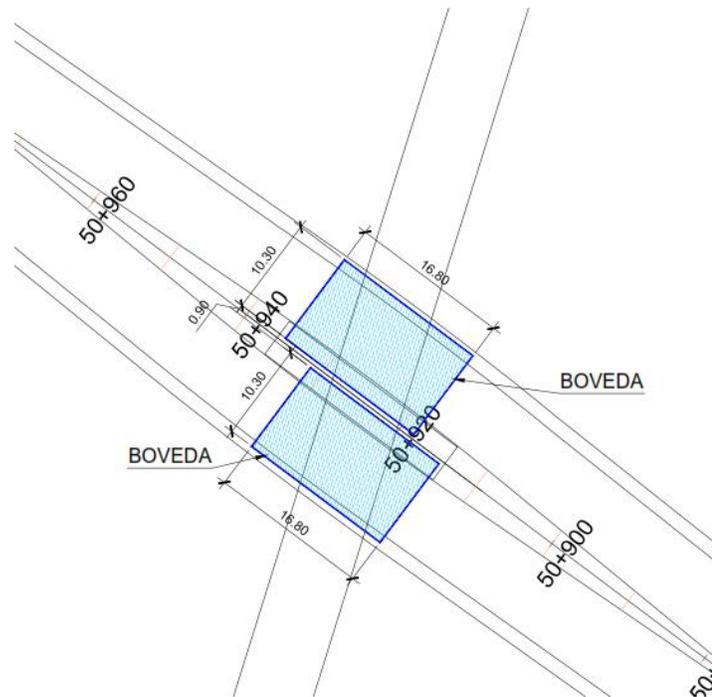
Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de planta de bóveda*. Oficina de diseño.

4.1.7. **Derecho de vía**

En base a la velocidad de diseño anterior se necesitará un derecho de vía adecuado, a pesar de que el ancho de calzado puede rondar en unos 5,50 metros esta cantidad es bastante pequeña para poder construir el paso, debido a que se necesitara al menos unos metros más para poder realizar ciertas maniobras, para este caso la carretera principal bridará el espacio necesario debido a que el derecho de vía que necesitara. Para el caso de las bóvedas el ancho de la

intersección para la estructura es de aproximadamente 16,80 metros y unos 20,60 metros de largo.

Figura 37. **Derecho de vía de bóvedas gemelas**



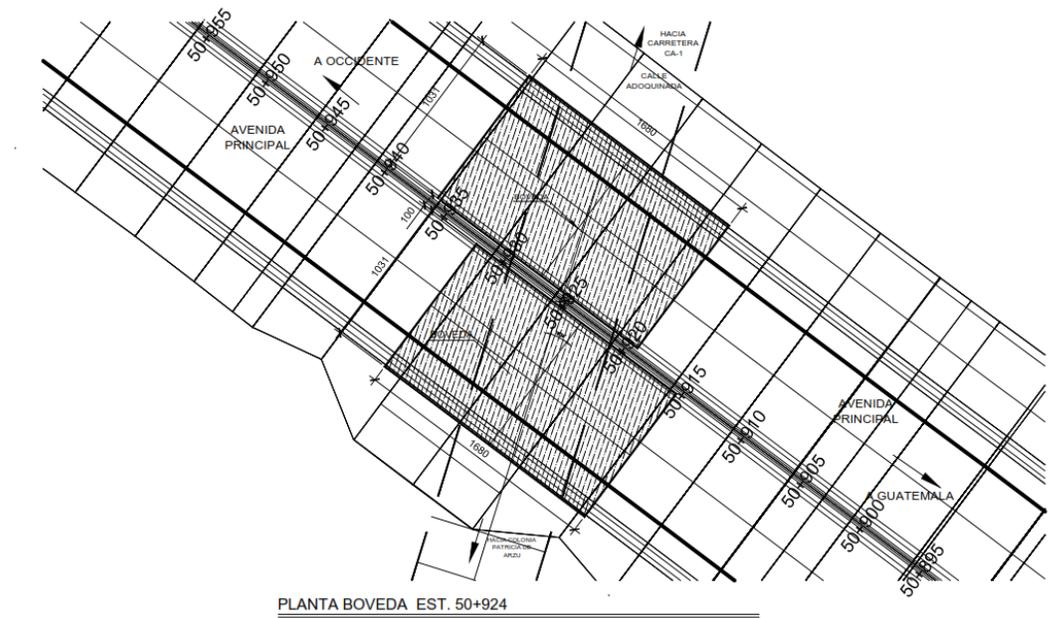
Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de planta de bóveda*. Oficina de diseño.

Se debe mencionar que alrededor del paso a desnivel ya existen construcciones las cuales no podrán ser removidas debido a que el cambio aumentará el precio de la construcción, esto dificulta el espacio que será necesario porque solo se podrá construir adecuadamente la calzada, las aceras y los sistemas de protección del paso a desnivel.

4.1.8. Alineación y perfil

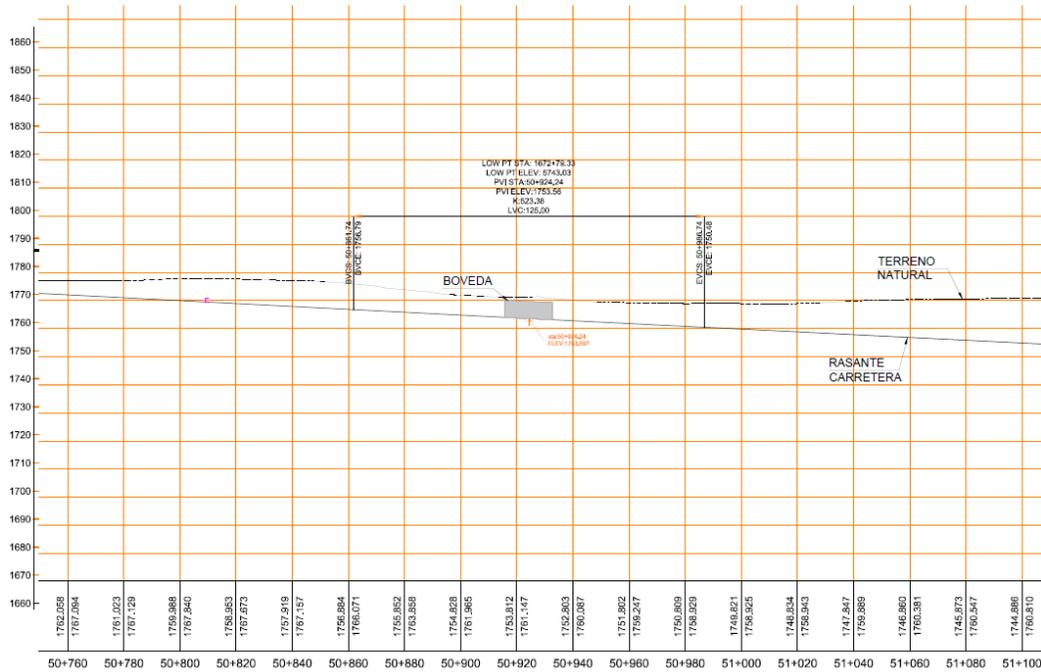
Debido a que no existirán rampas para el ingreso directo hacia la bóveda no habrá mayor ensanchamiento en la mediana por lo que la alineación y la sección transversal no se verán afectadas, se debe agregar que la carretera no entrará en un ángulo recto representando que la intersección ocupe un espacio más amplio, esto no agrega mayor peligro para los conductores ya que los ángulos para la intersección no afecten la visión de los conductores de transporte pesado.

Figura 38. Diseño en Civil de bóvedas y carretera principal



Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de planta de bóveda*. Oficina de diseño.

Figura 39. Diseño CAD de perfil de bóvedas



Fuente: Constructora Nacional S.A. *Plano de planta de bóveda*. Oficina de diseño.

4.2. Diseño de pavimento

Para diseñar el pavimento adecuado se debe contemplar condiciones de tiempo y espesor de este. También se debe considerar la base y subbase de la estructura esto para que en el pavimento no se produzcan daños por las cargas que ejercen los ejes.

4.2.1. Periodo de diseño

El pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos del tránsito durante un periodo de tiempo, se debe seleccionar un periodo de diseño adecuado para que al término de este periodo se dé un proceso de rehabilitación,

se debe considerar que la metodología de AASHTO recomienda los periodos aproximados de 20 años, pero en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño geométrico de las carreteras recomienda los siguientes periodos:

Tabla XI. **Periodo de diseño por tipo de carretera**

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestida con bajos volúmenes de tránsito	10-20 años

Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. p. 143.

Para el caso de la intersección se seleccionará un tipo de carretera con bajos volúmenes de tránsito para el cual tendrá un periodo de 15 a 25 años el periodo de diseño, esto por las condiciones de flujo vehicular que existen en el lugar presentando un flujo de vehículos bastante bajo de 202 vehículos.

4.2.2. Espesores sugeridos

Los espesores recomendados no necesariamente deben ser los mínimos al momento de realizar un diseño, para este caso en particular donde la bóveda se verá afectada por las cargas que recibirá, y se pueden mencionar los siguientes valores mínimos que AASHTO y SIECA recomiendan:

Tabla XII. **Espesores mínimos sugeridos**

Numero de ESALS´s	Capas asfálticas	Base granular
Menos de 50 000	3,0 cm	10 cm
50 000-150 0000	5,0 cm	10 cm
150 000 500 000	6,0 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 7000	10,0 cm	15 cm

Fuente: AASHTO. *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos*. p. 147.

Tabla XIII. **Espesores mínimos de capas asfálticas sobre base**

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del tránsito	Espesores mínimos de la capa asfáltica, en cm
Hasta 10 000	Ligero	7,5
Entre 10 000 y 1 000 00	Mediano	10,0
Mayor de 1 000 000	Pesado	12,5 o más

Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. p. 170.

Para la elaboración del pavimento flexible que se colocará arriba de la bóveda para proteger la estructura de la misma se tendrán las características del lugar y del nivel de servicio que ofrecerá, con esto se quiere lograr que el pavimento flexible cumpla con los índices de servicios se debe considerar para el proyecto los siguientes pares:

- Ancho de calzada será de 5,50 m
- Bombeo de 2 %
- Se colocará 20 cm de reacondicionamiento de suelo cemento
- 25 cm de base triturada

- 10 cm de base negra
- 6 cm de base final
- Periodo de diseño de 15 a 25 años

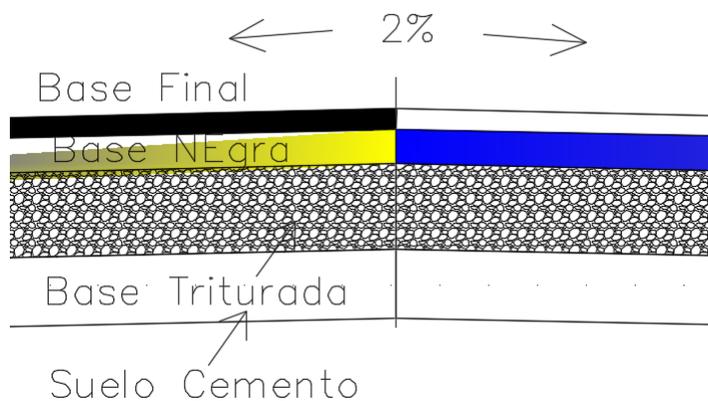
Se sugiere el siguiente diseño basado en las características de protección para la estructura de la bóveda.

Tabla XIV. **Espesores para utilizar**

Capa	Espesor(cm)
Base de suelo Cemento	20
Base Triturada	25
Base Negra	10
Concreto asfaltico en caliente	6
Total	61

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Detalle de asfalto**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020

Tabla XV. Presupuesto de puente vehicular tipo bóveda

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	Subtotal
Trabajos preliminares				
Limpieza Chapeo y Destronque	0,44	Ha	Q35 450,00	Q 15 598,00
Trazo y Nivelación	22,6	M	Q 421,50	Q 9 525,90
Retiro de Drenajes Existentes	20,6	MI	Q 56,57	Q 1 165,34
Planos Finales y Diseño	1	Global	Q 25 000,00	Q 25 000,00
Excavación no clasificada	18 104,90	m3	Q 29,00	Q 525 042,10
			Subtotal	Q 576 331,34
Estructura de drenaje mayor (bóveda)				
Excavación de Canales	300	m3	Q 65,00	Q 19 500,00
Relleno Estructural para cimentación de estructura	1 800	m3	Q 65,00	Q 117 000,00
Alcantarillado de metal corrugado, tipo bóveda super claro	34,77	MI	Q 27 000,00	Q 938 790,00
Concreto Ciclópeo	600	m3	Q 1 050,00	Q 630 000,00
			Subtotal	Q 1 705 290,00
Pavimento de concreto asfáltico				
Base de Suelo Cemento (e=20)	28,33	m3	Q 21 404,32	Q 606 384,39
Base Triturada (e=0.25)	28,33	m3	Q 225,00	Q 6 374,25
Base Negra (e=10)	28,33	m3	Q 615,00	Q 17 422,95
Riego de Liga	40,35	GL	Q 35,00	Q 1 412,25
Concreto asfáltico en caliente (e=0.06)	6,78	Ton	Q 750,00	Q 5 085,00
			Subtotal	Q 636,678.84
Dispositivos de control				
Pintura termoplástica línea central	0,03	Km	Q 21 404,32	Q 642,13
Pintura termoplástica línea no central	0,03	Km	Q 21 404,32	Q 642,13
Señales de tráfico informativa	3	U	Q 2 580,00	Q 7 740,00
Barandal	41,2	MI	Q 67,50	Q 2 781,00
Banqueta	1	M2	Q 20 285,00	Q 20 285,00
			Subtotal	Q 32 090,26
	Costo Directo			Q 2 950 390,44
	Indirectos (16%)			Q 472 062,47
	IVA (12%)			Q 354 046,85
	Trabajos administrativos			Q 150 000,00
	Total de obra			Q 3 926 499,76

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los principales criterios para seleccionar una intersección son el volumen de tránsito, la cantidad de riesgos y el costo de la intersección, en el caso del volumen de tránsito debido a que si los flujos vehiculares son diferentes y variados se podrá optar a la elección de intersecciones a nivel o a desnivel, la cantidad de riesgos solo dice los conflictos que la intersección puede provocar dependiendo su geometría y la evaluación de costos para elegir la geometría más adecuada para el lugar enfocándose en el menor gasto posible.
2. El estudio de TPDA del lugar da como resultado un flujo bastante bajo de la colonia Patricia de Arzú en comparación con el Libramiento Chimaltenango, pero se debe considerar la maniobra que se realizará en el lugar ya en el lugar existen vehículos pesados que hacen que la maniobra de cruce sea mucho más peligrosa, además existe una escuela que beneficia a unos 300 niños no solo de la colonia si no de los alrededores, esto hace que al modificar las condiciones del lugar los ponga en peligro.
3. La intersección necesita que no se cambie las condiciones actuales de la colonia, se debe seleccionar una intersección a desnivel para lograr que las condiciones de flujo de vehículos como personas no se vean afectados por maniobras inseguras.

4. La intersección presenta un diseño de forma circular tipo bóveda la cual tendrá un costo aproximado de 4 000 000 de quetzales los cuales pueden ser variables debido condiciones externas no contempladas en el prediseño, se debe agregar que la geometría de las intersecciones debe quedar a criterio de cada diseñador considerando siempre las condiciones de seguridad como primer punto de partida.

RECOMENDACIONES

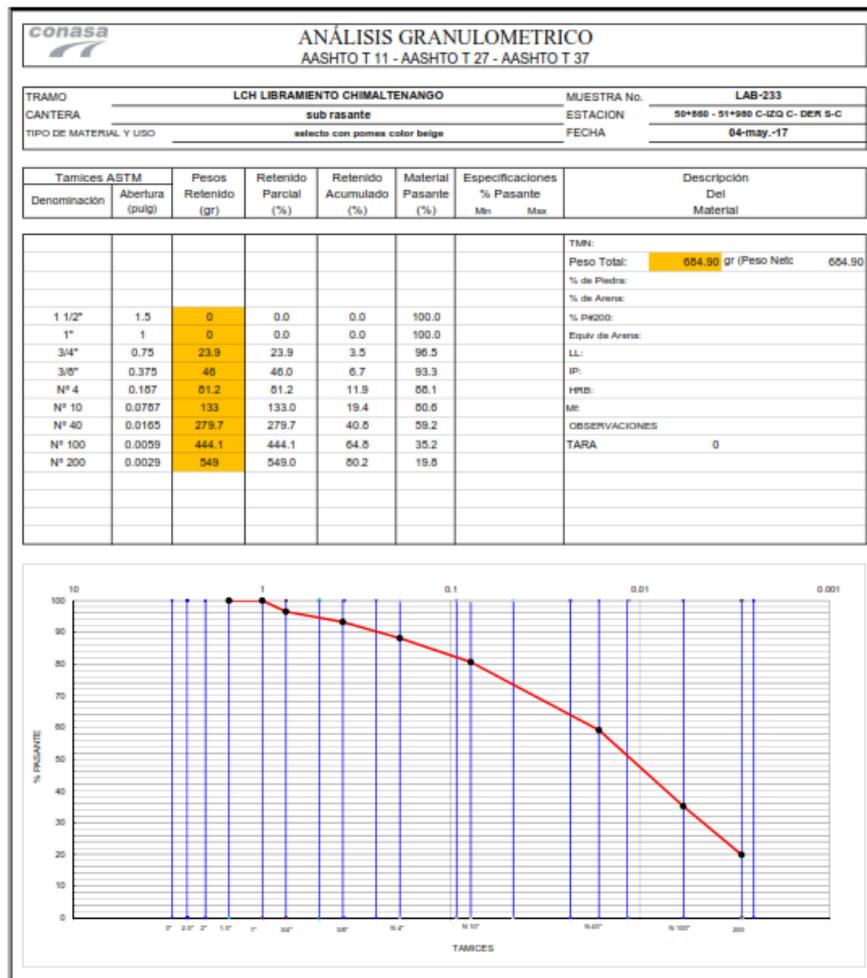
1. Se sugiere que las intersecciones al momento de ser diseñada tomen en consideración no solo los aspectos económicos debido a que si solo se consideran los mismos puede ser que la geometría afecte el transitar de los usuarios y estas condiciones hagan que la intersección no sea efectiva.
2. Para el diseño de intersecciones el ingeniero debe realizar una tarea de investigación en el lugar esto para considerar los posibles conflictos que los usuarios tendrán al momento de estar la intersección, el ingeniero deberá considerar aspectos sociales, económicos y geométricos para la intersección.
3. Se debe efectuar estudios de campo sobre el flujo vehicular en la carretera secundaria, esto para la mejor comprensión de los problemas de tránsito que en el lugar pueden desarrollarse.

BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO. *Geometric Design Highways and Streets*. Washington DC, USA: 4a ed. 1993. 924 p.
2. Florida Department of Transportation. *Florida intersection design guide for new construction and mayor reconstruction of at grade intersections on the state highway system*. Florida, USA: FDOT, 2002. 211 p.
3. HUGH JONES, John. *Proyecto geométrico de carreteras modernas*. 3a ed. México: Continental, S.A. 1961. 280 p.
4. JOHN W, Mickey. *Metropolitan transportation planning*. 2a ed. New York, USA: McGraw-Hill. 1975. 562 p.
5. LECLAIR, Raúl. *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*. 2a ed. SIECA, 2004. 434 p.
6. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MCOP, 2011. 724 p.
7. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control de tránsito*. Guatemala: SIECA, 2001. 322 p.

ANEXOS

Anexo 1. Ensayos de suelo (subrasante)



Fuente: Laboratorio de Suelos, Constructora Nacional S.A.

Anexo 2. Ensayos de suelo (subrasante)

1		Punto		N°		1		2		3		4		5		6	
2	Peso del Molde	(gr)		4,147.00	4,147.00	4,147.00	4,147.00	4,147.00									
3	Peso del Molde + Sh	(gr)		5,529.00	5,612.00	5,654.00	5,716.00	5,660.00									
4	Volumen del Molde	(cm ³)		0.933	#####	0.933	0.933	0.933									
5	Densidad Húmeda	(gr/cm ³)		1,481	1,570	1,647	1,662	1,643									
6	Cápsula	N°															
7	Peso de la Cápsula	(gr)															
8	Cápsula + Sh	(gr)															
9	Cápsula + Ss	(gr)															
10	Humedad	(%)		13.1	16.6	20.6	23.6	27.3									
11	Densidad Seca	(gr/cm ³)		1,310	1,344	1,364	1,358	1,291									

Densidad Seca Máxima

Humedad (%)	Densidad Seca (gr/cm ³)
13.1	1310
16.6	1344
20.6	1364
22.5	1367
23.6	1358
27.3	1291

DENSIDAD SECA MÁXIMA: 1367 gr/cm³ 85.3 lbs/plc³
HUMEDAD ÓPTIMA: 22.5 %

OBSERVACIONES: Humedades obtenidas con Speedy.

50+860 - 51+980 C-IZQ C- DER S-C

Agua Inicial: 200 cc

Agua Seguidor: 100 cc

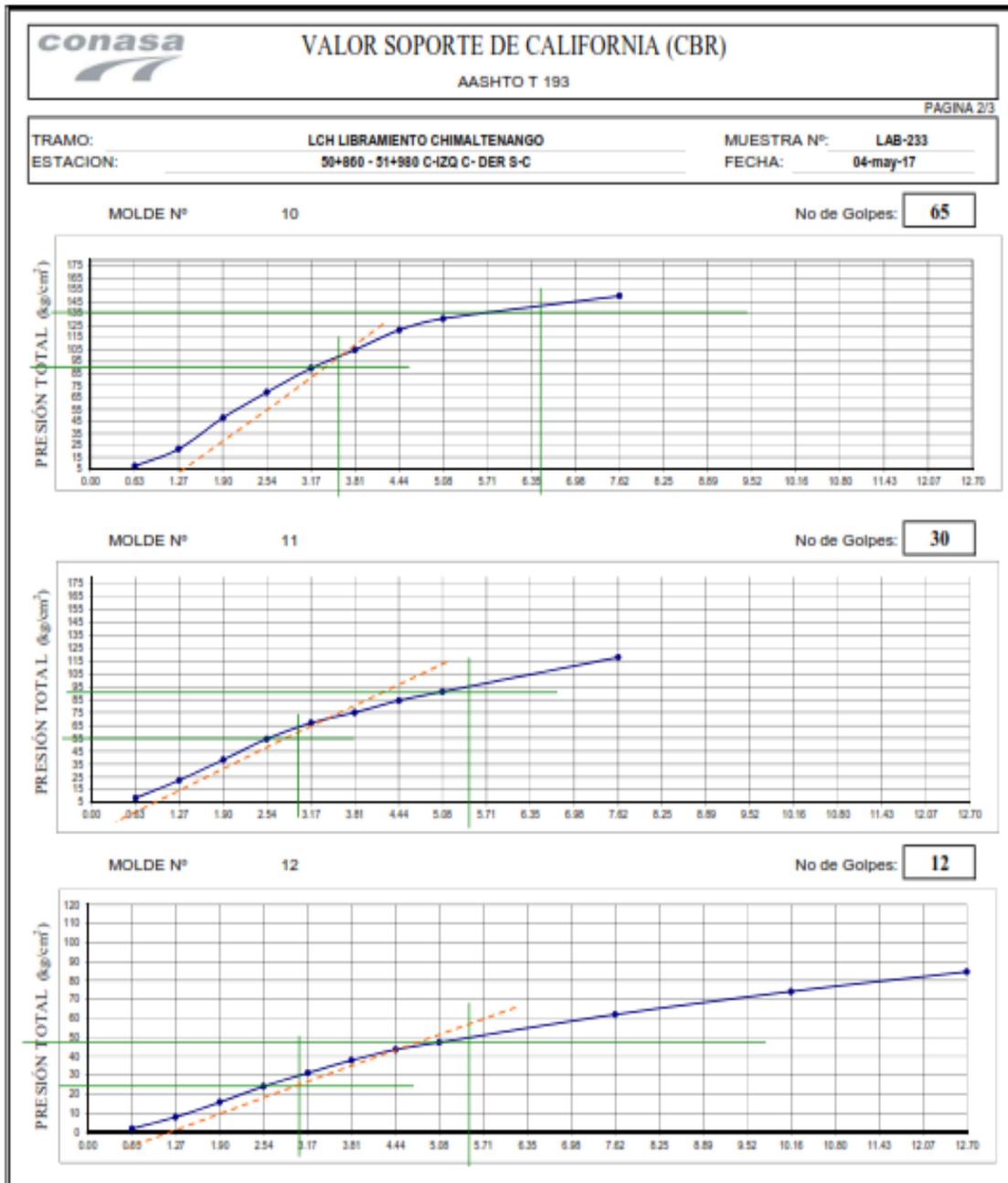
Fuente: Laboratorio de Suelos, Constructora Nacional S.A.

Anexo 3. Valor soporte de California (subrasante)

VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)													
													
TRAMO: LCH LIBRAMIENTO CHIMALTENANGO PAGINA 1 / 3 CANTERA: MUESTRA N°: LAB-233 TIPO DE MATERIAL Y USO: sub rasante ESTACION: 50+466 - 51+988 C-20 C-DBR 9-C sifecto con pones color beige FECHA: 04-may-17													
ARO DE CARGA	N° de Golpes	Molde N°	Peso Molde	Peso M + Sh	Peso Sh	Volumen Molde	Densidad		Hinchamiento (µg)				
							Húmeda	Seca	1° día	2° día	3° día	4° día	Total (%)
N°	65	10	7.220,00	10.740,00	3.520,00	2.113,00	1.666	1.360	0,050	0,051	0,051	0,051	0,02
Lbs	10.000	30	7.073,00	10.450,00	3.377,00	2.113,00	1.598	1.305	0,050	0,050	0,050	0,050	0,00
Cts	Ver Observ	12	7.185,00	10.381,00	3.196,00	2.113,00	1.513	1.235	0,050	0,050	0,050	0,050	0,00
							99,5	95,4	90,3				
GRANULOMETRIA		LL	LP	IP	N° de Golpes		65		30		12		
Z'		0,00	0,00	0,00	Molde N°		10		11		12		
1 1/2"		100,0		DESCRIPCIÓN		HUMEDAD							
1"		100,0		Capsula N°									
3/4"		96,5		Peso Capsula									
3/8"		93,3		Capsula + Sh									
N° 4		88,1		Capsula + Ss									
N° 10		80,6		Agua									
N° 40		59,2		Peso del Ss									
N° 200		19,8		Humedad									
				22,5		24,6		23,5		23,6		28,8	
				22,5		24,6		23,5		23,6		28,8	
Penetración Presión Standard 0,64 1,27 1,91 2,54 3,18 3,81 4,45 5,08 7,62 10,16 12,70 CBR Lectura del Dial 40 100 210 300 385 450 520 560 640 0 0 0 183 Carga Total 145 419 922 1333 1721 2018 2338 2520 2886 -37 -37 -2 129 Presión Total 8 22 48 69 89 105 121 131 150 -2 -2 Presión Corregida 90 137 137 % Standard 129 130 Lectura del Dial 45 103 170 238 290 324 363 392 504 585 650 Carga Total 168 433 739 1050 1287 1442 1621 1753 2285 2635 2931 Presión Total 9 23 38 55 67 75 84 91 118 137 152 79 Presión Corregida 55 55 % Standard 79 87 Lectura del Dial 16 42 75 110 140 168 192 208 270 321 365 Carga Total 36 154 305 465 602 730 840 913 1196 1429 1630 Presión Total 2 8 16 24 31 38 44 47 62 74 85 34 Presión Corregida 24 24 % Standard 34 45													

Fuente: Laboratorio de Suelos, Constructora Nacional S.A.

Continuación del anexo 3.



Fuente: Laboratorio de Suelos, Constructora Nacional S.A.