



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B
(entrada segunda etapa Cossío del Pomar y AA. HH. Los
Médanos)- Carretera IIRSA**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Dayana Elizabeth Granda Ruiz
Marcia Antonella Ugaz Rubio**

**Asesor:
Mgtr. Ing. Jenny Carolina Sánchez Ramírez**

Piura, octubre de 2023

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

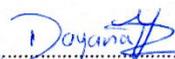
Yo, Dayana Elizabeth Granda Ruiz, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 73195356.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B (entrada segunda etapa Cossío del Pomar y AA. HH. Los Médanos)- Carretera IIRSA."
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniera Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Marcia Antonella Ugaz Rubio, identificado con DNI N° 71318223
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Jenny Carolina Sánchez Ramírez, identificado con DNI N° 72748177
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 18/10/2023.


.....
• Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Marcia Antonella Ugaz Rubio, egresado del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI N° 71318223.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:
"Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B (entrada segunda etapa Cossio del Pomar y AA. HH. Los Médanos)- Carretera IIRSA"
El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis¹ para optar el Título profesional² de Ingeniera Civil.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.
 - Dayana Elizabeth Granda Ruiz, identificado con DNI N° 73195356
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
 - Mgtr. Jenny Carolina Sánchez Ramírez, identificado con DNI N° 72748177
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 18/10/2023.



Firma del autor optante³

¹ Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

² Grado de Bachiller, Título profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

³ Idéntica al DNI; no se admite digital, salvo certificado.

Dedicatoria

Para mis papás y hermanos, con todo el amor, cariño y respeto que se merecen.
Por ser la piedra filosofal de mis sueños, los culpables de mi perseverancia y un apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mis abuelos por en cada despedida decir, estudia para que algún día seas una buena ingeniera.

"Respira y sigue adelante"

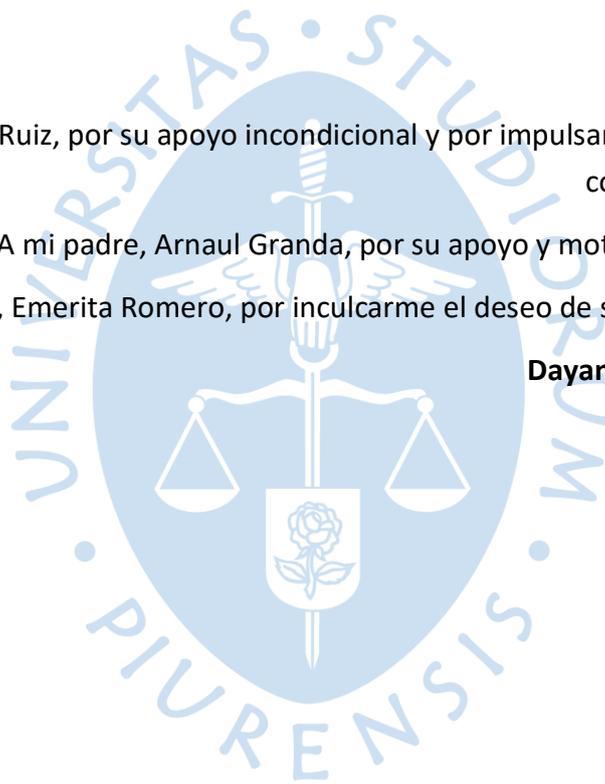
Marcia Antonella Ugaz Rubio

A mi madre, Vilma Ruiz, por su apoyo incondicional y por impulsarme a cumplir mis metas con mucho amor y cariño.

A mi padre, Arnaul Granda, por su apoyo y motivación durante mi vida.

A mi abuelita, Emerita Romero, por inculcarme el deseo de ser una gran profesional.

Dayana Elizabeth Granda Ruiz



Agradecimientos

A Dios, por la vida y salud.

A nuestra familia por ser nuestro motor y motivo para seguir adelante siendo mejores personas.

A nuestra asesora, Mgtr. Ing. Jenny Sánchez Ramírez, por su apoyo, paciencia y recomendaciones brindada durante el proceso de nuestra investigación.

A nuestra casa de estudio por brindarnos los conocimientos y enseñanzas.



Resumen

Las intersecciones, dada la complejidad que pueden presentar con respecto a su infraestructura, suelen ser las zonas con el mayor número de accidentes viales. Por tal motivo, desde hace varias décadas se busca aportarles condiciones óptimas de seguridad, dentro de las posibilidades físicas y económicas que existan.

En la ciudad de Piura, en los últimos años se presenta un crecimiento acelerado de transporte, lo que genera que las principales vías presenten congestión vehicular y frecuentes siniestros. Por ello la intersección ubicada entre Av. Guardia Civil, calle Esmeralda y calle B de Cossío del Pomar, se tiene como objetivo del presente trabajo proponer un diseño que la mejore.

Para el diseño de la intersección se analizó en el ámbito geométrico y funcional con los estudios realizados en campo. Primero se identificó la zona de estudio en conflicto, donde se obtuvieron las principales características geométricas como el ancho de los carriles, separador central y los accesos de la intersección. En segundo lugar, se elaboraron tres propuestas de solución. Como primera alternativa, se prediseñó la intersección siendo controlada por semáforos y evaluándose distintos escenarios para las fases y desplazamientos permitidos. Posteriormente, se diseñaron dos mini rotondas para evaluar su capacidad, funcionamiento y serviciabilidad a nivel sistemático. Como tercera propuesta se propone la implementación de un paso a desnivel.

Finalmente, se procedió con la evaluación de las propuestas en base de las normativas, la cual fue integrada al programa PTV Vissim, que proporcionó simulaciones detalladas y realistas para la evaluación integral, por consiguiente, a su comparación y aceptación de los valores estimados y los obtenidos en el programa.

De los resultados de la primera propuesta, de dispositivos de control con semaforización, se obtuvieron tiempos desfavorables en una de las fases del ciclo, a pesar de que se quitarían los bloques de la vía. En la simulación en el programa PTV Vissim, se obtuvo una disminución de serviciabilidad, se encontró que no ayudaría a descongestionar la intersección y tampoco sería segura, es por ello que se descartó.

De la segunda propuesta, consistente en dos mini rotondas evaluadas bajo criterios de las normativas, tras evaluarse en el software y medir los principales parámetros de calidad de la vía como el nivel de servicio, longitud de cola y tiempo de demora, se obtuvo como resultado un progreso en la longitud de cola con una disminución del 26%. Además, el tiempo de demora disminuye la mitad con respecto al tiempo de la zona actual y se obtuvo el cambio de nivel de servicio "B" a "A" en los cuatro accesos.

Por último, de la tercera propuesta, consistente en un paso a desnivel, pese a ser una solución práctica la cual descongestiona el tránsito a través de la desviación de vehículos con un solo sentido, esta propuesta se ve descartada por el ámbito económico.

De lo analizado, finalmente se concluyó que el diseño de dos mini rotondas permitiría tener una intersección con disminución de congestión vehicular como consecuencia teniéndose una vía más eficiente y segura.



Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 Planteamiento del problema	18
1.1 Ubicación geográfica	18
1.2 Antecedentes	20
1.3 Formulación y planteamiento del problema.....	23
1.4 Justificación e importancia de la investigación	24
1.5 Objetivos.....	25
1.5.1 Objetivo general.....	25
1.5.2 Objetivos específicos.....	25
Capítulo 2 Marco teórico.....	26
2.1 Aspectos generales del sistema de tránsito.....	26
2.1.1 El vehículo.....	26
2.1.2 El usuario	31
2.1.3 Las vías.....	32
2.1.4 Elementos geométricos.....	32
2.1.5 Dispositivos de control de tránsito	37
2.2 Seguridad Vial.....	37
2.2.1 Seguridad vial en el Perú y el mundo.....	37
2.2.2 Planes de seguridad vial	43
2.3 Estudio de tráfico	45
2.3.1 Volumen de tránsito.....	45
2.3.2 Índice medio diario anual:.....	45
2.3.3 Volumen horario de diseño:.....	46
2.3.4 Crecimiento del tránsito.....	46
2.3.5 Control de demora	47
2.3.6 Longitud de cola	47
2.4 Clasificación de intersecciones.....	48
2.4.1 Intersecciones a nivel	48
2.4.2 Intersecciones a desnivel	53

2.4.3 Intersecciones Modernas	56
2.5 Capacidad de diseño por el método HCM 2010	58
2.6 Intersecciones controladas por semáforo:	60
2.6.1 Requisitos para la instalación de semáforos.....	60
2.6.2 Semáforos para el control del tránsito	62
2.6.3 Diseño de semáforos Vehiculares	64
2.6.4 Diseño de semáforos peatonales.....	67
2.7 Criterios de diseño de rotondas (óvalos)	68
2.7.1 Elementos y características de diseño geométrico de la rotonda	68
2.7.2 Métodos de análisis operacional.....	71
2.8 Vissim 22.....	76
2.8.1 Antecedentes y aplicación del software.....	76
2.8.2 Modelamiento de infraestructura en PTV VISSIM.....	77
2.8.3 Modelo de flujo de tráfico y control de semáforos en PTV VISSIM	77
2.8.4 Principios de operación del modelo de seguimiento.....	77
2.8.5 Parámetros en PTV VISSIM 22.....	79
Capítulo 3 Situación actual de la intersección Av. Guardia Civil, A.A.H.H. Los Médanos y Cossío del Pomar	81
3.1 Alcances y limitaciones del estudio.....	81
3.1.1 Identificación de la zona de estudio.....	81
3.1.2 Ubicación de las estaciones.....	84
3.2 Estudio de tráfico:	84
3.2.1 Clasificación de vehículos.....	84
3.2.2 Recopilación de datos	85
3.2.3 Procesamiento de los datos de campo.	90
3.2.4 Volumen vehicular y peatonal.	91
3.2.5 Flujogramas	99
Capítulo 4 Prediseño de la intersección con las alternativas de propuesta	105
4.1 Propuesta 1: Implementación de Sistema Semafórico	105
4.1.1 Implementación con 4 fases.	106

4.1.2 Implementación de semáforos con 3 fases.	106
4.1.3 Diseño de semáforos de control de peatón en la intersección	110
4.2 Propuesta 2: implementación de dos mini rotondas.....	113
4.2.1 Elementos de planificación	113
4.2.2 Diseño geométrico y análisis operacional.....	115
4.2.3 Nivel de servicio	124
4.3 Propuesta 3: Implementación de intersección a desnivel	125
Capítulo 5 Diseño de la intersección con PTV Vissim.....	127
5.1 Desarrollo de las simulaciones con PTV Vissim.....	127
5.2 Evaluación.....	132
5.2.1 Evaluación de zona actual	132
5.2.2 Evaluación de propuesta 1.....	136
5.2.3 Evaluación de propuesta 2.....	141
Conclusiones.....	144
Recomendaciones	146
Referencias.....	147
Apéndices	150
Apéndice A Cuento vehicular de la estación 1 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.	151
Apéndice B Cuento vehicular de la estación 2 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.	152
Apéndice C Cuento vehicular de la estación 3 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.	152
Apéndice D Cuento vehicular de la estación 4 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.	153
Apéndice E Cuento vehicular de la estación 1 tomado el martes 8 de marzo del 2022.....	154
Apéndice F Cuento vehicular de la estación 2 tomado el martes 8 de marzo del 2022.....	155
Apéndice G Cuento vehicular de la estación 3 tomado el martes 8 de marzo del 2022.	155
Apéndice H Cuento vehicular de la estación 4 tomado el martes 8 de marzo del 2022	156
Apéndice I Cuento vehicular de la estación 1 tomado el sábado 12 de marzo del 2022.	157
Apéndice J Cuento vehicular de la estación 2 tomado el sábado 12 de marzo del 2022	158
Apéndice K Cuento vehicular de la estación 3 tomado el sábado 12 de marzo del 2022	158
Apéndice L Cuento vehicular de la estación 4 tomado el sábado 12 de marzo del 2022	159

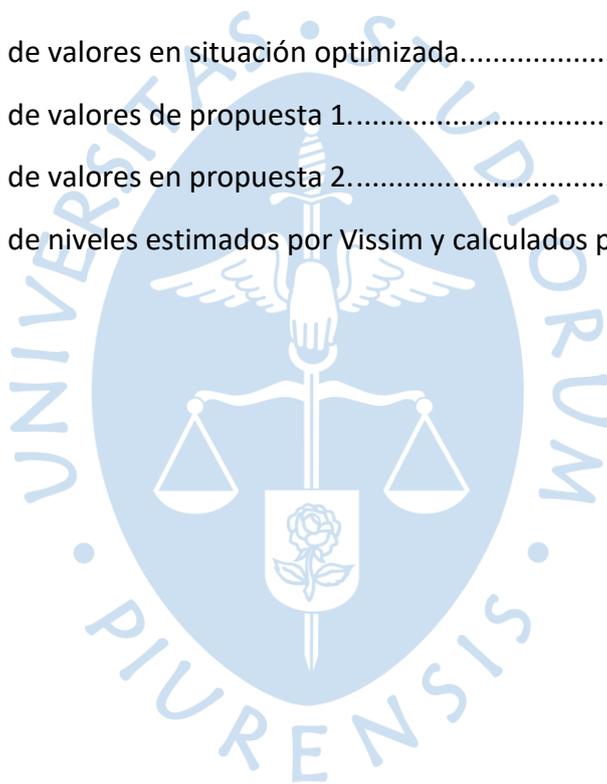
Anexos	160
Anexo A Tabla de tasa de crecimiento de vehículos ligeros.	161
Anexo B Tabla de tasa de crecimiento de vehículos pesados.....	162
Anexo C Plano de zonificación de los usos de suelo en Piura	163
Anexo D Plano del sistema vial Piura.	164
Planos	165
Plano A Localización de la intersección.....	166
Plano B Anchos característicos en la intersección.	167
Plano C Radios característicos en la intersección.	168
Plano D Vista en planta de islas.....	169
Plano E Ubicación de la señalización vertical y horizontal.....	170



Lista de tablas

Tabla 1 Accidentes de tránsito desde el puente de La Primavera hasta la UAP.....	23
Tabla 2 Características básicas de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras.	27
Tabla 3 Rangos de velocidad de diseño según la demanda y orografía de la carretera.....	31
Tabla 4 Anchos de carril y acotamientos recomendados.	33
Tabla 5 Tipos de Intersección a nivel.	48
Tabla 6 Capacidad de las vías en intersecciones a desnivel.....	55
Tabla 7 Capacidad en condiciones ideales (valores referenciales).	58
Tabla 8 Niveles de servicio.	59
Tabla 9 Criterios de niveles de servicio de enfoques y evaluación a nivel de intersección.....	59
Tabla 10 Volumen mínimo de tránsito.....	60
Tabla 11 Interrupción del tránsito continuo.	61
Tabla 12 Resumen de criterios de diseño geométrico de rotondas.....	69
Tabla 13 Máximas velocidades recomendadas para el diseño de entrada.	69
Tabla 14 Clasificación de vehículos.....	84
Tabla 15 Modelo de Formato para el conteo de tráfico vehicular.....	86
Tabla 16 Características de los accesos.....	86
Tabla 17 Factores de corrección estacionaria.....	90
Tabla 18 Conteo del flujo peatonal.....	92
Tabla 19 Resultado del Índice medio semanal- IMDs de la intersección.....	95
Tabla 20 Resultado del Índice medio anual de la intersección - IMDA.....	96
Tabla 21 Resultados del Volumen horario de diseño de la intersección. *	97
Tabla 22 Resultados de proyección del tráfico.	98
Tabla 23 Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras.	105
Tabla 24 Coeficiente de fricción longitudinal según la velocidad de diseño.	105
Tabla 25 Unidades de vehículos equivalentes.	107
Tabla 26 Distribución del método WEBSTER.	108
Tabla 27 Radios máximos/mínimos y ángulos.	114

Tabla 28 Radios de diseño por vehículos.	115
Tabla 29 Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 1.	121
Tabla 30 Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 2.	121
Tabla 31 Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 3.	122
Tabla 32 Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 4.	123
Tabla 33 Resumen de capacidades según el método Wardrop.....	123
Tabla 34 Relación entre volumen y capacidad de acceso.....	124
Tabla 35 Resultados de retardo de control, longitud de cola y nivel de servicio.	125
Tabla 36 Resultados de simulación en un intervalo de 10 minutos.	135
Tabla 37 Comparación de valores en situación optimizada.....	137
Tabla 38 Comparación de valores de propuesta 1.....	139
Tabla 39 Comparación de valores en propuesta 2.....	141
Tabla 40 Comparación de niveles estimados por Vissim y calculados por Wardrop	143



Lista de figuras

Figura 1 Ubicación nacional y regional.....	18
Figura 2 Vista Satelital de Av. Guardia Civil Intersección Calle B-Cossío de Pomar y Calle 12 Las Esmeraldas- AA.HH. Los Médanos.	19
Figura 3 Vista 3D de la zona de estudio.	20
Figura 4 Tipos de movimientos de los flujos vehiculares.....	29
Figura 5 Conflictos concurrentiales.	29
Figura 6 Conflictos direccionales.....	30
Figura 7 Conflictos funcionales.	30
Figura 8 Ejemplos se ensanches de la sección de los accesos al cruce.....	35
Figura 9 Vista en planta y de perfil del carril de aceleración y deceleración.....	36
Figura 10 Víctimas mortales en el Perú.....	38
Figura 11 Evaluación de los accidentes en Perú 2005-2014.....	38
Figura 12 Número de muertes por el nuevo coronavirus (COVID-19) en América Latina y el Caribe por país.....	40
Figura 13 Tendencia de accidentes de tránsito 2010 – 2020.....	41
Figura 14 Número de heridos y muertos por accidentes de tránsito 2010 – 2020.....	42
Figura 15 Causas de siniestros viales, I semestre 2021.....	42
Figura 16 Variedad de tipos de Intersección a nivel.	49
Figura 17 Esquema base intersección en “T” o “Y”.....	50
Figura 18 Esquema base intersección en Cruz “+” o Equis “X”.....	50
Figura 19 Esquema base intersección en “T” o “Y”.....	51
Figura 20 Esquema de la intersección a nivel en “T” o “Y” con separador y carril de giro a la izquierda.....	51
Figura 21 Esquema base intersección en Cruz o Equis.	52
Figura 22 Intercambio vial La Legía Km 993+400.....	53
Figura 23 Intersección a desnivel tipo “Trompeta” en carreteras divididas y no divididas.....	54
Figura 24 Intersección a desnivel tipo “Trébol” en carreteras no divididas y divididas.....	54
Figura 25 Intersección tipo Diamante.....	56
Figura 26 Intersección Diamante Divergente.....	57

Figura 27 Intersección Diamante Divergente DDI.....	57
Figura 28 Intervalo de cambio de fase.....	66
Figura 29 Diagrama de fase peatonal y vehicular.....	67
Figura 30 Factores de fricción lateral a varias velocidades.....	70
Figura 31 Volúmenes diarios de intersección a nivel de planeamiento.....	71
Figura 32 Elementos contenidos en la fórmula de Wardrop.....	73
Figura 33 Parámetros geométricos básicos para el cálculo de la capacidad por el Método TRRL.....	75
Figura 34 Modelo de seguimiento de Wiedemann 1974.....	78
Figura 35 Acceso 1 de la Av. Guardia Civil O-E, Piura-Chulucanas.....	82
Figura 36 Acceso 2 Calle 12 Las Esmeraldas.....	82
Figura 37 Acceso 3 de la calle B de Cossío del Pomar, N-S.....	83
Figura 38 Acceso 4 Av. Guardia Civil, E-O (Chulucanas – Piura).....	83
Figura 39 Ubicación de estaciones.....	84
Figura 40 Vista frontal de la Av. Guardia Civil.....	87
Figura 41 Vista 3D de Separador de Concreto.....	87
Figura 42 Movimientos de circulación del acceso 1.....	88
Figura 43 Movimientos de circulación del acceso 2.....	88
Figura 44 Movimientos de circulación del acceso 3.....	89
Figura 45 Movimientos de circulación del acceso 4.....	89
Figura 46 Flujograma del volumen horario de diseño.....	99
Figura 47 Flujograma de proyección de tráfico al 2042.....	100
Figura 48 Flujograma de proyección de tráfico del acceso 1 por tipo de vehículos.....	101
Figura 49 Flujograma de proyección de tráfico del acceso 2 por tipo de vehículos.....	102
Figura 50 Flujograma de proyección de tráfico del acceso 3 por tipo de vehículos.....	103
Figura 51 Flujograma de proyección de tráfico del acceso 4 por tipo de vehículos.....	104
Figura 52 Movimientos ideales de un semáforo de cuatro fases.....	106
Figura 53 Movimientos de un semáforo de tres fases.....	106
Figura 54 Trayectorias y ubicación de semáforos peatonales.....	112
Figura 55 Dimensiones del semirremolque simple T3S3.....	114

Figura 56 Esquema de islas y círculos inscritos.	116
Figura 57 Alineamiento recto en la intersección: circulación en las vías principales.	117
Figura 58 Alineamientos de los giros a la derecha en la intersección.	117
Figura 59 Alineamiento de los giros a la izquierda y giros alrededor de la isla central.	118
Figura 60 Radios de entrada y salida en la intersección.	118
Figura 61 Ángulos de entrada y salida en la intersección.	119
Figura 62 Medidas de las longitudes y anchos de las secciones de entrecruzamiento.	120
Figura 63 Implementación de intersección a desnivel.	126
Figura 64 Background de la Intersección en el programa PTV Vissim 2022 Student.	127
Figura 65 Creación de links de la propuesta 2 en Vissim.	128
Figura 66 Conectores de las vías de la propuesta 2 en Vissim.	128
Figura 67 Tipos y Clase de Vehículos en Vissim.	129
Figura 68 Definición de rutas de la propuesta 2 en Vissim.	129
Figura 69 Zonas de conflicto y pases de prioridad en la simulación.	130
Figura 70 Definición de la secuencia del semáforo.	130
Figura 71 Tiempos de verde de cada fase tanto peatonal como vehiculares.	131
Figura 72 Creación de semáforos peatonales.	131
Figura 73 Creación de pasos peatonales.	132
Figura 74 Cola causada por giro a la izquierda vía Piura.	133
Figura 75 Cola y demora causada por vehículo en contra y cambio de carril.	133
Figura 76 Ubicación y parámetros de líneas y paradas de servicio vista 3D.	134
Figura 77 Ubicación y parámetros de líneas y paradas de servicio vista en planta.	134
Figura 78 Situación del peatón en la situación actúa.	135
Figura 79 Vista 3D de propuesta optimizada.	136
Figura 80 Vista 3D de propuesta 1.	138
Figura 81 Distribución del ciclo vehicular y peatonal.	138
Figura 82 Vista 3D de propuesta 2.	141

Introducción

“Los problemas siempre son oportunidades para demostrar lo que se sabe” (Duke Ellington, s.f.).

El presente trabajo se concentra en uno de los problemas más cotidianos que afecta a la ciudad de Piura: la congestión vehicular. En los últimos años, el tránsito en la ciudad se ve afectado por el crecimiento acelerado del parque automotor, el cual, a su vez, redundando en colas y demoras originadas principalmente por la deficiente infraestructura, añadiéndose como consecuencia extrema los accidentes registrados. Fernández (2022) menciona que se tiene un promedio de 43 siniestros en los últimos 6 años, en la zona entre el puente La Primavera y la Universidad Alas Peruanas, cerca de la zona de estudio de este trabajo.

La avenida Guardia Civil es una de las vías arteriales de la ciudad, que circula a lo largo del distrito de Castilla. A mediados del año 2014, se empieza un proyecto de mejoramiento con la ampliación de vías y la implementación de separadores centrales; sin embargo, en este no se consideraron suficientes cruces que permitan el fácil intercambio vehicular. Con el pasar del tiempo y como medida temporal, los mismos pobladores decidieron dar solución a la vía, la cual consistió en mover los separadores centrales de la intersección frente a la entrada de Cossío del Pomar, lo cual favorecería a la calle Esmeraldas, Los Médanos con pase directo de los vehículos, ya que previamente se debían recorrer largas distancias hasta la próxima intersección. Sin embargo, lo que se esperaba sea una solución momentánea resultó convertirse en un recurso a largo plazo, registrándose actualmente gran afluencia de movimientos vehiculares, lo que produce colas, congestión y se incumple con el ideal de seguridad vial, el cual es un requisito primordial para el diseño de intersecciones que garantiza la disminución de siniestros.

Con el fin de evitar estos conflictos, en el presente trabajo se busca evaluar posibles soluciones en la intersección, a través de un diseño geométrico y empleándose el software PTV Vissim, el cual permitirá realizar simulaciones 2D y 3D de las propuestas.

Capítulo 1

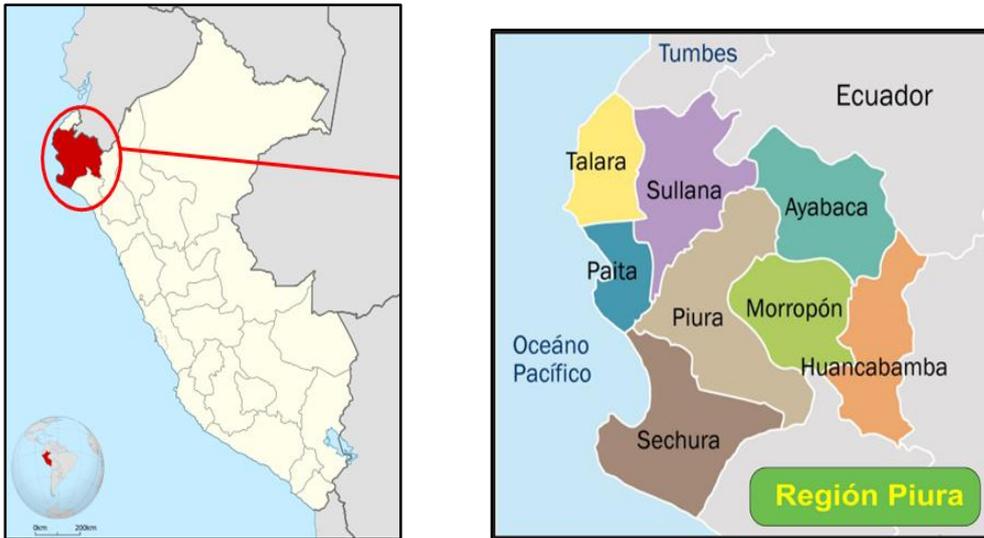
Planteamiento del problema

1.1 Ubicación geográfica

La ciudad de Castilla se ubica a $5^{\circ}11'13''$ de latitud sur y $80^{\circ}35'34''$ de longitud oeste, a una altura de 30 m.s.n.m., limita por el norte con el distrito de Tambogrande, al oeste con el distrito de Piura, al sur con el distrito de Catacaos y al este con la provincia de Morropón, tal como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1

Ubicación nacional y regional.



Nota. *Adaptado de maps Perú.*

Según el plan de desarrollo urbano al 2032, la avenida Guardia Civil se clasifica como una vía principal de integración dentro del sistema vial entre la ciudad de Piura y Castilla, comprendida desde el puente Sánchez Cerro hasta el óvalo IIRSA Norte. Desde el terminal terrestre de Castilla hasta Cossío del Pomar se concentra una gran cantidad de comercio como principales entidades financieras y bancarias, centros de salud, bares, restaurantes, farmacias, colegios, bodegas, hoteles, etc. donde se evidencia el impacto de zonificación. La avenida Guardia Civil en su extensión hacia el este se convierte en una de las entradas más importantes a la ciudad de Piura, la cual recibe vehículos urbanos, provinciales, interprovinciales, departamentales e internacionales debido a que esta zona presenta un crecimiento urbano acelerado y ocurre como resultado de comunidades informales y venta de terrenos por inmobiliarias.

La zona de estudio corresponde a la intersección de la avenida Guardia Civil (Carretera IIRSA) con la calle B de la urbanización Felipe Cossío del Pomar y calle Las Esmeraldas del A.A.H.H. Los Médanos, tal como se aprecia en la **Figura 2** y **Figura 3**, ubicado en el distrito de Castilla, provincia de Piura, departamento Piura.

El acceso de la calle Las Esmeraldas es una vía colectora que recibe medios de transporte urbano e interurbano, en el tramo existen dos instituciones educativas del nivel inicial y primaria, restaurantes y tiendas que genera gran influencia de vehículos. En tanto en la calle B de la urbanización Felipe Cossío del Pomar es una vía colectora que recibe asimismo transporte urbano e interurbano, locales comerciales como farmacias, restaurantes y el próximo centro de salud Castilla I-4; además de la atracción poblacional correspondiente de cada acceso.

Según el plan de desarrollo urbano al 2032, plantea una propuesta de sectorización de ocho sectores donde la zona de estudio se encuentra en el sector V-C que guía el crecimiento urbano de la ciudad de Castilla hacia los sectores noroeste y este. La zona de estudio se caracteriza por un crecimiento desordenado con lotes variados, se tiene un crecimiento sin planificación urbana, se cuentan con zonas que no tienen los servicios básicos y el nivel de estratificación social es baja.

Figura 2

Vista Satelital de Av. Guardia Civil Intersección Calle B-Cossío de Pomar y Calle 12 Las Esmeraldas- AA.HH. Los Médanos.



Nota. Adaptado de Google Maps (2022).

Figura 3

Vista 3D de la zona de estudio.



Nota. Adaptado de Google Maps (2022).

1.2 Antecedentes

De la investigación de Rodríguez, Z. (2019) titulado “Análisis del tráfico y propuesta de mejora en la intersección de la Av. Arnaldo Márquez y la calle Nazca en la ciudad de Lima” cuyo objetivo es brindar propuestas de mejora con gran presencia de usuarios vulnerables, se puede rescatar que ante problemas similares en diferentes partes del país y del mundo, la implementación de diversos programas para micro simulaciones con la correcta organización de la data conseguida en campo, es una de la manera más viable para poder diseñar y realizar el mejoramiento del modelo vehicular, además del ajuste de parámetros de calibración que se adaptan a la realidad de una intersección, debido a ello en la evaluación de sus resultados muestra la variación de tiempos y del parámetro de demora en el diseño actual con el de rediseño.

Se ha realizado un estudio de trabajo de investigación de tesis de pregrado por Ríos Cardich (2018) titulado “Modelación del tránsito y propuesta de solución vial a la Av. Cáceres con InfraWorks y Synchro 8” que plantea el análisis vial bajo el estudio de tráfico y revela las fallas técnicas en el sistema vial, propone medidas que no dañen el contexto urbano residencial con un rediseño de las intersecciones que consiste en agregar carriles segregados, con la optimización y sincronización de los semáforos.

El autor concluye que el análisis operacional muestra las soluciones integrales como mejoras óptimas en vez de optar por una intersección específica. Además de visualizar intersecciones innovadoras para escenarios futuros con gran volumen de tránsito debido a que se identificó que es una de las principales vías con mayor congestión.

En la investigación de Castillo R. (2020), titulado "Diagnóstico del tráfico y optimización del diseño geométrico de una intersección con semáforos", quien ejecuta la metodología basándose en Highway Capacity Manual (HCM 2010) para con ello obtener un análisis detallado de la intersección a partir de: volúmenes equivalentes, condiciones geométricas y de tránsito por acceso, una determinación de los conjuntos de movimientos y los grupos de carriles. Asimismo, adjunta el uso de dispositivos de control tales como son los semáforos, realiza el estudio de su sistema operacional y optimización; y proporciona diferentes alternativas antes distintos casos de geometría de carriles como soluciones factibles que sirven como guía para reformas futuras.

Estudios muy similares al objeto de estudio muestran que tener un análisis de tráfico permite tener una mejora en el desarrollo vial, con diferentes tipos de propuestas, tal como en el trabajo de grado del Bach. Ruiz Gallido (2016). "Análisis de tráfico y la Seguridad Vial de la carretera N-332 a su paso por el término Municipal de Favara (Valencia)" que estudia el comportamiento de la adecuación del tráfico y su entorno, se considera como problema principal el encuentro de vehículos de tráfico local y tráfico de largo recorrido en tramo urbano y los problemas relacionados con los accesos. En las propuestas dadas para la disminución de accidentes plantea la reducción de velocidad con el estrechamiento óptimo de carriles, la aplicación de infraestructuras como glorietas y el uso de speed kidney en los tramos urbanos, además de otras medidas complementarias en materia de seguridad.

De acuerdo con la información que se ha brindado por el requerimiento N° 026-2022-MDC-GSP-. SGTYYV (2022) emitido por el Ex Subgerente de Transporte, Tránsito y Vialidad. Se da a conocer la información por oficio de la comisaría de Táchala, emitido por el Cap. PNP Edwin Fernández Garay, comisario de la CPNP Tacalá, que informa la cantidad de accidentes de tránsito, así como los accidentes con muertes sucedidos desde el puente de La Primavera hasta la Universidad Alas Peruanas durante los años 2016 hasta el año 2022. En la Tabla 1 se muestra el registro de un total de 280 accidentes de tránsito no fatales y 2 muertes. En el año 2016, se registró una muerte y 47 accidentes de tránsito no fatales; en el año 2017, se registraron 37 accidentes de tránsito; en el 2018, una muerte y 42 accidentes de tránsito; en el 2019 se registraron 56 accidentes de tránsito; en el 2020 se registraron 34 accidentes de tránsito, uno de los años con menos accidentes de tránsito; en el 2021, se registran 48 accidentes de tránsito y en el 2022, 16 accidentes de tránsito futuros con gran volumen de tránsito debido a que se identificó que es una de las principales vías con mayor congestión.

En la investigación de Castillo R. (2020), titulado "Diagnóstico del tráfico y optimización del diseño geométrico de una intersección con semáforos", quien ejecuta la metodología basándose en Highway Capacity Manual (HCM 2010) para con ello obtener un análisis detallado de la intersección a partir de: volúmenes equivalentes, condiciones geométricas y de tránsito por acceso, una determinación de los conjuntos de movimientos y los grupos de carriles. Asimismo, adjunta el uso de dispositivos de control tales como son los semáforos, realiza el estudio de su sistema operacional y optimización; y proporciona diferentes alternativas antes distintos casos de geometría de carriles como soluciones factibles que sirven como guía para reformas futuras.

Estudios muy similares al objeto de estudio muestran que tener un análisis de tráfico permite tener una mejora en el desarrollo vial, con diferentes tipos de propuestas, tal como en el trabajo de grado del Bach. Ruiz Gallido (2016). "Análisis de tráfico y la Seguridad Vial de la carretera N-332 a su paso por el término Municipal de Favara (Valencia)" que estudia el comportamiento de la adecuación del tráfico y su entorno, se considera como problema principal el encuentro de vehículos de tráfico local y tráfico de largo recorrido en tramo urbano y los problemas relacionados con los accesos. En las propuestas dadas para la disminución de accidentes plantea la reducción de velocidad con el estrechamiento óptimo de carriles, la aplicación de infraestructuras como glorietas y el uso de speed kidney en los tramos urbanos, además de otras medidas complementarias en materia de seguridad.

De acuerdo con la información que se ha brindado por el requerimiento N° 026-2022-MDC-GSP-. SGTYYV (2022) emitido por el Ex Subgerente de Transporte, Tránsito y Vialidad. Se da a conocer la información por oficio de la comisaría de Tácala, emitido por el Cap. PNP Edwin Fernández Garay, comisario de la CPNP Tacalá, que informa la cantidad de accidentes de tránsito, así como los accidentes con muertes sucedidos desde el puente de La Primavera hasta la Universidad Alas Peruanas durante los años 2016 hasta el año 2022. En la Tabla 1 se muestra el registró de un total de 280 accidentes de tránsito no fatales y 2 muertes. En el año 2016, se registró una muerte y 47 accidentes de tránsito no fatales; en el año 2017, se registraron 37 accidentes de tránsito; en el 2018, una muerte y 42 accidentes de tránsito; en el 2019 se registraron 56 accidentes de tránsito; en el 2020 se registraron 34 accidentes de tránsito, uno de los años con menos accidentes de tránsito; en el 2021, se registran 48 accidentes de tránsito y en el 2022, 16 accidentes de tránsito.

Tabla 1

Accidentes de tránsito desde el puente de La Primavera hasta la UAP.

Accidentes de tránsito 2016 -2022								
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	TOTAL
Accidentes de tránsito no fatales	47	37	42	56	34	48	16	280
Accidentes de tránsito fatales	1	0	1	0	0	0	0	2
Total de accidentes de la zona	48	37	43	56	34	48	16	

Nota. Adaptado de Comisaria de Tacalá- Castilla (2022).

1.3 Formulación y planteamiento del problema

El flujo excesivo de vehículos cuando no existe la infraestructura y las normas adecuadas originan uno de los problemas más severos para la transitabilidad, tal como se puede observar en las grandes ciudades obteniéndose como consecuencias las demoras, incrementos de congestión, problemas ambientales y la lamentable pérdida de vidas.

En los últimos años en Piura se ha presentado un rápido crecimiento del transporte, lo cual ha llevado a que las principales vías presenten siniestros y congestionamiento vehicular. Una de las arterias principales de la red vial Piura es la prolongación avenida Guardia Civil que presenta problemas de seguridad vial que ponen en riesgo tanto a peatones y a conductores.

Con el mejoramiento de la avenida Guardia Civil se establecieron distintos dispositivos de control, como son los muros de contención cuyo objetivo era la separación de las vías, que bloquea el acceso peatonal y vehicular hacia el lado contrario, y en la sección dónde culminaban estaba prohibido el giro en U; muy aparte el espacio continuo no era el más factible para realizar aquellos movimientos. Asimismo, si bien es cierto que se implantaron puentes peatonales, estos no se encontraban en puntos estratégicos para que todas las personas acudan a ellos. En la zona de estudio la población tomó la decisión de retirar algunos bloques para permitir el paso, esta acción fue una medida “provisional”; sin embargo, hasta el día de hoy se ha visto como la mejor opción a usar debido a que no hay aún una solución por parte de las autoridades encargadas.

Como consecuencias de este problema se origina: el tráfico vehicular en horas punta debido a que es una vía con gran flujo de vehículos livianos y pesados; el impedimento de cambio de sentido de los vehículos, ya que no se permiten movimientos ni giros por norma o disponibilidad de la infraestructura, al igual que el cruce de peatones, discapacitados y ciclistas; y el aumento de siniestros que ocupan las vidas de personas y gastos económicos.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

La seguridad vial es un tema importante y a la vez muy discutido en el Perú, ya que es la que se encarga de salvaguardar la integridad física y minimizar los efectos que causan los siniestros de tránsito. En un país como este, dónde las vías, el sistema y las leyes aún están en desarrollo, es decir, aún hay deficiencias, nace la iniciativa de planes de mejora y soluciones que buscan la inclusión tanto del peatón como de los vehículos en un mismo espacio dónde se le dé prioridad a la seguridad, accesibilidad y fluidez del tránsito (MTC, 2017).

Según estadísticas de la Policía Nacional del Perú, estiman resultados de la accidentabilidad total en el Perú en los meses de enero y noviembre del 2020, un total de 2013 personas murieron y otras 1516 resultaron lesionadas en accidentes de tránsito inscritos en todo el país, a pesar de las restricciones establecidas durante la cuarentena. En el Perú se ha tratado de seguir el proyecto visión cero establecido por Suecia, el cual garantiza la vida de las personas con la reducción de la tasa de mortalidad en siniestros de tráfico, se implementan medidas de ingeniería suficientes, ya que está demostrado que el hombre por diversos factores puede cometer algún error, es por eso que las vías deben ser bien diseñadas y seguras con el objetivo de prevenir, eliminar o reducir al mínimo de todo riesgo.

En la región de Piura no se ha puesto en ejecución el objetivo sueco, se puede evidenciar en los problemas de accidentabilidad causados principalmente por la condición de las vías, incremento del parque automotor, los recursos económicos, el factor humano y por la mala ejecución de los proyectos. Basándose en estos problemas, este estudio tiene como propósito el análisis y diseño de una intersección vehicular que permita la factible circulación, tanto de buses, autos, motos, bicicletas y peatones.

El estudio surge como efecto de una necesidad percibida e iniciativa de queja de la población tal consecuencia de congestión vehicular, especialmente en determinados horarios y el peligro ante el peatón en el cruce de la vía principal. El cruce vial de la Av. Guardia Civil y Calle B muestran un volumen considerable de tráfico; el diseño existente incita al desorden y caos vehicular y peatonal, que provocan conductas agresivas por parte de los conductores, evidenciándose la capacidad restringida, los altos índices de siniestralidad, congestión de tráfico, colisiones laterales que incrementan aún más la problemática actual.

Lo particular que sucede en esta situación, es que es una intersección desfasada hacia la derecha lo que aumenta el grado de complejidad del diseño y visto que la literatura relevante es escasa, es necesario aplicar la metodología de prueba y error que conlleve a encontrar una viabilidad.

Se prioriza la investigación basada en la importancia de corregir la infraestructura vial, en la protección del medio ambiente y así mejorar el nivel y calidad de vida de las personas.

Se propone brindar soluciones que satisfagan las necesidades de la comunidad piurana, como base para otros estudios o proyectos con el objetivo de diseñar y mejorar la infraestructura vial en la ciudad de Castilla.

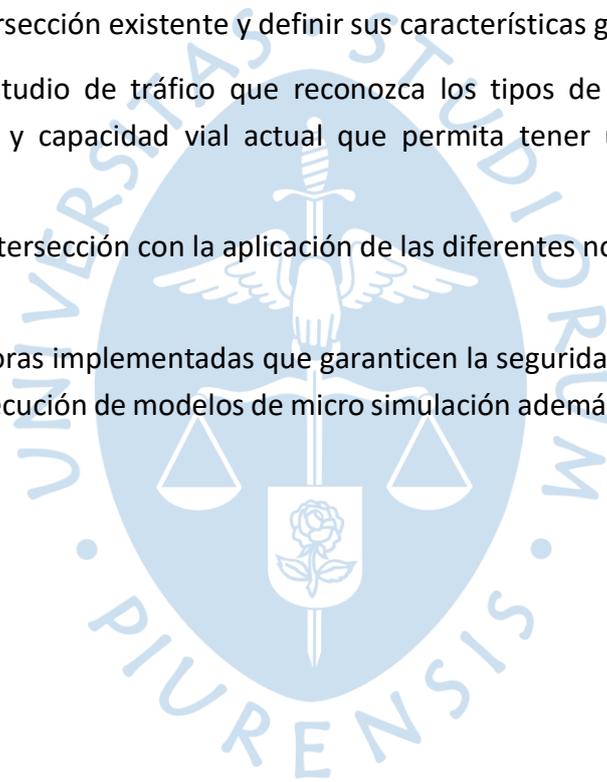
1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B, entrada segunda etapa Cossío del Pomar y AA. HH Los Médanos con micro simulación en el programa PTV VISSIM con el que permita solucionar el problema existente de accesibilidad y congestionamiento con la reducción del número de siniestros en la zona.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la intersección existente y definir sus características geométricas.
- Realizar un estudio de tráfico que reconozca los tipos de trayectoria, el nivel de serviciabilidad y capacidad vial actual que permita tener una base para estudios futuros.
- Diseñar una intersección con la aplicación de las diferentes normativas y el manual de seguridad vial.
- Proponer mejoras implementadas que garanticen la seguridad vial y la accesibilidad a través de la ejecución de modelos de micro simulación además de validación con datos actuales.



Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Aspectos generales del sistema de tránsito

Todo estudio de impacto vial tiene como fin determinar e identificar aquellos factores y variables que generan el flujo de tránsito, debido a que estos son elementos básicos que interactúan entre sí y son determinantes para la gestión de la infraestructura vial.

2.1.1 El vehículo

Es uno de los tres elementos principales en el sistema de transporte para proyectar vialidad y servicios de la demanda vehicular, ya que es la unidad móvil, ya sean livianos o pesados, en la que se desplazan los usuarios y mercancías. Son elemento clave para la definición geométrica de las carreteras, los cuales se pueden clasificar por el radio mínimo. Estos se agruparán según características físicas tales como la distancia entre ejes extremos, la entrevía y vuelos delantero y trasero. Se selecciona un vehículo representativo para el empleo del diseño, el cual se podrá encontrar en el vigente Reglamento Nacional de Vehículos.

El factor vehículo debe tener un enfoque pródigo debido a que los accidentes pueden ser causados por las condiciones mecánicas del vehículo o por las características de operación, ya sea freno o aceleración.

Para el trazo de una vía es necesario identificar para qué tipo de vehículo se diseñará, es decir qué tipo de medio es el más predominante, se requiere conocer sus características físicas ya sean estáticas, cinemáticas o dinámicas; debido a que determinaran cualidades de la vía tales como el tamaño de carril, sus componentes físicos, pendiente, peralte, capacidades de maniobra, entre otras. Para ello se categorizan y establecen grupos de los cuales se eligen vehículos representativos, se toma en cuenta que no se pueden elegir transportes extremadamente pesados cuya participación sea atípica en la vía, por lo cual el vehículo de diseño normal será el vehículo comercial rígido (camiones y/o buses).

Para una distinción más funcional, el Reglamento Nacional de Vehículos (2003) los clasifican en ligeros a aquellos que no condicionan al proyecto, desarrolla más velocidad y cuyas dimensiones representativas están comprendidas entre 2.10m de ancho y 5.80 m de largo. Una de las consignas que se establecen en el diseño son las asociadas a la visibilidad y dimensiones mínimas en las zonas de aparcamiento, dentro de este grupo se encuentran la categoría L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas) y M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Los vehículos pesados son aquellos destinados al transporte de mercancía o personas cuya masa máxima exceda las 3.5 toneladas o cuente con más de 8 asientos, estos establecerán en el diseño la sección del carril, la capacidad portante, radios en curvas, sobrecanchos de curvaturas, alturas libres mínimas permisibles y áreas de aparcamiento de vehículos pesados, a este grupo pertenece los vehículos de la categoría M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1), N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y construidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

Tabla 2

Características básicas de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras.

Tipo de Vehículo	Alto total	Ancho total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio min. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1.30	2.10	0.15	1.80	5.80	0.90	3.40	1.50	7.30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4.10	2.60	0.00	2.60	13.20	2.30	8.25	2.65	12.80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	15.00	3.20	7.75	4.05	13.70
Ómnibus articulado (BA-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	18.30	2.60	6.7/1.9 /4.0	3.10	12.80
Semirremolque simple (T2S1)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	6.0/12. 5	0.80	13.70

Remolque simple (C2R1)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	10.3/0.8/ 2.15/7.75	0.80	12.80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.4/6.8/ 1.4/6.8	1.40	13.70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4.10	2.60	0.00	2.60	23.00	1.20	5.45/5.70 /1.40/2.15 /5.7	1.40	13.70
Semirremolque simple (T3S3)	4.10	2.60	0.00	2.60	20.50	1.20	5.4/11.9	2.00	1.00

Nota. Adaptado del reglamento nacional de vehículos.

2.1.1.1 Trayectoria de vehículos. Debido a la necesidad de llegar a un punto B (destino) desde un punto A (origen) se crean patrones de viajes, circulación de personas y vehículos en un tiempo y área determinado por movimientos que hacen posible el intercambio de posición. Estos movimientos se deben llevar a cabo con fluidez y seguridad y más si serán empleados en intersecciones.

Los movimientos más comunes del flujo vehicular son:

- **Cruce recto:** movimiento dado entre vehículos por intersección que son perpendiculares, esta es un tipo de intersección ideal debido a que presenta menos cantidad de riesgo.
- **Cruce oblicuo:** es aquella bifurcación de 4 vías cuyos ángulos no son rectos debido al espacio geográfico en el que es determinado, en este tipo de cruce se debe tener en cuenta la longitud de incorporación.
- **Confluencia:** también llamado convergencia, es aquel flujo que reúnen en conjunto dos o más caminos, en este tipo de movimientos se suele dificultar el paso, por lo cual se aconseja aumentar los carriles para evitar los “cuellos de botella” y tener en cuenta los puntos ciegos.
- **Separación:** también conocido como divergencia, este movimiento desvía del flujo principal a través de ramales o lo divide en cantidades iguales, aquí es muy importante establecer un buen diseño vial debido al desbalance de carriles

- **Entrecruzamiento:** establecida en intersecciones desplazadas de 4 enlaces. Será necesario proponer soluciones prácticas para minimizar los siniestros al momento del cambio de carril

Figura 4

Tipos de movimientos de los flujos vehiculares.



Nota. Adaptado de secretaría del tránsito y transporte de Bogotá (2010).

Para Fernández (2011), en toda intersección se crearán puntos de conflicto durante la circulación las cuales se clasifican en concurrentes, direccionales y funcionales.

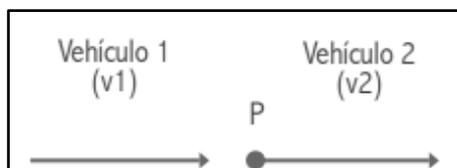
- Los conflictos concurrentes son de circulación continua suceden en la misma parte de la carretera, gira en la misma dirección, pero a diferentes velocidades. El vehículo 1 viaja más rápido que el vehículo 2. Por lo tanto, todos se encuentran en el punto P en algún momento.

Hay tres posibles escenarios en este conflicto:

- El vehículo 1 adelanta al vehículo 2
- El vehículo 1 ajusta su velocidad a la del vehículo 2 igualándola
- Accidente: el vehículo 1 choca con el vehículo 2.

Figura 5

Conflictos concurrentes.



Nota. Adaptado de elementos de la teoría del tráfico vehicular.

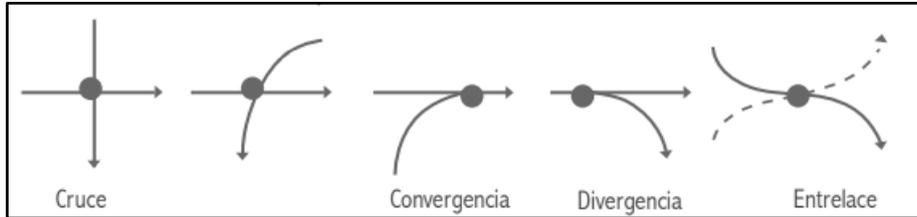
- El conflicto de direcciones cuya circulación es interrumpida, se origina en la misma zona del cruce debido a las distintas maniobras que realizan los vehículos. Hay tres posibles escenarios en este conflicto:
 - El vehículo 2 siempre cede el paso al vehículo 1 (señal de prioridad)

B) Debido a semáforos el derecho de paso se alterna con el tiempo

C) Siniestro: Colisión de vehículos.

Figura 6

Conflictos direccionales.



Nota. Adaptado de elementos de la teoría del tráfico vehicular.

- Los conflictos funcionales se producen debido a los diferentes objetivos de los vehículos, ocurren en el lugar (formal o informal) de la terminal como es el caso de los buses para el recojo o disminución de carga o pasajeros. Hay tres posibles escenarios en este conflicto:

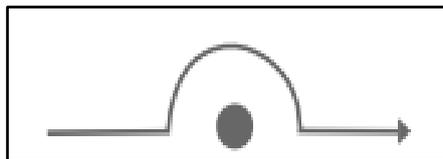
A) El vehículo 1 adelanta al 2.

B) Vehículo 1 se detiene tras el vehículo 2, mientras este carga y descarga.

C) Accidente: el vehículo 1 colisiona con el vehículo 2 (p.17).

Figura 7

Conflictos funcionales.



Nota. Adaptado de elementos de la teoría del tráfico vehicular.

Sin lugar a duda, el peor escenario en un conflicto es el accidente, sin embargo, se pueden generar escenarios no tan catastróficos como este con consecuencias negativas como retrasos no deseados, paros y colas.

2.1.1.2 Velocidades de diseño. Las velocidades de diseño estarán establecidas en función de la demanda del IMDA y de su tipo de orografía, esta se define como la velocidad escogida a lo largo de un tramo, la cual permita al vehículo recorrer sin ser sorprendido por cambios bruscos que lo pongan en riesgo, nos permite calcular todas las demás condiciones geométricas como el vehículo de diseño se considera al presentar restricciones o parámetros que no se cumplan en tal caso se reduciría la velocidad de diseño.

Tabla 3

Rangos de velocidad de diseño según la demanda y orografía de la carretera.

Clasificación	Orografía	Velocidad de diseño de un tramo homogéneo vtr (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

En todos los proyectos se espera que la velocidad de diseño sea mayor a la velocidad de marcha o cruce de los vehículos así se garantiza la seguridad y comodidad, por esta cuestión se caracteriza por ser la máxima empleada.

2.1.2 El usuario

Corresponde al factor humano y es definido como aquel que hace uso de las facilidades de la ingeniería de tránsito, ya sea en el papel de peatón o conductor, del cual se deberán analizar sus comportamientos, reacciones y restricciones ante estímulos externos.

El peatón potencial se puede considerar a la población en general, ya que en algún momento hacen uso de las aceras o intersecciones. Este entre todos los modos de transporte es el más endeble y afectado porque no tiene un elemento protector sobre él; sin embargo, se incrementan sistemas que garanticen su seguridad ya sean aceras, pasos a nivel, isletas y el paso de cebra que le da prioridad al cruce de este.

El conductor al ser una criatura racional tiene carencias y limitaciones a la hora de tomar decisiones, dentro de estas privaciones se encuentra la visión, la cual permite al conductor definir la claridad con la que puede ver, la amplitud del área que se puede percibir y distinguir los diferentes colores que permiten captar las señales y luces de freno. Otras condiciones importantes en el conductor son las reacciones físicas y psicológicas ante elementos fortuitos, estos hábitos están ligados al entrenamiento y las horas de conducción. De esta manera, el proceso intelectual que culmina en un juicio que recibe estímulos, los identifica, reacciona y llega a una decisión para actuar, esta está afectada por las emociones y causas que aumentan la accidentabilidad.

Es necesario reconocer a los pasajeros y ciclistas como elementos, ya que de una u otra manera, ya sea por motivos de recreación o trabajo, deben desplazarse de un lugar a otro con disposiciones exclusivas o mezcladas con el tránsito vehicular. Estos son usuarios necesarios debido a que origina ventajas como la disminución de la contaminación atmosférica, congestión vehicular y costos de transporte, además en el ámbito ecológico resulta ser sostenible y permite el buen nivel de actividad física y de la salud.

2.1.3 Las vías

Uno de los indicadores del grado de desarrollo de un país, es la infraestructura de su red vial, ya que su calidad y magnitud representa un valioso patrimonio. Según el Reglamento Nacional de Tránsito (2003) una vía comprende a la calzada, acera, berma, cuneta, el estacionamiento, separador central, jardín y el equipamiento de servicios necesarios para su utilización. Además, se entiende por camino, aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. Esta denominación incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano a las calles de la ciudad (Cal y Mayor, 1994).

El enfoque de estudio de un proyecto se centra en la vialidad del perímetro urbano, el cual se clasifica por su funcionalidad, es por ello que se descompone en tres grupos: arteriales o principales, colectoras o secundarias y locales.

2.1.4 Elementos geométricos

2.1.4.1 Carril. Frente a los alcances de la seguridad vial de un proyecto es importante determinar el número y ancho de carriles debido a que estos son parámetros críticos en la consistencia de la infraestructura.

El carril está considerado como la faja de la calzada por la cual circula una sola fila de vehículos. Dentro del modelo de conducción se hace el resalte de la orientación adecuada mediante el proceso de toma de decisiones para posicionarse en el carril deseado, ya sea para girar, adelantar, entre otros movimientos.

Se estima estándar el ancho de un carril de 3.65 m, si este tiene más de 4.8 m deberá considerarse como dos carriles y no se recomienda en ningún caso calcular anchos de carriles menores a 2.4 m (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018). La práctica ha demostrado que la seguridad está más relacionada con el ancho de carriles que con el número de carriles y este está comprendido por la demanda en la carretera. Según investigaciones realizadas en Massachusetts, se demostró que el registro de accidentalidad era mayor en 2 carriles que en 3, y a pesar de tener más flujo de vehículos en 4 carriles el índice fue menor.

Se debe tener en cuenta que la intensidad de saturación tendrá gran impacto si el ancho del carril es demasiado angosto debido a la disminución de velocidad, pero simultáneamente aumentará el flujo si es demasiado amplio.

El Manual propone anchos de carril, los cuales están relacionados con el índice medio diario anual obtenido y la intervención de los vehículos de carga.

Tabla 4

Anchos de carril y acotamientos recomendados.

IMDA	Velocidad de diseño (km/h)	Porcentaje de vehículos de carga			
		>10%		<10%	
		Ancho en metros			
		Carril	Carril + acotamiento	Carril	Carril + acotamiento
1-750	<50	3.00	3.70	2.70	3.30
	>50	3.00	3.70	3.00	3.70
715-2000	<50	3.30	4.00	3.00	3.70
	>50	3.701	4.60	3.00	4.30
>2000	Todas	3.70	5.50	3.30	5.20

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

2.1.4.2 Bermas. Son la parte de la estructura vial destinada al soporte lateral de la calzada, ya sea para el tránsito de peatones, animales y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia (Código Nacional de Tránsito, 2002).

En las intersecciones no es de obligatoria necesidad el uso de las bermas, sin embargo, de usarse es indispensable establecer su dimensión y proporcionar que la velocidad de giro sea hasta 15 Km/h. y la distancia mínima de las ruedas interiores al borde del pavimento (0,30 m), a lo largo de la trayectoria.

2.1.4.3 Islas. Corresponden al elemento estructural cuyas funciones principales son separar los movimientos, dirigir las trayectorias y prevalecer la seguridad vial. Son también conocidas como plazoletas, éstas pueden estar delimitadas por pintura en el pavimento o sobreelevadas con sardineles como bordes.

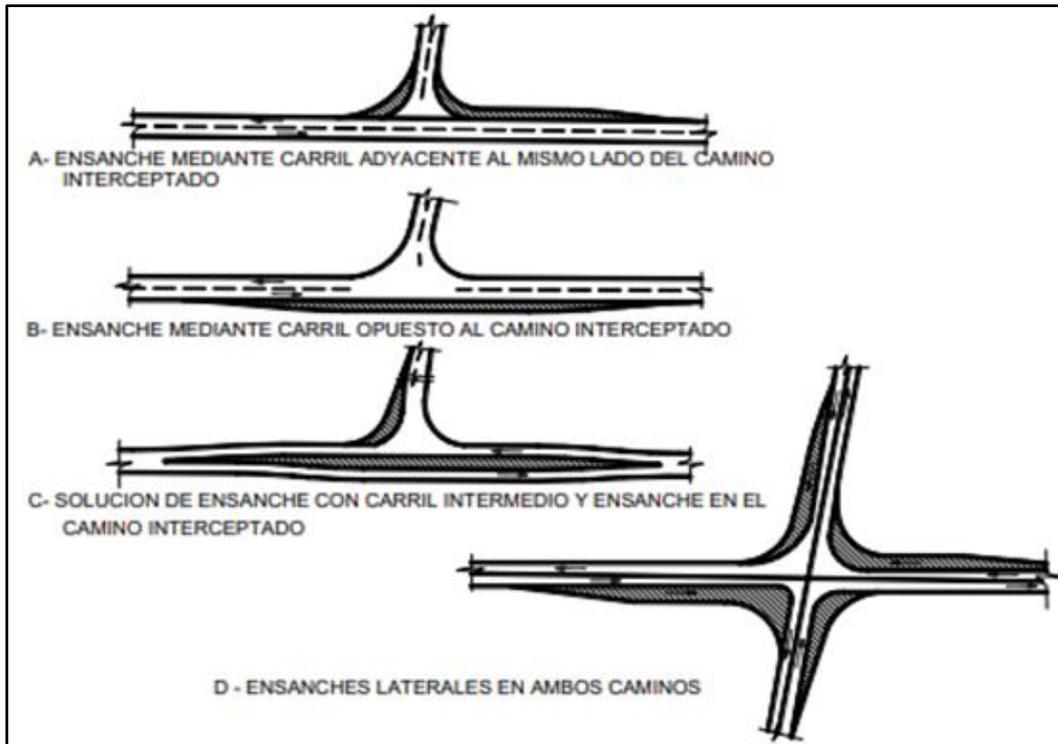
Las islas no tienen una geometría definida, pueden reemplazar o funcionar con el elemento central en el camino para reducir el riesgo de colisión frontal del vehículo. El MTC (2018) clasifica a las islas según su función en:

- Divisorias o separadoras: tienen forma de lágrima y se utilizan principalmente cerca de las intersecciones y en carreteras no divididas, también se utilizan para separar direcciones de tráfico iguales u opuestas. Deben tener una longitud mínima de 30 m, es preferible que sean mayores a 100 m.
- De canalización, encauzamiento o direccional: están diseñadas para controlar y guiar los movimientos del tráfico, en especial los giros. Determinan la ruta correcta que debe seguir el conductor para realizar un movimiento específico en una intersección. Según las características y dimensiones de la intersección se pueden dividir en: triangulares, con un lado mínimo de 2.40 m a 3.60 m para separar giros a la derecha; y centrales, alrededor de las cuales los vehículos efectúan sus giros, deben tener como mínimo entre 4.50 m² y 7.00 m².
- De refugio: funcionan como un área protegida para los peatones, se pueden utilizar para evitar intersecciones demasiado largas y para facilitar el cruce de la vía en los ramales de la intersección.

2.1.4.4 Ensanches. Pertenecen a una solución frente a factores de diseño o espacio cuando no es factible una intersección canalizada. Esta forma de diseño produce el efecto de aumentar la capacidad de cruce, a la vez que separa los puntos de conflicto. También permite crear zonas de protección para los vehículos de maniobras más lentas, con lo que facilita los flujos de tránsito directo. Ver **Figura 8. Ejemplos se ensanches de la sección de los accesos al cruce.**

Figura 8

Ejemplos de ensanches de la sección de los accesos al cruce.



Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

2.1.4.5 Separador central. Se denomina al separador central en las vías, a la banda o sector longitudinal que independiza a las calzadas o la vía entre los distintos sentidos de circulación, y a la vez crea zonas de emergencia en caso de desviación de vehículos y permite la disminución de alumbramientos en la noche. Por lo general, en las autopistas de primera clase son fajas de terreno de 6 m, mientras que en las de segunda clase serán entre 6 a 1 m o según la factibilidad de instalar sistemas de contención vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, pp. 199-200).

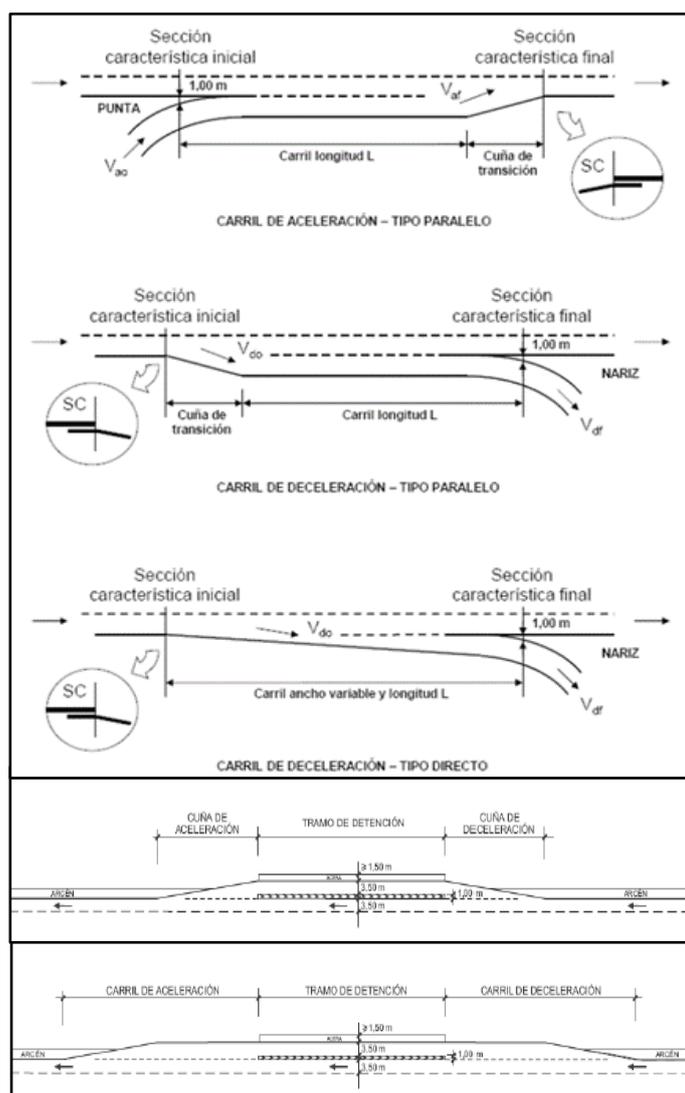
En las carreteras, las intersecciones están diseñadas para adelantar a los vehículos que cruzan la calle o giran a la izquierda a través del área divisoria central. La pendiente transversal del área de partición no debe exceder el 5% y el ancho de la abertura de la partición central no debe ser inferior a 12 m. En cualquier caso, estas dimensiones deberán especificarse en el diseño, según lo requiera el cruce de caminos.

Los giros en U no deben ser considerados en el diseño geométrico de las carreteras, ya que comprometerían la seguridad vial; en cualquier caso, en los cruces a nivel de carretera se deben diseñar rotondas u otras soluciones adecuadas para el retorno de los vehículos.

2.1.4.6 Carriles auxiliares. Es aquel carril que permite el fácil acceso de ingreso o salida vehículos de una vía a otra sin interrupciones; además posibilitan las maniobras de giros en U para una rápida clasificación se agrupan tres tipos: carril de aceleración, es un carril de entrada asistida para vehículos que pretenden incorporarse a otro carril de circulación rápida dónde deben ganar una velocidad similar a la del tráfico; carriles de desaceleración, en los que los vehículos pueden reducir su velocidad para facilitar su salida sin perturbar el flujo de vehículos que circulan por la vía principal; y carril exclusivo para autobuses o taxi, estos carriles están reservados para el uso específico de autobuses públicos de pasajeros o taxis, respectivamente. Las palabras "solo bus" o "taxi" en el pavimento se utilizan para indicar que los carriles o áreas de la vía están reservados temporal o permanentemente para la circulación, estacionamiento o parada de estos vehículos. Ver **Figura 9**

Figura 9

Vista en planta y de perfil del carril de aceleración y deceleración.



Nota. Adaptado de BOE España (2016).

2.1.5 Dispositivos de control de tránsito

Como último elemento, pero no menos importante, se tiene a aquellos dispositivos que regulan, previenen y guían la circulación vehicular y peatonal para garantizar la seguridad, orden y fluidez. En efecto, a través de la señalización se indica la correcta manera de circulación, evita riesgos y optimiza los tiempos de viaje.

Para satisfacer determinados aspectos claves se deben cumplir los siguientes requisitos: que sea necesario, visible, legible, fácil de entender, dar tiempo suficiente para responder e infundir respeto, entre otros.

Los dispositivos de control son ubicados sobre o adyacentes a las vías en los tramos de circulación y se clasifican en: señales, marcas, obras y dispositivos diversos, dispositivos para protección en obra y semáforos.

2.2 Seguridad Vial

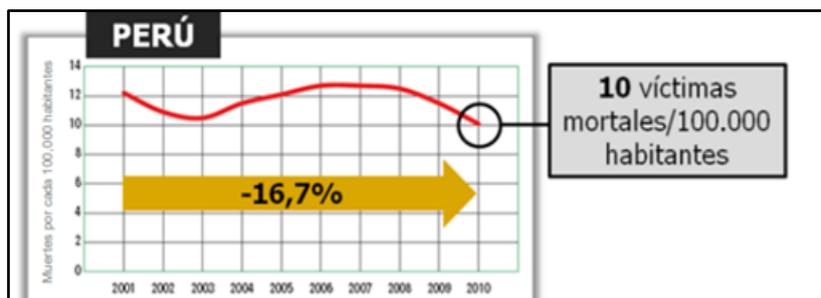
Frente a la necesidad de reducir siniestros que cobran víctimas mortales y pérdidas económicas, nace el concepto de seguridad vial. El Manual de Seguridad Vial (MTC,2017) lo define como “toda acción encaminada a prevenir o evitar riesgo de accidentes en las vías y disminuir el impacto social negativo por causa de accidentabilidad”. En este concepto se abarcan ítems primordiales como la gestión de la seguridad vial, las vías por las cuales se transcurren, los vehículos que brindan seguridad, la mejora del comportamiento de los usuarios y las respuestas adecuadas ante accidentes y emergencias.

Debido a que el objetivo principal de la seguridad vial es el mejoramiento de la calidad de la transitabilidad, esta propone principios básicos que deben intervenir en los proyectos en lo local, regional y nacional como respuesta a los principales factores que aportan a los siniestros, ya sea por la limitación física y cognitiva de los humanos, por las características de la infraestructura vial o por el estado técnico del automóvil.

2.2.1 Seguridad vial en el Perú y el mundo.

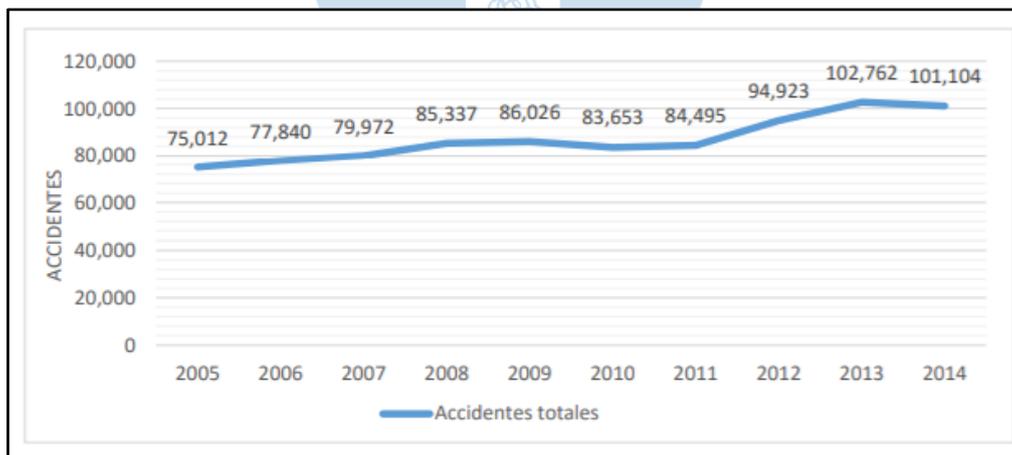
La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera los accidentes de tránsito como un problema de salud pública, ya que ocurren con frecuencia, causan discapacidad grave, sufrimiento y muerte, aunque puede controlarse con la implementación de estrategias efectivas y socialmente aceptables.

Según la OMS en el Perú el número de siniestros fueron 10 víctimas mortales por cada 100 000 habitantes en el 2010 (ver **Figura 10**), pero al compararse con países desarrollados se encuentra superior en número de fallecidos.

Figura 10*Víctimas mortales en el Perú.**Nota.* Adaptado de Organización Mundial de la Salud (OMS)

La accidentabilidad en el Perú ha crecido a lo largo del tiempo, las estadísticas generales indican que las muertes por siniestros de tránsito han aumentado en los últimos 10 años en más de un 30%, tal como se indica en la **Figura 11** con lo cual se ha evitado en este periodo más de 850,000 accidentes.

Los siniestros viales son considerados como un tema de impacto económico y social, convirtiéndose en un problema de salud pública para la población. El Estado tiene la responsabilidad de trabajar para reducir la siniestralidad en la carretera, debe utilizar todos los medios posibles y disponibles.

Figura 11*Evaluación de los accidentes en Perú 2005-2014.**Nota.* Adaptado de Manual de Seguridad Vial.

2.2.1.1 Seguridad vial y accidentalidad en el mundo. El mayor problema es que América Latina y el Caribe tienen una de las tasas de mortalidad más altas por accidentes de tránsito después de África y Medio Oriente. Estas cifras van acompañadas de un desarrollo rápido en el número de vehículos motorizados, con un incremento en el 60 % entre 2005 y 2015 en toda la región, por lo que se espera que se mantengan en el podio si no obtiene cambios ante este auge.

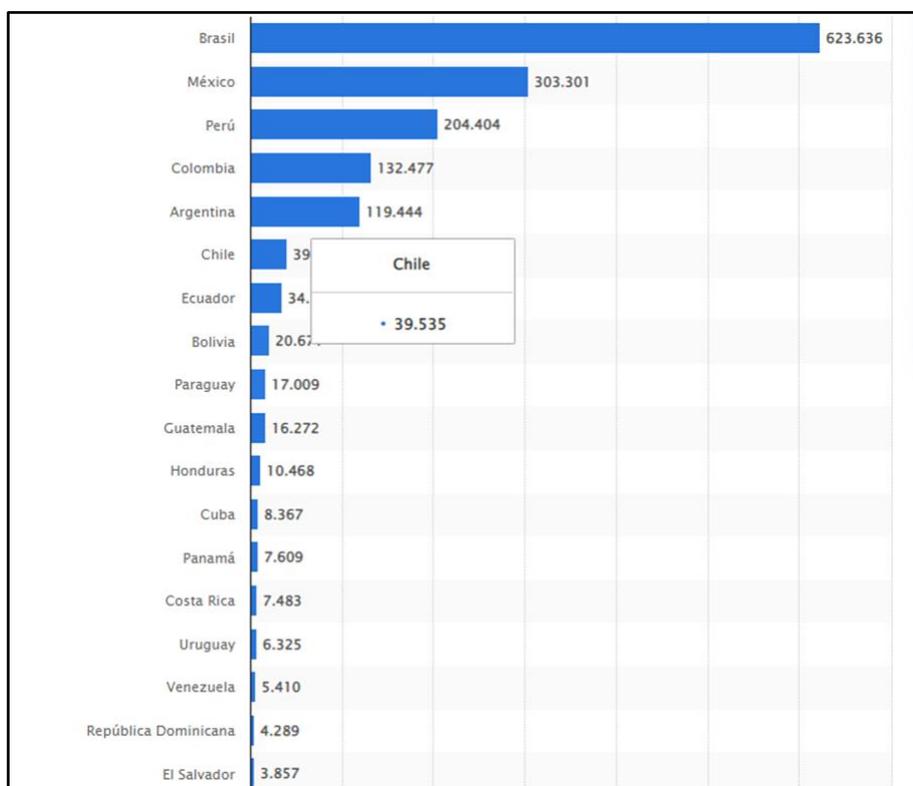
El informe sobre el estado de la seguridad vial en el mundo presentado por la OMS en diciembre de 2018 muestra que el número de muertes en carretera sigue en incremento con una media de 1.35 millones de muertes anuales. Se destaca que los accidentes de tránsito son ahora la principal causa de mortalidad entre niños y adolescentes de 5 a 29 años. Michael R. Bloomberg menciona “La seguridad vial es un problema que no recibe la atención que merece, y realmente es una de nuestras grandes oportunidades para salvar vidas en todo el mundo”. La responsabilidad recae de manera desmedida en los peatones, ciclistas y motociclistas, en especial los que pertenecen a países desarrollados, llamados “usuarios vulnerables de la vía pública” que representan la mitad de todas las muertes por accidentes de tránsito en todo el mundo y mayor proporción en ciudades de ingresos bajos.

A pesar de las restricciones y medidas tomadas por la aparición de la Covid-19, la accidentabilidad sigue en aumento. Más de 5,7 millones de personas en todo el mundo han muerto a causa de este virus, ver la Figura 12 que muestra cifras oficiales al 28 de enero de 2022 y es probable que esta cifra aumente. Por otro lado, con fines ilustrativos y no comparativos, los accidentes de tráfico matan a 1,35 millones de personas y deja 50 millones de traumatismos por año. Un nuevo informe del GRSF (Global Road Safety Fund) con el apoyo del Banco Mundial y la Alianza del Reino Unido, examina los desafíos y oportunidades de esta red de protección en países de bajos y medianos ingresos, al elaborar y fortalecer el sistema de seguridad vial. Esta no es tarea fácil y se enfrentan a un gran desafío: la tendencia al aumento de muertes y traumatismos.

El Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030, tiene como objetivo reducir el número de muertes y lesiones en al menos un 50% para 2030 y el sistema de las Naciones Unidas continuará con el trabajo de la seguridad vial para alcanzar este fin. Esto no solo contribuirá a reducir las muertes y heridos en las carreteras, sino que también garantizará la disponibilidad de vías más seguras en todas las regiones del mundo para promover la sostenibilidad económica, ecológica y social.

Figura 12

Número de muertes por el nuevo coronavirus (COVID-19) en América Latina y el Caribe por país.



Nota. Adaptado de Statista (2022).

2.2.1.2 Seguridad vial y accidentalidad en el Perú. En el 2020 los accidentes de tránsito disminuyeron tanto en el país como a nivel mundial, esto se debe a las medidas de emergencia que se estableció como: la cuarentena y a las otras restricciones que se impusieron por la pandemia del Coronavirus.

En la **Figura 13** y **Figura 14** se aprecia los datos estadísticos establecidos por la Policía Nacional del Perú, el número de accidentes de tránsito disminuyó un 40% respecto al período de 2019, registrándose 95,800 accidentes de tránsito con consecuencias fatales y 3,110 muertes. En tanto en el 2020, 2159 muertes y 57296 accidentes de tránsito.

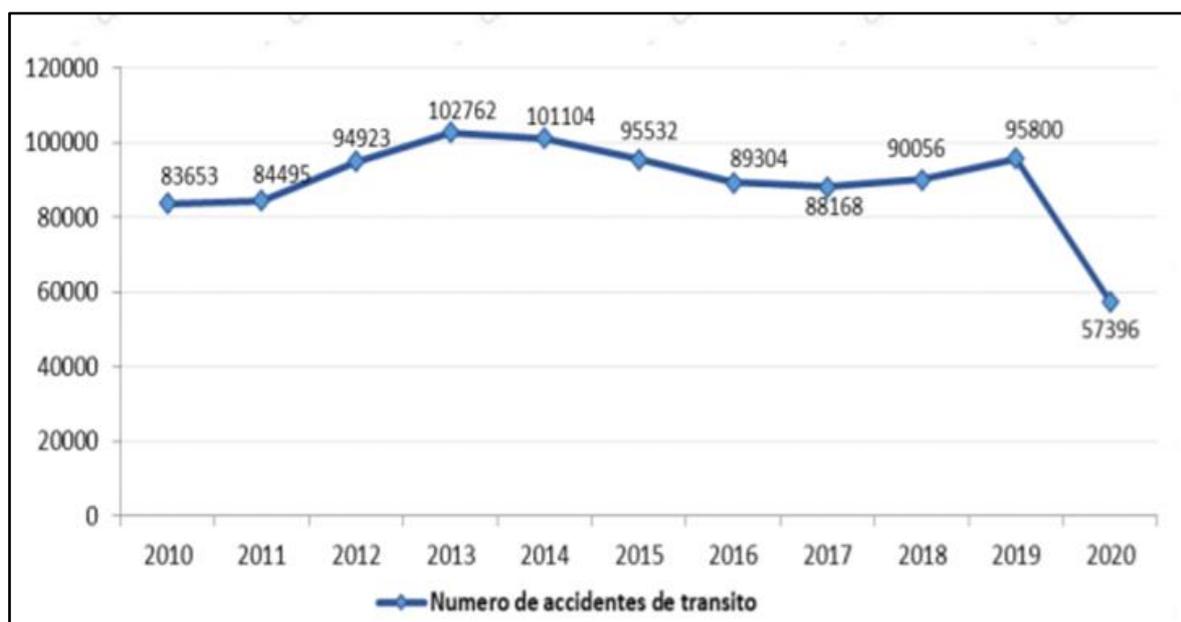
Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), las estadísticas generales en el primer semestre del 2021 muestran un aumento del 32.5% en los accidentes de tránsito al primer semestre del 2020. Esto se debe a que en el 2021 como parte de la reactivación de la economía se activó el transporte público y privado, lo que evidenció una ampliación de siniestros viales.

En la **Figura 15** con respecto a las causas de siniestros, el MTC registró al menos 24,103 siniestros en el primer semestre del 2021, donde se ha determinado que en el 69.1% de los siniestros, el factor principal es el factor humano ya sea por la imprudencia del conductor del vehículo, el exceso de velocidad, la imprudencia de los peatones al cruzar la calle o conducir en estado de ebriedad; seguido del factor de vehículo, fallas mecánicas como faltas de luces que representa el 2%; factor infraestructura y entorno vial 3.2% y otras causas no identificadas son al menos el 25.8%.

Según la dirección de Seguridad vial (MTC; 2021) a nivel nacional con mayor incidencia de siniestros viales se registró a Lima con un 48.3%, 16,848 accidentes; La Libertad con 5.6 %, 1,971; por debajo se encuentra Piura, en el cuarto lugar, con un 4.6% y un total de 1597 accidentes de tránsito. Se registro más de 15,333 vehículos menores involucrados en siniestros viales a nivel nacional, del cual se concluyó que el medio con la mayor incidencia es la moto lineal y mototaxi, en Lima se registraron 5,270 (39.3%) vehículos; seguido de Piura con 1,154 (8.6%).

Figura 13

Tendencia de accidentes de tránsito 2010 – 2020.



Nota. Adaptado de Anuario estadístico Policía Nacional del Perú (2020)

Figura 14

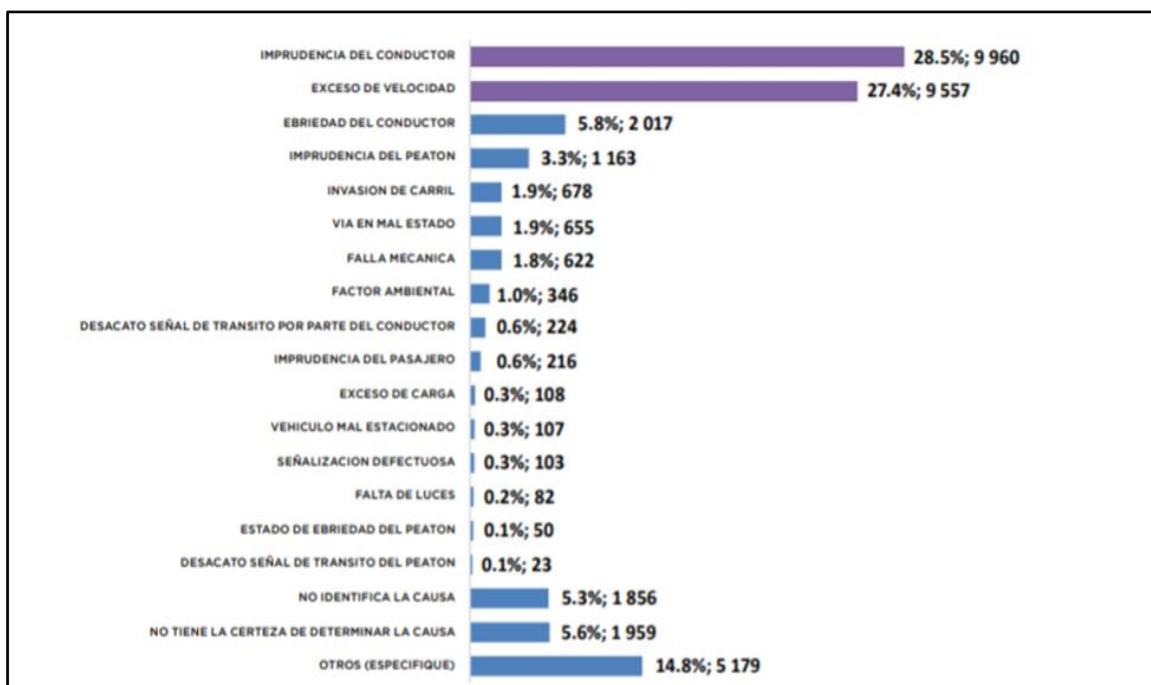
Número de heridos y muertos por accidentes de tránsito 2010 – 2020.



Nota. Adaptado de Anuario estadístico 2020, Policía Nacional del Perú.

Figura 15

Causas de siniestros viales, I semestre 2021.



Nota. Adaptado de DIVEST/DIRTIC – PNP

2.2.2 Planes de seguridad vial

Los planes de seguridad vial establecen acciones, mecanismos y medidas definitivas por las entidades públicas y/o privadas con la finalidad de disminuir la tasa de accidentabilidad y cifras de mortalidad. Los planes de seguridad vial integrales permiten tener la planificación y coordinación de todos los trabajos con su respectiva entidad de acuerdo con el nivel de gobierno regional, provincial o local. Las medidas, estrategias y acciones permiten mejorar las condiciones de seguridad de los proyectos y carreteras del sistema vial, promover la seguridad del usuario y comportamiento en las vías de tránsito, y adquirir una conducta adecuada y hábitos que mejoren sus capacidades.

La OMS y las Comisiones Regionales de Naciones Unidas fueron los encargados de elaborar el Plan Mundial de Seguridad Vial, documento que facilite la orientación y desarrollo de sus objetivos. En el 2009 la OMS publicó un estudio que ha determinado que la mitad de las personas que mueren cada año por siniestros viales son peatones, motociclistas, ciclistas y pasajeros del transporte público. En consecuencia, se emitió una sucesión de recomendaciones en la que se determina que los países deben evaluar en estado real la seguridad vial y estrategias que consideren las necesidades de los usuarios en las vías, además de que se establezcan objetivos realistas para un periodo de 5 a 10 años (MTC_Seguridad Vial 2017).

2.2.2.1 Tipos de planes de seguridad vial

2.2.2.1.1 Plan estratégico de seguridad vial (PESV). Es un documento que contiene estrategias, acciones, mecanismos y medidas que se deben adoptar con carácter obligatorio. En base a dos puntos principales como es la persuasión y disuasión. La persuasión visualiza como herramienta la movilidad, y la disuasión adopta medidas provocadas directa o indirectamente por la accidentalidad o factores de riesgo poco frecuentes (Castro, L, Mendoza B. 2021).

En 2009 la Comisión Mundial de Seguridad Vial pidió un Decenio de Acción para la Seguridad Vial, en su informe el secretario general de las Naciones Unidas alentó a los estados a apoyar los esfuerzos para establecer dicho Decenio y brindar oportunidades de coordinación a largo plazo. Acciones para apoyar la seguridad vial a nivel local, nacional y regional. En marzo de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró 2011-2020 la "Década de Acción para la Seguridad Vial", con el objetivo general de estabilizar y posteriormente reducir las muertes en carretera en todo el mundo.

El objetivo principal del Plan para la Década de Acción es lograr un "sistema seguro", basado en el desarrollo de un estilo de transporte por carretera que tenga en cuenta las deficiencias humanas y las vulnerabilidades físicas del cuerpo humano. Lo primero es admitir que el error humano es parte de la naturaleza del hombre y, por tanto, los accidentes de tráfico no se puedan evitar por completo.

La finalidad de este sistema de seguridad es evitar lesiones graves a las personas. Asimismo, el enfoque asume que las limitaciones humanas (la energía cinética que el cuerpo humano puede soportar) son esenciales como una base importante para el diseño y otros aspectos de los sistemas viales como el entorno de las carreteras y el desarrollo de los vehículos, los cuales deben armonizarse de acuerdo con ese límite.

Este enfoque transfiere gran parte de la responsabilidad de los usuarios de las carreteras a los diseñadores del sistema de transporte, incluidos los administradores, la industria automotriz, la policía, los políticos y otras partes interesadas.

Cabe resaltar que la importancia de las acciones debe llevarse a cabo al nivel más apropiado y así fomentar la participación de una amplia gama de sectores (transporte, sanidad, policía, justicia, urbanismo, mercado, etc.). Las ONG, la sociedad civil y el sector privado deben participar en el desarrollo y la implementación de acciones nacionales e internacionales para lograr los objetivos del Decenio.

El Plan mundial para la segunda década de Acción por la Seguridad Vial que las Naciones Unidas decretó el 18 de agosto, tiene como preocupación la seguridad vial, por ello lo establece como prioridad política, rechaza las intervenciones tradicionales y hace un llamado a los gobiernos e interesados a seguir un nuevo camino, uno que favorezca al enfoque integrado de la seguridad vial con sistemas seguros, operar y considerar directamente como la clave impulsora de los objetivos de desarrollo sostenible.

El objetivo del Segundo Decenio consiste en reducir el 50% de traumatismos y fenecimientos causados por accidentes de tránsito a nivel mundial hasta el 2030. Además, se plantea que todos puedan acceder a un sistema de transporte seguro, asequible y sostenible, con medidas que permitan ampliar y mejorar el transporte público, y así también se consideran las necesidades de las personas en situaciones vulnerables, mujeres, niños, ancianos y etc.

La pandemia de la Covid-19 ha remarcado que durante la próxima década la demanda de movilidad crecerá inevitablemente, lo que conducirá a cambios en el sistema de transporte de forma impredecible es por ello que se deber garantizar que estos cambios no provoquen la muerte o lesiones requerirá una vigilancia y una adaptación constantes.

2.2.2.1.2 Planes específicos de seguridad vial. Estos son sistemáticos y comprensivos en base a la seguridad vial que enlaza aspectos sectoriales o específicos. Se plantea los siguientes planes (MTC, 2017).

- Planes de seguridad vial en las empresas.
- Planes específicos de seguridad vial para usuarios vulnerables o de riesgo.
- Plan de Seguridad Vial Urbana.

2.3 Estudio de tráfico

El estudio de tráfico proporciona datos estadísticos tales como la cuantificación, clasificación y el volumen de vehículos que circulan por un camino determinado, empleándose una metodología dividida en tres fases: recopilación de información, procesamiento y tabulación de datos, y análisis y obtención de resultados.

Para el desarrollo del estudio se requieren conteos volumétricos obtenidos de una observación temporal y espacial que establecen variables que ayudan a entender el comportamiento de los vehículos

2.3.1 Volumen de tránsito

Es el número de vehículos o personas que pasan por una sección transversal en un periodo de tiempo determinado, con características temporales y espaciales originado por el deseo de realizar viajes hasta cierto punto o por su estilo y formas que generan patrones de desplazamiento en ciertas horas, días, semanas y épocas del año, según su especificación de tiempo del estudio podrá calcularse el volumen de tránsito correspondiente.

Estos valores tienen la característica de ser dinámicos debido a que no son constantes por diversos factores de atracción; sin embargo, por lo general son rítmicos y repetitivos, por lo cual será necesario conocer la variación periódica, la distribución por tipos de vehículos, carriles y sentido direccional para el planteamiento y operación del proyecto.

2.3.2 Índice medio diario anual:

El volumen de tránsito promedio o índice medio diario anual (IMDA) hace referencia al valor numérico estimado del tráfico para todos los días de un año en una sección dada de la vía. Este es un promedio aritmético, el cual es importante debido a que sirve como determinante para proyecciones de vías, realizar el diseño geométrico, y plantear mejoras que permitan la factibilidad económica del proyecto. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{IMDA} = \text{IMDS} \times \text{FC}$$

Ecuación 1

Donde el IMDS corresponde al Índice Medio Diario Semanal, que es el promedio del volumen de tráfico diario de cada clase de vehículo durante los 7 días de la semana, y FC corresponde al Factor de Corrección Estacional establecido por PROVIAS NACIONAL, el cual relaciona la muestra de flujo vehicular con el comportamiento anual que elimina la estacionalidad originada por eventos extraordinarios.

2.3.3 Volumen horario de diseño:

El Volumen horario de diseño (VHD) muestra la variación del grupo de vehículos durante las distintas horas del día, este valor suele ser usado como base para el diseño de las características geométricas debido a que estudia la evolución en el tiempo, además cuenta las variaciones críticas ya sean estacionales y diarias para así evitar problemas de congestión. Guarda una relación del 12 y 18% con el IMDA según sea el coeficiente de orden (k) que se distribuya en la zona. Para el proyecto es relevante determinar que no se puede usar el máximo volumen horario debido a que representa un elevado costo de inversión, obteniéndose como mejor opción trabajar con volumen horario trigésimo anual, es decir, aquel que es excedido por 29 volúmenes horarios.

$$VHD_{\text{año } i} = 0.12 \sim 0.18 \text{ IMDA}_{\text{año } i} \quad \text{Ecuación 2}$$

2.3.4 Crecimiento del tránsito

Debido al crecimiento y evolución de la población originado por diversos factores, se espera que el tránsito con el que se diseña un proyecto varíe, por lo cual es un parámetro importante si se requiere que el proyecto tenga buen uso de vida útil, en otras palabras, será necesario establecer el volumen del año puesto en servicio al año horizonte de diseño para el estudio de demanda de diseño.

$$Pf = P0(1 + Tc)^n \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- Pf : Tránsito final.
- P0 : Tránsito inicial (año base).
- Tc : Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo.
- N : Año a estimarse.

2.3.5 Control de demora

HCM (2010) identificó el control de demoras como la medida principal de la calidad del servicio en las intersecciones señalizadas y no señalizadas. La demora, un parámetro estándar utilizado para medir el rendimiento de las intersecciones, es el tiempo que le toma a un conductor reducir la velocidad en una cola, ingresar a la cola y esperar un espacio aceptable en el flujo de tráfico. Hacer la cola antes de ingresar a la intersección y acelerar hasta la salida de la cola.

La fórmula utilizada para estimar el control de demora promedio por carril en la rotonda corresponde a:

$$d = \frac{3600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{3600x}{450T}} \right] + 5 \min [x, 1] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

d = Promedio de control de demora, s/veh

x = Relación de volumen a la capacidad del carril

c = Capacidad del carril, veh/h

T = Período de tiempo ($T = 1$ para 1 hora, $T = 0.25$ para 15 min)

2.3.6 Longitud de cola

La longitud de cola es un parámetro que permite la medición del flujo saturado en cada intersección y, por lo tanto, es importante al evaluar la idoneidad del diseño de la geometría de acceso a la rotonda. La duración estimada de la cola también proporciona información adicional sobre el rendimiento operativo de la rotonda, se puede encontrar a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_{95} = 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{3600x}{150T}} \right] \left(\frac{c}{3600} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Q_{95} = Cola de 95 percentil, veh

x = Relación de volumen y capacidad del carril

c = Capacidad del carril, veh/h

T = Período de tiempo, h ($T = 0.25$ para 15 min)

2.4 Clasificación de intersecciones

2.4.1 Intersecciones a nivel

Se denomina intersección a nivel a un área compartida por dos o más vías y cuya función principal, es permitir cambiar la dirección de la ruta. Las intersecciones de nivel varían en complejidad, desde una intersección simple en el que solo dos caminos se cruzan en ángulo recto, hasta una intersección más compleja dónde tres o más caminos se atraviesan en la misma área (Highways & Streets, 2011).

Una solución de diseño geométrico a nivel permite el cruzamiento de dos o más carreteras o con vías férreas donde concurren espacios comunes, que incluye la superficie de la calzada para que los vehículos puedan realizar el trabajo y movimientos requeridos al cambiar de órbita.

Son elementos de discontinuidad por representar escenarios críticos que requieren procedimientos específicos, se toma en consideración las maniobras de convergencia, divergencia o cruce no son usuales en la mayor parte de los recorridos. Las condiciones de seguridad deben ser las mejores tanto en visibilidad, capacidad, seguridad y otras posibles (MTC, DG_2018).

2.4.1.1 Tipos de intersección a nivel. La intersección a nivel tiene muchas soluciones diferentes, ninguna de las soluciones es de uso general, por lo que algunas soluciones comunes no se han considerado.

Las intersecciones se clasifican por su composición, topografía, tráfico y servicios determinados. En la

Tabla 5 se muestra los tipos comunes de intersección a nivel en función de sus ramales y ángulo de cruzamiento (MTC, DG_2018). Ver **Figura 16**.

Tabla 5

Tipos de Intersección a nivel.

Intersección	Ramales	Ángulos de cruzamiento
En t	Tres	Entre 60 y 120
En y	Tres	<60 y >120
En x	Cuatro	<60
En +	Cuatro	>60
En estrella	Mas de cuatro	-
Intersección rotatorias o rotondas	Mas de cuatro	-

Nota. Adaptado de DG (2018).

2.4.1.1 Sin canalizar. Cuando se reduce el espacio disponible se puede utilizar un intercambio sin isla de canalización. Las intersecciones únicas sin canales mantienen el ancho normal del camino y solo agrega lo que se necesita para las áreas de giro y puede ser aceptable para caminos de dos carriles con tráfico limitado. Sin embargo, debido a factores de diseño o espacio no puede usar un enlace canalizado, se aplica una extensión en el área de entrada del enlace. Esta forma de diseño tiene un impacto de separar los puntos de colisión.

Figura 16

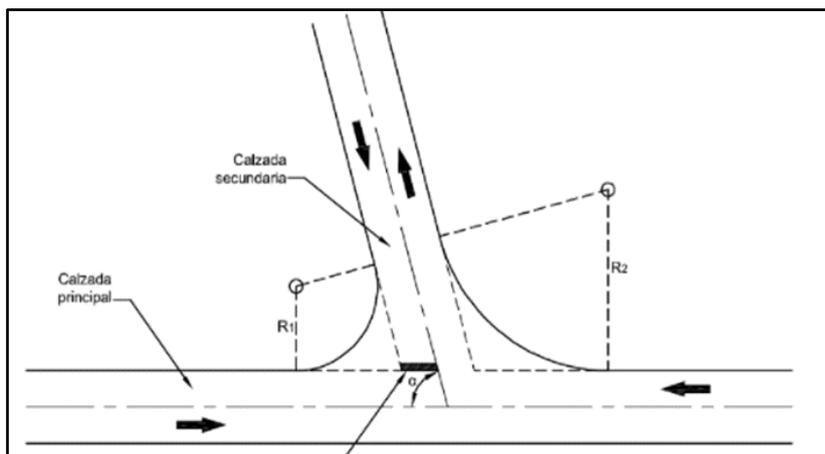
Variedad de tipos de Intersección a nivel.

DE TRES RAMALES	EMPALME EN T	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADAS	
	EMPALME EN Y	SIMPLE	CANALIZADAS		
DE CUATRO RAMALES	INTERSECCION EN +	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADA	
	INTERSECCION EN X	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADA	
ESPECIALES	EN ESTRELLA			ROTONDA	

Nota. Adaptado de DG (2018)

Figura 17

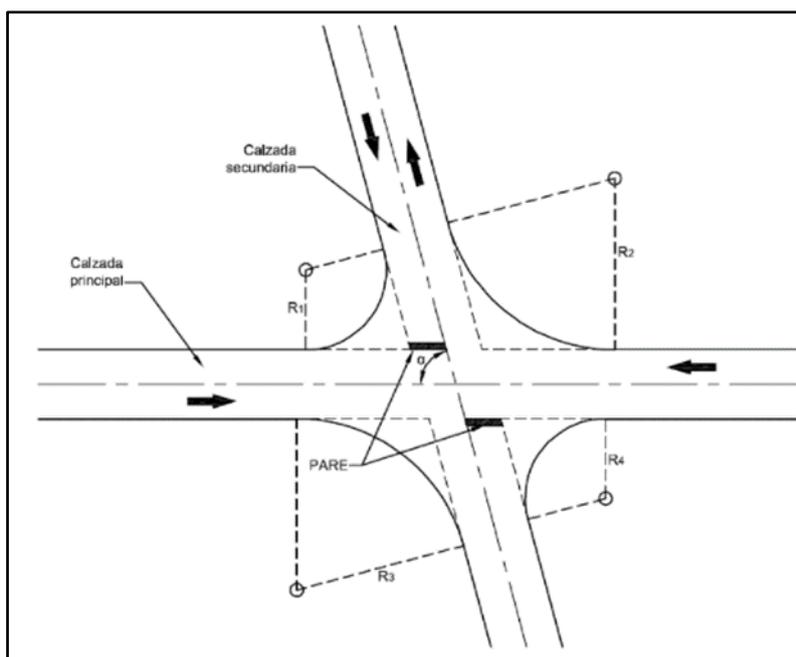
Esquema base intersección en "T" o "Y".



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías

Figura 18

Esquema base intersección en Cruz "+" o Equis "X".

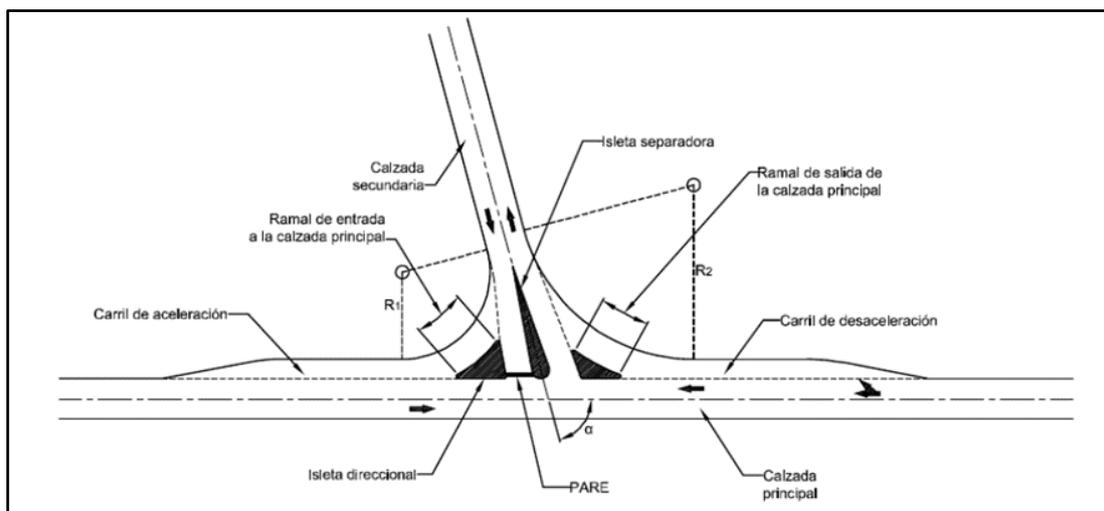


Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías

2.4.1.2 Canalizadas. Las intersecciones con islas de canalización se utilizan para los casos en que el área pavimentada es muy grande y por lo tanto causa confusión en el tráfico vehicular debido a la trayectoria indefinida del destino de giros y movimientos diferentes. Permiten una situación no congestionada al separar los movimientos más importantes en ramales de giros independientes. A su vez se reducirá en la superficie pavimentada donde no se haya dispuesto el cruce.

Figura 19

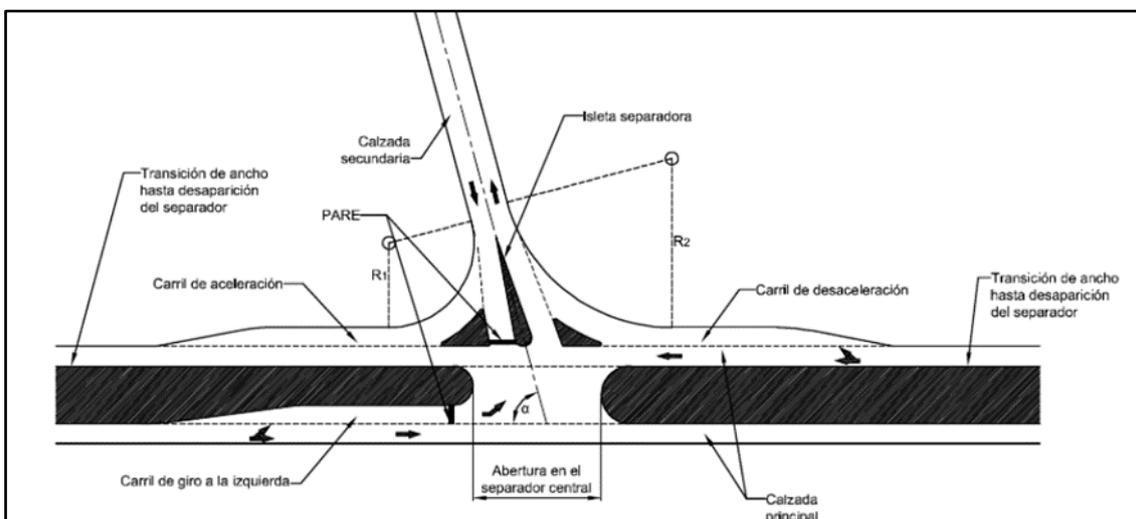
Esquema base intersección en "T" o "Y".



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías.

Figura 20

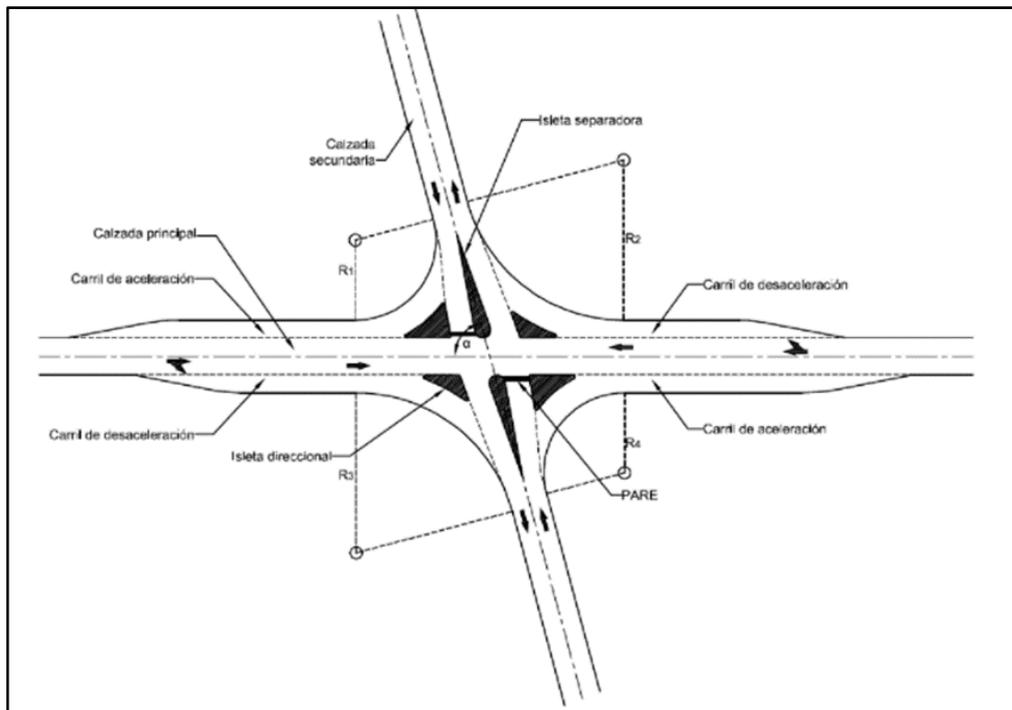
Esquema de la intersección a nivel en "T" o "Y" con separador y carril de giro a la izquierda.



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías.

Figura 21

Esquema base intersección en Cruz o Equis.



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías.

2.4.1.3 Criterios de diseño según MTC DG 2018. Según el Manual de Diseño de Carreteras para una intersección a nivel, considera que debe ser simple y segura. Lo que con lleva a que se maneje con cuidado todos los factores disponibles (ensanches, islas o islotes, carriles auxiliares, etc.) con el criterio de evadir maniobras difíciles, rutas peligrosas e innecesarias

- **Minimizar las zonas de conflicto:** En los cruces a nivel no se den proyectar grandes superficies pavimentadas, que favorezcan el movimiento errático de vehículos y peatones, y generan confusión con el consiguiente riesgo de accidentes.
- **Perpendicularidad de las intersecciones:** Las intersecciones en ángulo recto son generalmente las intersecciones más seguras, ya que facilita a los conductores una mejor visibilidad y contribuyen a la reducción de los accidentes de tránsito
- **Separación de movimientos:** El paso a nivel estará dotado de carriles de sentido único (carriles de aceleración o deceleración) para separar vehículos.
- **Canalización y puntos de giro:** La canalización y el diseño de curvas con radio apropiado, favorecen a la regulación de la velocidad del tráfico en intersecciones a nivel. Asimismo, la canalización permite evadir giros en lugares difíciles, se utiliza las islas marcadas en la acera o rodillo que aporta una gran seguridad.

- **Visibilidad:** la velocidad a la que el vehículo entra en una intersección con visibilidad limitada, incluso cuando están detenidos por completo. Entre el punto donde el conductor ve otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto, de existir como mínimo, la distancia de visibilidad de parada.

2.4.1.4 Elección del tipo de control. En la intersección de nivel, se determinará el tipo y sus características de los elementos de señalización y dispositivos de control de tránsito previstos, facilita el tránsito vehicular y peatonal, de acuerdo con las disposiciones vigentes en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

El indicado diseño debe tener en consideración los siguientes factores:

- Tránsito en la vía principal
- Tránsito en la vía secundaria incidente.
- Intervalo crítico, el tiempo de llegada y salida de los vehículos
- Porcentaje de “esperas” en la vía secundaria por efectos del tránsito.

2.4.2 Intersecciones a desnivel

Es una solución de diseño geométrico, que permite intersecciones entre dos o más caminos o con las vías férreas en diferentes niveles, de modo que los vehículos puedan realizar todos los giros posibles de una vía a otra alternativa, con el menor esfuerzo independiente.

Los pasos a desnivel se construyen con el propósito de mejorar la capacidad o el nivel de servicio en intersecciones, con un elevado volumen de tráfico y condiciones desfavorables de seguridad vial, o para mantener las características funcionales de una vía sin intersecciones a nivel.

Las intersecciones deben contener óptimas condiciones de seguridad, visibilidad, funcionalidad y capacidad (Manual de Carretera DG_2018).

Figura 22

Intercambio vial La Legía Km 993+400.



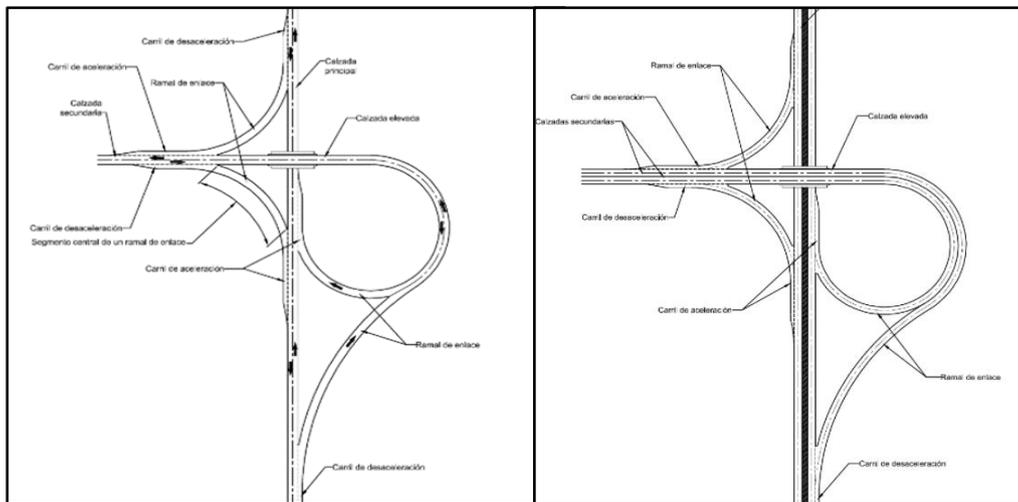
Nota. Adaptado de Covisol.

2.4.2.1 Tipos de intersección a desnivel. El Manual de Carretera 2018, clasifica los tipos de intersecciones a desnivel según sus ramales:

- Intercambios de tres ramales: se tienen tipos de trompeta "T", direccionales en "T" y direccionales en "Y".
- Intercambios de cuatro ramales con Condición de Parada: se encuentran los tipos diamante – clásico tipo diamante – partido y tipo trébol parcial (2 cuadrantes).
- Intercambios de cuatro ramales de libre circulación: se dan tipo trébol completo (4 cuadrantes), rotatorios, omnidireccionales, de tipo turbina y de más de cuatro ramas.

Figura 23

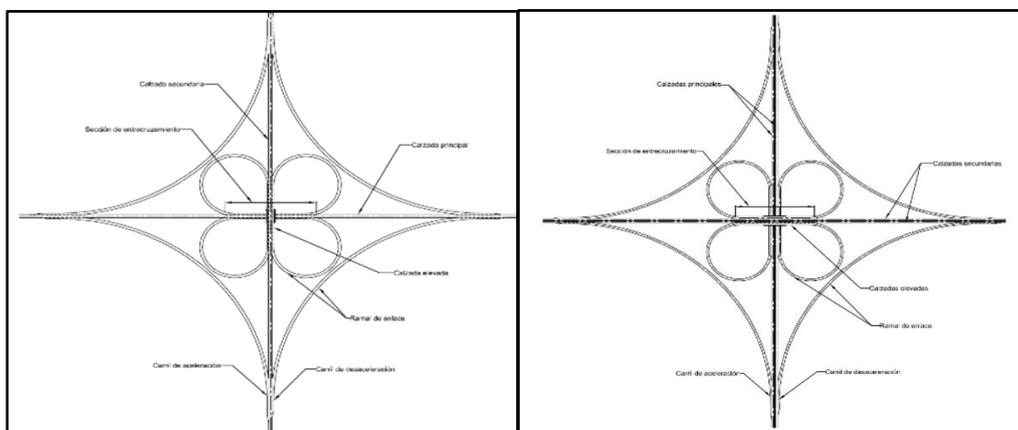
Intersección a desnivel tipo "Trompeta" en carreteras divididas y no divididas.



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías.

Figura 24

Intersección a desnivel tipo "Trébol" en carreteras no divididas y divididas.



Nota. Adaptado de Instituto Nacional de Vías.

2.4.2.2 Criterios de diseño según MTC DG 2018. Para el diseño geométrico de la intersección con separación, se deben utilizar los resultados del estudio de ingeniería de tránsito. Este estudio debe establecer los siguientes parámetros:

- Diagrama de flujos vehiculares que incluyen su intensidad, composición vehicular y automóviles directos equivalentes.
- Factor de Hora de Máxima Demanda (FHMD)
- Análisis de capacidad.
- Proyecciones al año meta.
- Predimensionamiento de cada proyecto.

2.4.2.3 Capacidad de las vías y flujos emergentes. El flujo emergente, es el tráfico máximo del carril más cercano frente al punto de entrada, más el flujo de la vía secundaria que conecta a la vía principal.

En general, el tráfico está comprendido entre 1300 y 2000 veh/h. Si el tráfico, resultante supera los 2000 veh/h, se debe proveer un carril adicional en la vía principal después del cruce.

En la Tabla 6, se indica la capacidad de las vías principales y de las vías de enlace en intersecciones a desnivel.

Tabla 6

Capacidad de las vías en intersecciones a desnivel.

Tipo de vía	Ancho de carril (metros)	Capacidad por carril (veh/h)
Vía principal	3.6	1500
Vía secundaria	3.3	1350
Vía enlace		1200
Carril de deceleración	1200 colocar señal informativa antes de llegar a la intersección (200m).	

Nota. Adaptado de DG (2018).

2.4.2.4 Diseño en planta. La sección de enlace corresponde donde se entrecruzan los distintos flujos vehiculares que siguen un mismo sentido de transporte, lo que consta del número mínimo de carriles que se demandan y la longitud mínima de la correcta en la sección de entrecruzamiento.

2.4.3 Intersecciones Modernas

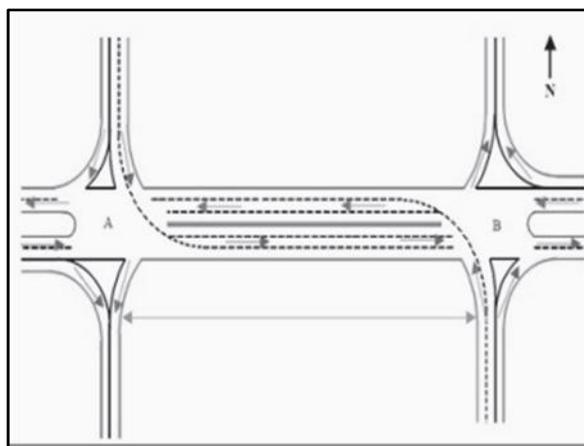
Debido al aumento demográfico y crecimiento acelerado de la población en los últimos años, las ciudades buscan tener una adecuada infraestructura vial para lo que se plantean soluciones técnicas y diseños eficaces y seguros.

2.4.3.1 Intersección Tipo Diamante. Una intersección de tipo diamante, es definida como una vía de dos sentidos que se cruza con dos vías contiguas de un solo sentido. A partir de la carretera principal o autopista salen cuatro rampas (carretera colectora) que conectan con la carretera secundaria, estas intersecciones se crean en base a las intersecciones tipo T.

Los cruces a desnivel pueden aparecer tanto en una carretera principal como en una carretera secundaria, depende de las condiciones topográficas in situ, donde se construirá y diferencia su funcionamiento al de una intersección regular, ya que la izquierda gira en dos sentidos que se cruzan e impide que se sirvan al mismo tiempo. En la siguiente Figura 25 se observa el recorrido en la intersección.

Este tipo de soluciones lo que se busca es proveer seguridad y que sea en bajo costo, además de resolver la problemática de tráfico lo cual resulta más eficiente.

Figura 25
Intersección tipo Diamante.



Nota. Adaptado de Porras, H; Martínez Y. (2011)

2.4.3.2 Intersección Diamante Divergente. La idea de diamante divergente se da en 2009 en la ciudad de Springfield, Missouri, para una intersección I-44, luego de seis meses se desarrolló la construcción por el Departamento de Transporte de Missouri.

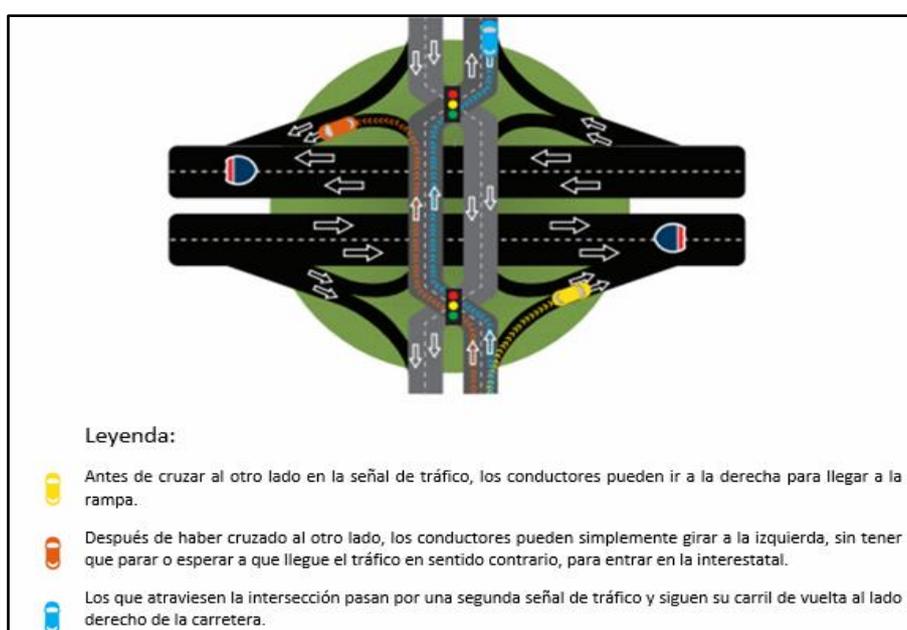
El Departamento de Transporte de Carolina del Norte comenzó a implementar este diseño en el 2019, cuando se abrieron tres de estos intercambios. Otros han seguido su ejemplo.

El intercambio de diamantes divergentes permite dos sentidos de tráfico se crucen temporalmente en el lado opuesto de la calzada. Los volúmenes de tráfico se muevan a través de una intersección sin aumentar el número de carriles y semáforos. El acceso a la autopista sea sin problemas y los conductores no necesitan cruzar un tráfico opuesto para hacer un giro a la izquierda.

Un estudio realizado el 2019 por el Departamento de Carolina de Norte ha determinado que sea reducido el 37 % de accidentes y 54% de lesiones y accidentes graves (NCDOT, 2020).

Figura 26

Intersección Diamante Divergente.



Nota. Adaptado de NCDOT (2020).

Figura 27

Intersección Diamante Divergente DDI.



Nota. Adaptado de Instituto Nacional Geográfico España.

2.5 Capacidad de diseño por el método HCM 2010

El manual de capacidad de carreteras (HCM) es aquel documento que contiene conceptos, guías y procedimientos con el fin de determinar la capacidad y calidad de las instalaciones en las carreteras, debido a que esta permite la planificación, dimensionamiento y evolución de la vía. A pesar del escaso acceso de aplicabilidad de sus fórmulas, debido a que las variables pueden cambiar según la localidad por ciertas variaciones influenciadas que no pueden ser cuantificadas; es por ello por lo que para el diseño de una carretera es necesario tomar como inicio las sugerencias que propone el manual.

Para la aplicación, el manual establece tres fases de procedimiento básico: El análisis de circulación, la cual se basa en obtención de datos actuales del flujo de los vehículos; el diseño del proyecto con el objetivo que tal operación sea la precisa para la demanda del año a la cual será destinada, aquí el manual puede estimar el nivel de servicio, la capacidad y elemento se diseñó para alcanzar el fin; y por último se tiene la planeación que es la fase cuando no se tienen con exactitud los valores necesarios, aquí el manual da métodos de planeación sencillos para prevenir la aplicación de medidas innecesarias.

Highway Capacity Manual describe a la capacidad como “la máxima tasa horaria a la cual los vehículos pueden esperar atravesar una sección transversal de un carril en una vía durante un tiempo dado, bajo las condiciones de tráfico predominantes” está con el fin de implantar parámetros de ajuste debe de haber una comparación entre la conseguida en campo y la determinada por el HCM y ser aplicada a la estimación final.

Los estudios de capacidad se realizan en 15 minutos, se selecciona habitualmente el cuarto de hora de las horas punta de mayor demanda para estudiar las peores condiciones. El procedimiento HCM asume que solo se conoce la demanda en horas pico, pero no la variación durante ese período, y puede estimar el FHP si se conoce las características de la vía en estudio. Luego, se divide el flujo de la hora completa por el FHP para estimar el flujo máximo de demanda por cuarto de hora (vehículos/hora). Sin embargo, si se conoce la demanda durante un período de al menos 15 minutos, es más preciso usar el mayor de estos para el análisis y olvidarse del factor de tiempo pico.

Tabla 7

Capacidad en condiciones ideales (valores referenciales).

Sentido de tránsito	Clase de vía		Capacidad ideal
Unidireccional	Carretera	2 carriles por sentido	2200VI/h/carril
		3 o más carriles por sentido	2300VI/h/carril
	Multicarril		2200VI/h/carril
Bidireccional	Multicarril		2800VI/h/ ambos sentidos

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

Otro de los conceptos que establece el HCM son los niveles de servicio, que son la relación entre el volumen y la capacidad que tiene una vía, sirve para medir de manera cualitativa la calidad del flujo vehicular.

El Manual de Capacidad lo define tal las condiciones de operación en términos de rendimiento de tráfico, asociado con la velocidad, el tiempo de recorrido, la facilidad de maniobra, las interrupciones en el tráfico, la comodidad, conveniencia y seguridad vial (AASHTO,2011). Estos factores se clasifican en internos, dentro de los cuales están las variaciones de velocidad, volumen vehicular, la composición del tránsito, y el porcentaje de movimientos: y en externos se encuentran las características físicas, ya sean el ancho de carriles, distancia libre lateral, el ancho de acotamientos y las pendientes.

Tabla 8

Niveles de servicio.

Nivel de servicio	Condición de operación general
A	Flujo libre
B	Flujo razonablemente libre
C	Flujo estable
D	Aproximadamente flujo inestable
E	Flujo inestable
F	forzado

Nota. Adaptado de HCM (2010).

Los niveles de servicio también se pueden evaluar a partir del control de demora con la relación Volumen-Capacidad, tal como se muestra en la **Tabla 9** solo si la relación Volumen-Capacidad es mayor a 1, la intersección corresponderá a un nivel de servicio F.

Tabla 9

Criterios de niveles de servicio de enfoques y evaluación a nivel de intersección.

Control de demora (s/veh)	Nivel de servicio por la relación Volumen-Capacidad	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c > 1.0$
0 - 10	A	F
>10 - 15	B	F
>15 - 25	C	F
>25 - 35	D	F
>35 - 50	E	F
>50	F	F

Nota. Adaptado de US Dept. of Transportation, Federal Administration (2011).

2.6 Intersecciones controladas por semáforo:

Los semáforos son dispositivos de control de tránsito a través de los cuales se regulariza la circulación de vehículos motorizados, no motorizados y peatones en las vías bajo las indicaciones de luces de color rojo, verde y amarillo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

El empleo de semáforos en las intersecciones permite reducir o solucionar los puntos en conflicto del tráfico, reducir la magnitud de los siniestros, obstaculizar el tránsito intenso para dar prioridad y seguridad a los peatones.

El Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones establece el capítulo 4 para el diseño e instalación de semáforos, plantea que para poder instalar un semáforo se tiene que realizar un estudio previo de ingeniería de tráfico, y no se debe semaforizar una intersección si no cumple ciertos criterios. Es por lo que se establecen los siguientes requisitos.

2.6.1 Requisitos para la instalación de semáforos.

2.6.1.1 Requisito 1: Número mínimo de vehículos por 8 horas. Se debe aplicar cuando en la intersección se supera el volumen mínimo al 100% de tránsito, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Volumen mínimo de tránsito.

Número de carriles de circulación por acceso		Vehículos por hora en la vía principal (total de ambos sentidos)				Vehículos por hora en la vía secundaria (mayor volumen de uno de los accesos)			
Vía principal	Vía secundaria	100%	80%	70%	56%	100%	80%	70%	56%
1	1	500	400	350	280	150	120	105	84
2 o más	1	600	480	420	336	150	120	105	84
2 o más	2 o más	600	480	420	336	200	160	140	112
1	2 o más	500	400	350	280	200	160	140	112

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

2.6.1.2 Requisito 2: Interrupción del tránsito continuo por 8 horas. Este requerimiento es válido siempre cuando en las intersecciones donde el volumen de tránsito de una vía principal es congestionado y la vía secundaria con lleva a tener un retraso excesivo para ingresar o cruzar la vía principal, se debe cumplir los valores mínimos de la Tabla 11.

Tabla 11

Interrupción del tránsito continuo.

Número de carriles de circulación por acceso		Vehículos por hora en la vía principal (total de ambos sentidos)				Vehículos por hora en la vía secundaria (mayor volumen de uno de los accesos)			
Vía principal	Vía secundaria	100%	80%	70%	56%	100%	80%	70%	56%
1	1	750	600	525	420	75	60	53	42
2 o más	1	900	720	630	504	75	60	53	42
2 o más	2 o más	900	720	630	504	100	80	70	56
1	2 o más	750	600	525	420	100	80	70	56

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

El requisito 1 se cumple entonces la condición es satisfactorio y requisito 2 ya no es necesaria su evaluación; de igual forma para el requisito 2 si se cumple ya no se necesita la evaluación del requisito 1. El requisito 1 y 2 se aplica en lugares donde no se satisfacen individualmente después de haber realizado el estudio adecuado, se toman los valores del 80%.

Al realizar el estudio de tráfico se considera que se debe cumplir el 100% de los valores de la columna de la **Tabla 10 y 11**, en las ocho horas de máxima demanda del día elegido.

Si se excede la velocidad mínima o la velocidad del 85 percentil exceden los 60 km/h, o si se encuentra en una comunidad aislada de menos de 10 000 habitantes, se toman los volúmenes de 70%.

Si se excede la velocidad en la vía principal de 60 km/h, o si el área urbana con una población menos de 10 000 habitantes se toman los valores de la columna 56%.

2.6.1.3 Requisito 3: El volumen de peatones. Se aplica cuando el volumen de tránsito en una vía principal es demasiado congestionado que retrasa a los peatones al querer cruzar la calle.

Se considera la implementación de un semáforo, si durante las ocho horas de un día típico se verifica en la calle principal los siguientes volúmenes de tránsito:

- Si entran 600 veh/h o más a la intersección (total para ambos accesos) o si entran más de 1 000 veh/h entran en la calle principal, cuando existe un separador central de 1,20 de ancho mínimo.
- Si en las vías principales cruzan más de 50 peatones por hora en el dónde se produce el mayor tráfico de vehículos.

2.6.1.4 Requisito 4: Cruce escolar. Si los escolares cruzan la vía principal entonces es la razón principal para implementar un semáforo. Se debe tener en cuenta otras medidas importantes, como señales de advertencia y luces intermitentes.

2.6.1.5 Requisito 5: Siniestros frecuentes. Aquellos que impliquen conflictos entre vehículos que transitan en línea recta y vehículos que cruzan a la izquierda con trayectorias opuestas. O cuando los conflictos relativos a excesos de velocidad, donde la coordinación del semáforo restrinja la velocidad hasta un valor razonable.

2.6.1.6 Requisito 6: Red de carreteras. Se justifica para la concentración y organización del flujo de la red vial. Se debe considerar si el estudio previo determina que la intersección de dos o más caminos principales cumple con uno o ambos de los siguientes criterios.

- El volumen total existente o proyectada como mínimo 1000 veh/h durante la hora pico de un día típico de la semana y cuente con 5 años de volumen proyectado.
- El volumen total existente o proyectada como mínimo 1000 veh/h para cada una de las 5 horas de un día de fin de semana.

La vía principal debe tener como mínimo una de las siguientes características:

- Pertenece a la red de calles o carreteras que sirven como carreteras principales.
- Es parte de suburbanas o carreteras rurales fuera, dentro o alrededor de la localidad.
- Se espera que la vía principal este en un estudio de planificación urbana como parte de un estudio técnico vial.

2.6.2 Semáforos para el control del tránsito

Los semáforos funcionan con una programación completamente accionada, semi accionada, o fija. En las intersecciones completamente aisladas se recomienda un sistema con detención avanzada en la vía principal. Esto permite reducir las zonas de conflicto que se generan cuando el usuario no puede detenerse o cruzar en la intersección con seguridad (MTC,2015).

2.6.2.1 Semáforos para tránsito vehicular:

2.6.2.1.1 Semáforos fijos o pre sincronizados o no accionados por el tránsito. Tienen una programación de intervalos y secuencia de fases preestablecidos no accionados por el tráfico vehicular. Las principales características que operan, tales como duración del ciclo, intervalos, fases y desfase, entre otros, se pueden modificar. Su uso depende de las situaciones de bajo flujo vehicular donde la demora y tiempo sean mínimos, y si un estudio previo se justifica que un semáforo accionado no es necesario (MTC, 2015).

2.6.2.1.2 Semáforos parcialmente accionados por el tránsito. Su función depende de acuerdo con las demandas de tránsito que registran los detectores de vehículos y/o peatones, se disponen de detectores en algunos accesos de la intersección. Su uso depende en zonas de alto volumen, donde el volumen de tránsito fluctúa de manera significativa e intermitente y debe haber la menor perturbación posible en la vía (MTC,2015).

2.6.2.1.3 Semáforos totalmente accionados por el tránsito:

Su función depende de acuerdo con las demandas de tránsito que registran los detectores de vehículos y/o peatones, se disponen de detectores en todos los accesos de la intersección (MTC,2015).

2.6.2.1.4 Semáforos adaptables accionados por el tránsito. Se caracteriza por ajustarse continuamente en base con la información de flujo de tránsito, como la secuencia de fases, intervalo, longitud de ciclo y desfase que se recoge a través de los detectores de tráfico por un computador central (MTC, 2015).

2.6.2.2 Semáforos para el control peatonal. Los semáforos peatonales tienen la finalidad de controlar el aforo peatonal. El proceso consiste en símbolos iluminados donde se muestra una señal de cruce o una persona caminando de color verde, lo cual indica que la persona puede pasar y si se muestra pare o una persona estacionada de color rojo quiere decir que el peatón debe detenerse. Se deben ubicar los semáforos desde el inicio del cruce peatonal hasta un punto colocado a 3m, tiene que ser visible durante la mañana y noche. Si se colocan semáforos para peatones sobre soportes para semáforos vehiculares, se debe observar la separación adecuada entre estos semáforos (MTC, 2015).

Se puede usar los semáforos peatonales junto con los semáforos de control vehicular, dado los siguientes casos:

- Si el semáforo vehicular es definido por un estudio de ingeniera.
- Si la fase semafórica exclusiva está asignada al movimiento peatonal en una y más de una dirección con todos los movimientos contradictorios del tráfico detenidos.
- Con cruces escolares con semáforos vehiculares.

- En base al juicio y experiencia del ingeniero especialista determina que el semáforo vehicular con múltiples fases genere confusión o conflicto con el peatón al utilizar el cruce peatonal.

2.6.2.2.1 En zonas de alto volumen. En intersecciones donde se registra un alto volumen peatonal y con incremento de posibles conflictos vehicular, se puede utilizar intervalos de peatones adelantados donde se aprecie el símbolo de cruce adelantado segundos antes del semáforo vehicular que permite controlar a los vehículos paralelos y/o cambie en verde (MTC, 2015).

2.6.2.3 En zonas escolares. Permite controlar el tránsito vehicular en las intersecciones cercanas a los centros escolares con la finalidad de prevenir al conductor de la presencia de un cruce escolar. La ventaja del empleo de semáforos peatonales en zonas escolares representa un ahorro económico a comparación de la vigilancia policial, si en la zona se instala un semáforo vehicular y hay un espacio conveniente se puede sincronizar con los semáforos adyacentes y proporcionar un movimiento continuo del tránsito de vehículos (MTC, 2015).

La implementación del semáforo se justifica cuando existe un cruce escolar establecido y el flujo vehicular son inferiores al tiempo solicitado con el fin de que los escolares crucen sin inconvenientes (MTC, 2015).

2.6.3 Diseño de semáforos Vehiculares

Al determinar la distribución de los tiempos se puede realizar por métodos manuales o por modelos computarizados, no obstante, el ingeniero de tránsito debe conocer los fundamentos que la sustentan. En lo particular, la modelación por computadora no es más que un ejercicio de codificación, un acto de "fe ciega". La ingeniería es más que una solución integral al problema del tráfico (Parsonson P., 1992).

En una intersección, el flujo total de vehículos que llega a sus accesos debe ser dividido en diferentes fases de movimiento, de las cuales se efectúa un desplazamiento específico de vehículos. Dichos movimientos son controlados por el semáforo vehicular de tránsito (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).

Para la realización del diseño se analiza los siguientes parámetros:

- **Movimiento:** Es el conjunto de maniobras de un mismo acceso que permite el derecho de paso simultaneo y forman una misma fila (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).
- **Intervalo:** Es un periodo que se indica la señal del semáforo durante una determinada división del ciclo (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).
- **Fase:** Es una parte del ciclo donde se determina que combinación de movimientos a tener prioridad para el derecho de paso cuando se encuentra el semáforo en verde. Las fases se pueden considerar en base a las maniobras del vehículo, maniobras de peatones o una

combinación de movimientos peatonales y vehiculares. La fase empieza tan pronto cuando aparece la luz amarilla (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).

- Intervalo verde: Es la duración del ciclo en donde la luz verde autoriza el derecho de pase.
- Intervalo de despeje: Periodo de ciclo en el que la luz amarilla para brindar los segundos necesarios para despejar el tráfico que puede haberse congestionado en la intersección y debe ser evacuado ante del cambio de la luz verde del acceso (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).
- Intervalo de Todo Rojo: Es la duración que la luz roja parpadea para todo el tráfico que se destina a circular, se da en la fase que recibe el derecho de paso después del ámbar de la fase que lo pierde, con el fin adicionar un tiempo a los vehículos que pierden el derecho de paso, así despejar la intersección antes que los vehículos, que lo ganen, reciban la luz verde. Se puede usar para determinar una fase exclusiva para peatones (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).
- Intervalo de cambio de fase: Se le determina al tiempo entre verdes, su principal función es alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho a uso de la intersección. Para determinar el valor, se considera ciertos parámetros como el tiempo de reacción del conductor, tiempo y espacio de deceleración y el tiempo de despeje de la intersección.
- Se calcula por la formula planteada por Kell & Fullerton (1991) y se puede observar en la **Figura 28** (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).

$$\text{Intervalo de cambio} = \text{Ambar} + TR$$

Ecuación 6

$$I = \left(t + \frac{V_o}{2a} \right) + \left(\frac{w + L}{V_o} \right)$$

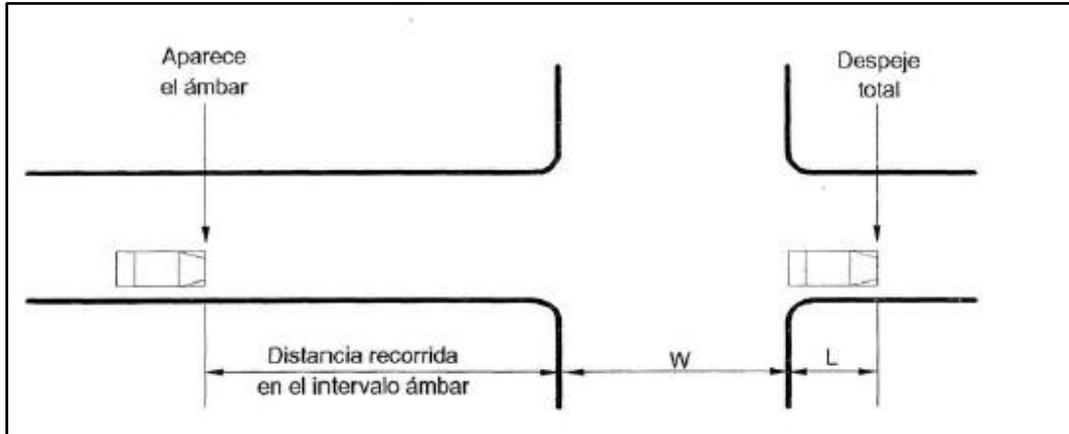
Donde:

- I = Intervalo de cambio de fase, ámbar más todo rojo (s).
- t = Tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1.00 s).
- V_o = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s).
- a = Tasa de deceleración (expresada en función de las condiciones del pavimento y de la gravedad como $f_x \cdot g$).
- w = Ancho de la intersección (m).

L = Longitud del vehículo (valor sugerido 6.10 m).

Figura 28

Intervalo de cambio de fase.



Nota. Adaptado de Cárdenas & Cal y Mayor (2018).

- Ciclo o longitud de ciclo: “El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, está entre el 75% y el 150% del ciclo óptimo, para la cual las demoras nunca serán mayores en más del 10% al 20% de la demora mínima” (Cárdenas & Cal y Mayor, 2018).
- Webster (1958) estableció en base a unas investigaciones de campo y simulación de situaciones de tránsito, que la demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforo se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo de la siguiente manera:

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i}$$

Ecuación 7

Donde:

C_o = Tiempo óptimo de ciclo (s).

L = Tiempo total perdido por ciclo (s).

Y_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y flujo de saturación para el movimiento o carril crítico de la fase i.

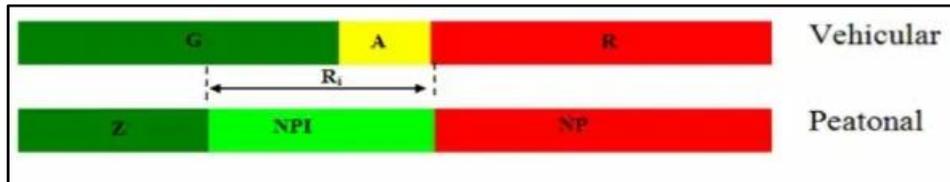
φ = Número de fases.

2.6.4 Diseño de semáforos peatonales.

El diagrama de fases peatonal se debe vincular con los tiempos de semáforo vehicular, de manera que se trabaje en conjunto con la finalidad de lograr un buen funcionamiento, tal como se aprecia en la Figura 29.

Figura 29

Diagrama de fase peatonal y vehicular.



Nota. Adaptado de Araujo (2019).

Al tener una demanda peatonal, se debe considerar la implementación de semáforos peatonales siempre y cuando el volumen horario de peatones debe sobrepasar los 250 peatones durante dos horas. Se plantea las siguientes fórmulas para el cálculo de tiempos (Araujo, 2019).

$$R_i = \frac{w}{V_p}$$

Ecuación 8

Donde:

$NPI = R_i =$ Tiempo mínimo permite cruzar la calle

$W =$ Ancho de la vía

$W_p =$ Velocidad del peatón

El tiempo verde mínimo para cruzar el peatón es:

$$G = Z + R_i - A$$

Ecuación 9

Donde:

$G =$ Tiempo mínimo de verde

$Z =$ Tiempo mínimo del peatón

$A =$ Ámbar de la fase semaforica vehicular

2.7 Criterios de diseño de rotondas (óvalos)

La definición que le da el Manual a una rotonda o glorieta es de intersección rotatoria, porque el flujo de vehículos que ingresan por sus ramales circula por el anillo vial alrededor de la isleta central. Las trayectorias de conducción son similares a las intersecciones, por lo que el número de puntos de conflicto es menor que otros tipos de intersecciones terrestres.

El diseño de este tipo de intersecciones es la iteración continua de modificaciones para que cumplan con los principios de diseño geométrico, análisis de operación y la evaluación de seguridad. En centros urbanos las rotondas se diseñan con el fin de promover menores velocidades en los vehículos y el mejoramiento de la seguridad en los peatones.

2.7.1 Elementos y características de diseño geométrico de la rotonda

2.7.1.1 Ramales. Se clasifican en entrada y salida, el ancho de estos son los mayores reguladores de capacidad en la rotonda ya que son directamente proporcionales, por lo tanto, la necesidad de circulación dictará el ancho el cual se mide desde el punto donde la línea ceda-el-paso corta el borde izquierdo de la calzada hasta el borde derecho de la calzada, a lo largo de una línea perpendicular a la línea de cordón derecho.

Para su diseño se aplicarán las normas y dimensiones mínimas especificadas en Manual, en cuanto al ancho de la vía, bermas, peralte, visibilidad y radio mínimo. Por lo general los anchos de entrada de carril-simple varían desde 4.3 hasta 4.9 m.

Las rotondas de un solo carril pueden operar satisfactoriamente con más de cuatro ramales. Sin embargo, el suministro de más de cuatro ramales en ángulos distintos de aproximadamente 90° se debe evitar para rotondas de varios carriles, ya que puede crear conflictos en las salidas (G. Chris Harrison, 2011)

2.7.1.2 Rotonda. El diámetro del círculo inscrito es la suma del diámetro de la isleta central y el doble del ancho de calzada circulatoria, en Perú el diámetro mínimo de rotonda será 50 m ya sea para intersecciones de uno o dos carriles (Highways Agency, 2007), sin embargo, otras fuentes consideran que podría llegar hasta 30 m para el fácil acceso de vehículos pesados como WB-15. Las medidas para la isla central deberán tener un diámetro mínimo 25 m y para la calzada circulatoria se considera un 20% mayor al tamaño del ramal de entrada o de la misma longitud.

2.7.1.3 Islas direccionales. Las dimensiones de las islas de orientación serán el resultado de la geometría general de la solución, sin embargo, estas deberán estar al menos entre 4.50 m² y 7 m².

2.7.1.4 Cruces peatonales. La ubicación del cruce peatonal tiene que equilibrar la conveniencia y seguridad peatonal con las operaciones de la rotonda, esto es debido a que el peatón suele tomar la ruta más corta, la cual resulta ser la más peligrosa.

Las recomendaciones que se establecen imponen colocar refugios peatonales a nivel de calle, los cuales deben tener un ancho mínimo de 1.8 m; una superficie de advertencia al igual que una señalización que ceda el paso el cual estará ubicado a 7.5 m del cruce peatonal.

Tabla 12

Resumen de criterios de diseño geométrico de rotondas.

Descripción	Unidad	Magnitud	
Diámetro mínimo de la isla central	m	25	
Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50	
Relación w/l (sección entrecruzamiento)		Entre 0.25 Y 0.4	
Ancho sección entrecruzamiento (w)	m	Máximo 15	
Radio interior mínimo de los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40
Angulo ideal de entrada		60	
Angulo ideal de salida		30	

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Transito Automotor para Calles y Carreteras (2018).

2.7.1.5 Velocidades en una rotonda. La velocidad es un parámetro que dependerá de la curvatura de la trayectoria vehicular y a la vez de la trayectoria más veloz permitida por la geometría, la disminución de velocidad empieza desde antes del ingreso aproximadamente a 100 m. Una velocidad constante al interior de la rotonda da a entender que el usuario tiene decidida por completo o es de fácil elección la trayectoria a tomar (FHWA, 2010).

Tabla 13

Máximas velocidades recomendadas para el diseño de entrada.

Categoría lugar	Velocidad de diseño máxima recomendada
Mini rotonda	25km/h
Urbana compacta	25km/h
Urbana carril simple	35km/h
Urbana carril doble	40km/h
Rural carril simple	40km/h
Rural carril doble	50km/h

Nota. Adaptado de rotondas modernas: Guía Informativa

2.7.1.6 Relación velocidad-curva. ASHTO propone la relación entre la velocidad de viaje y la curvatura horizontal la cual se determina a través de la siguiente ecuación:

$$V = \sqrt{127R(e + f)}$$

Ecuación 10

Donde:

V = Velocidad diseño, km/h

R = Radio, m

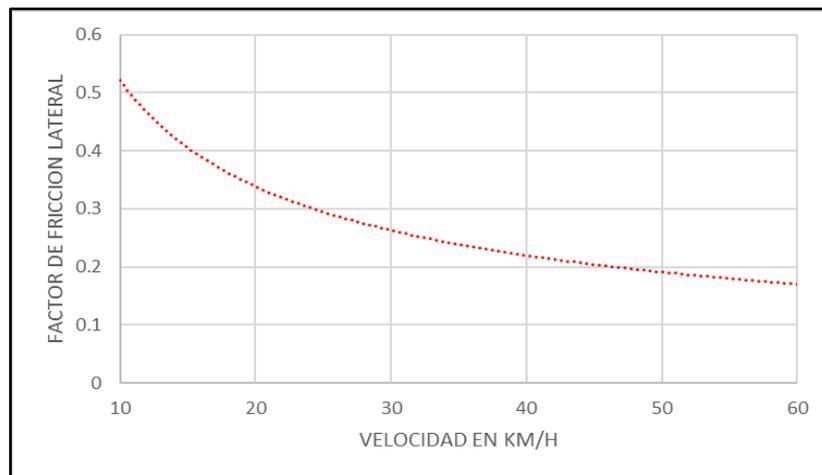
e = Peralte, m/m

f = Factor fricción lateral

Por lo general, los valores del peralte suelen ser + 0.02 para curvas de entrada y salida y -0.02 para las curvas alrededor de la isleta central. El coeficiente de fricción entre los neumáticos de un vehículo y el pavimento varía respecto a la velocidad del vehículo tal como se muestra en la **Figura 30**.

Figura 30

Factores de fricción lateral a varias velocidades.



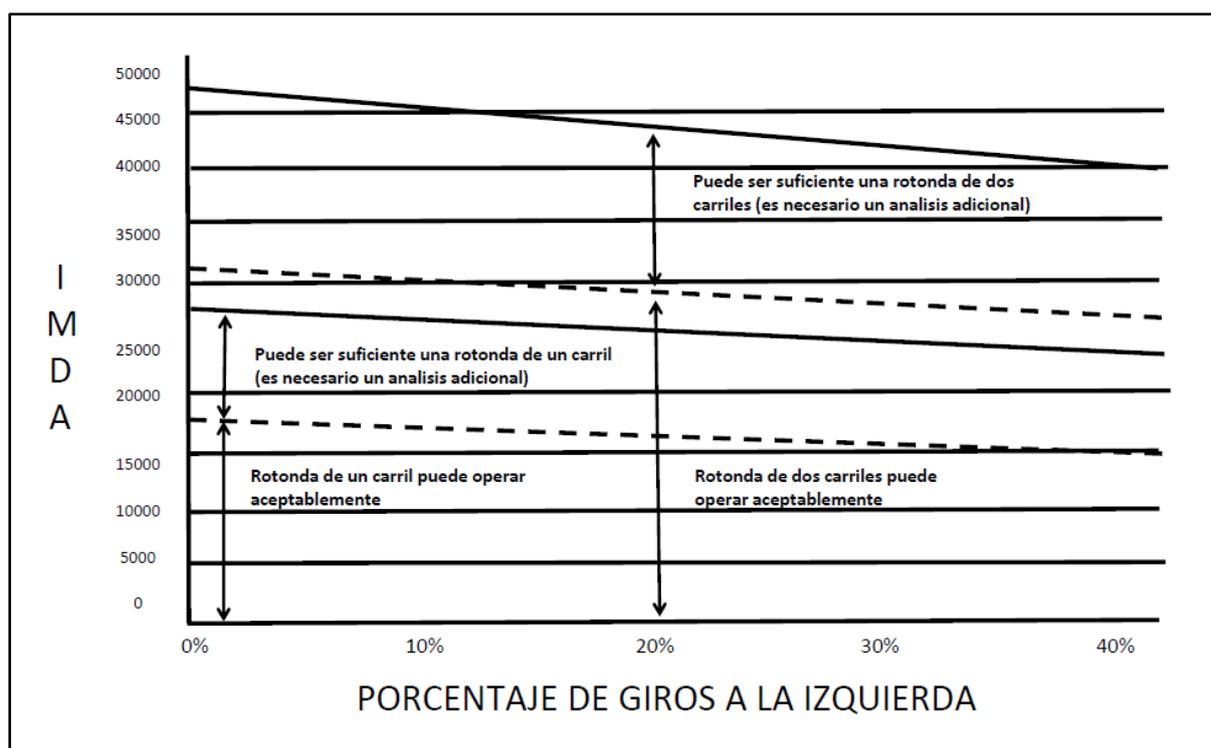
Nota. Adaptado de rotondas modernas: Guía Informativa.

2.7.1.7 Estimación de carriles a partir del IMDA. Federal Highway Administration (2011), propone que cuando se conocen los movimientos de giros se pueden identificar 4 escenarios donde se estime la adecuada cantidad de carriles, en la cual relaciona el volumen de IMDA y el rango de giros a la izquierda.

En la **Figura 31** se puede apreciar que la capacidad potencial de la rotonda se reduce cuando aumenta el porcentaje de giros a la izquierda

Figura 31

Volúmenes diarios de intersección a nivel de planeamiento.



Nota. Adaptado de US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration (2011).

2.7.2 Métodos de análisis operacional

A) Fórmula de Wardrop para la capacidad de diseño

El diseño para el análisis de los estudios de tráfico correspondientes a la capacidad de la rotonda o glorietas y el dimensionamiento de las secciones de entrecruzamiento propone seguir el siguiente procedimiento:

Primero se sugiere una longitud de la sección de entrecruzamiento compatible con la geometría de la solución propuesta. Segundo determinar la capacidad de cada sección de entrecruzamiento y finalmente comparar la capacidad con el volumen de la demanda de entrecruzamiento, esta comparación no podrá ser mayor al 85% de la capacidad práctica (MTC, 2018).

Para calcular la potencia de la sección transversal (Q_p), se emplea la fórmula de Wardrop:

$$Q_p = \frac{160W \times \left(\frac{1+e}{W}\right)}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Q_p = Capacidad de la sección de entrecruzamiento, (veh/hora).

W = Ancho de la sección de entrecruzamiento (m).

L = Longitud de la sección de entrecruzamiento (m).

e = Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento (m).

e_1, e_2 = Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento (m).

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2}$$

Ecuación 12

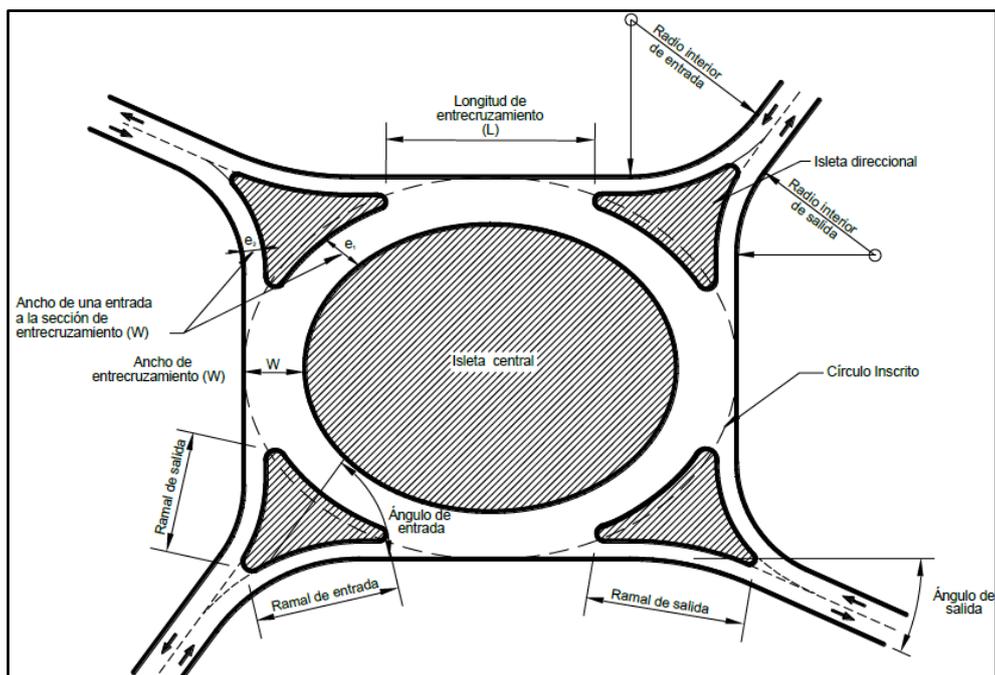
La fórmula está basada en observaciones de glorietas existentes. Para las mencionadas glorietas, las variables están entre los siguientes rangos:

W	: 9.10 – 18 m (15 m para glorietas nuevas)
e/W	: 0.63 – 0.75
W/L	: 0.16 – 0.83
$(e_1 + e_2)$: 0.34 – 1.14

Se muestra en la Figura 32 los elementos necesarios para determinar la capacidad de las glorietas o rotondas. Además, los elementos de radios de entrada y salida, isla central, islas direccionales y ángulos de entrada y salida.

Figura 32

Elementos contenidos en la fórmula de Wardrop.



Nota. Adaptado de Manual de Carreteras, DG 2018.

B) Método TRRL

Método de diseño desarrollado en Reino Unido por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL), cuyo fin del programa de investigación es producir un modelo que los ingenieros de tránsito puedan usar para diseñar rotondas que satisfagan las necesidades operativas de la intersección. El objetivo es generar ecuaciones que proporcionen conexiones prácticas entre la geometría y la capacidad, la latencia y la longitud de la cola.

El método se basa en la suposición de que la relación entre dos tránsitos, uno que pasa por el circuito y otro que ingresa, es una relación lineal o casi lineal, y calcula la capacidad de cualquier rotonda, excepto aquellas con carriles separados.

$$Q_e = k \times (F - f_c \times Q_c)$$

Ecuación 13

Q_e = Capacidad de una entrada (veh/h).

Q_c = Flujo circulante (veh/h).

k , F y f_c = Parámetros calibrados de la experiencia en función de las características geométricas de la entrada y de la glorieta.

$$k = 1 - 0.00347 \times (\emptyset - 30) - 0.978 \times \left(\frac{1}{R} - 0.05\right) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$F = 303 \times x \quad \text{Ecuación 15}$$

$$fc = 0.210 \times t \times (1 + 0.2x) \quad \text{Ecuación 16}$$

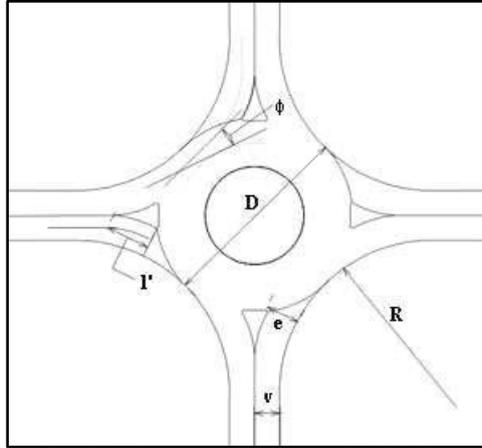
$$t = 1 + \left[\frac{0.5}{1 + e\left(\frac{D - 60}{10}\right)} \right] \quad \text{Ecuación 17}$$

$$x = v + \frac{(e - v)}{(1 + 2S)} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$S = (1.6 \times (e - v)) / (l') \quad \text{Ecuación 19}$$

Figura 33

Parámetros geométricos básicos para el cálculo de la capacidad por el Método TRRL.



Nota. Adaptado de Dirección General de Carreteras.

Donde:

e = Ancho de la entrada (m).

v = Ancho del acceso de entrada (m).

l' = Longitud efectiva del abocinamiento de entrada (m).

S = Agudeza del abocinamiento.

D = Diámetro del círculo inscrito (m).

ϕ = Ángulo de entrada (°).

R = Radio de entrada (m).

C) Método HCM 2010

El tráfico conflictivo es basado en la capacidad del carril de entrada opuesto al carril de conducción. El HCM (2010) determina la capacidad de desvío a partir de una ecuación de regresión basada en datos de observación de 31 sitios de los Estados Unidos.

$$C_{e,pce} = 1.130e^{(-1.0 \times 10^{-3})vc.pce}$$

Ecuación 20

Donde:

C_e, pce = Capacidad de carril, ajustado para los vehículos pesados (cp/h)

vc, pce = Flujo de conflicto en el carril de circulación (cp/h)

Las siguientes ecuaciones indican la capacidad de los carriles izquierdo y derecho de una entrada a una rotonda de dos carriles con dos carriles opuestos en conflicto, respectivamente.

$$C_{e,R,pce} = 1.130e^{(-0.75 \times 10^{-3})vc.pce} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$C_{e,L,pce} = 1.130e^{(-0.75 \times 10^{-3})vc.pce} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

$C_{e,R,pce}$ = Cap. de entrada a la derecha, ajustado para los vehículos pesados (cp/h).

$C_{e,L,pce}$ = Cap. de entrada a la izquierda, ajustado los vehículos pesados, (cp/h).

vc, pce = Flujo de conflicto del carril de circulación (cp/h).

2.8 Vissim 22

Vissim es un software de simulación de tráfico micro y multimodal que permite desarrollar la simulación de tráfico en las ciudades. Ofrece las mejores condiciones para probar diferentes escenarios de tráfico antes de que se realicen.

El modelo de micro simulación en el que se dispone el flujo de tráfico para vehículos, bicicletas, peatones, etc. Se establece las características y sus interacciones entre sí, y los elementos de la vía mediante reglas, algoritmos y modelos de comportamiento. Los micromodelos de flujo son dinámicos, discretos y estocásticos.

En el modelo multimodal se caracteriza por modelar varios tipos de tráfico y las interacciones entre ellos. En cualquier versión de Vissim se pueden simular vehículos, transporte público, bicicletas, peatones, rickshaws, etc.

2.8.1 Antecedentes y aplicación del software.

El programa apareció por primera vez en 1992; a pesar de que sus inicios se remontan a la década de 1980 en Alemania, donde se trabajó en la planificación de las redes de transporte y autobuses en la carretera de Mannheim. Al término del 2016, se lanzó la última versión 8.0. de este programa.

El software PTV VISSIM 22 tiene como finalidad la planificación y el desarrollo de la ingeniería de tráfico. Con su principal objetivo analizar los impactos de los proyectos en el transporte urbano y rural, proponer mejoras operativas concretas a través de su simulación y

comparación de las diferentes rutas que puede realizar el transporte público y las paradas posibles.

2.8.2 Modelamiento de infraestructura en PTV VISSIM.

El software PTV VISSIM 22 permite modelar el tráfico con la distinción del transporte privado y público. El transporte público sigue rutas determinadas, paradas establecidas y se definen la llegada de 20 primeros vehículos de acuerdo con la programación de la simulación. En cambio, el transporte privado recorre la ruta definida y la parada en base a la decisión del volante.

2.8.3 Modelo de flujo de tráfico y control de semáforos en PTV VISSIM

Según La PTV Group 2015, Vissim permite el análisis del modelo de flujo de tránsito y el modelo del control de semáforos, facilita tener un cruce de información entre el flujo de tránsito y el estado de la señalización. Se desarrolla las simulaciones de tráfico o peatones como animaciones en Vissim.

Se puede mostrar claramente muchos parámetros importantes del vehículo en una ventana o guardarlos en un archivo o base de datos, por ejemplo, el tiempo de viaje diferenciado por grupos y usuarios de distribuciones de retrasos. El patrón de tráfico se basa en el modelo de seguimiento de automóviles (el patrón de conducción típico de permanecer en un solo carril) y el modelo de cambio de carril.

Los programas externos para el control de señales luminosas modelan unidades lógicas controladas por flujo. Las unidades lógicas de control interrogan las lecturas del detector en pasos de tiempo de 1 a 110 por segundo, puede establecer pasos de tiempo para ello dependen del tipo de control de la señal. Al usar las lecturas del detector, por ejemplo, los datos de posición y el tiempo; las unidades lógicas de control de señales determinan el estado de todas las señales para el siguiente paso de tiempo y las devuelven para simular el flujo de tráfico.

Vissim puede usar varios programas de control de señales externas en una simulación. Como por ejemplo VAP, VS y PLUS.

2.8.4 Principios de operación del modelo de seguimiento

Según La PTV Group 2015 los vehículos se desplazan a través de la red por un modelo de flujo de tránsito; es primordial mantener la calidad del modelo para la simulación. A diferencia de los modelos sencillos, donde se proporciona la velocidad constante y una lógica deterministas del seguimiento de vehículos, Vissim emplea un modelo de percepción psicofísica creado por Wiedemann en 1974.

El concepto básico de este modelo examina el comportamiento del conductor respecto a cómo lleva el trayecto, se mueve más rápido, comienza a disminuir la velocidad o cuando alcanza la percepción de otro vehículo que se mueve más lento y el cambia de carril.

El comportamiento del conductor ajusta la velocidad ante la interacción con otros vehículos para lograr la velocidad deseada. Las diferencias en el comportamiento del conductor se explican por la función de aceleración y desaceleración, velocidad y la distancia.

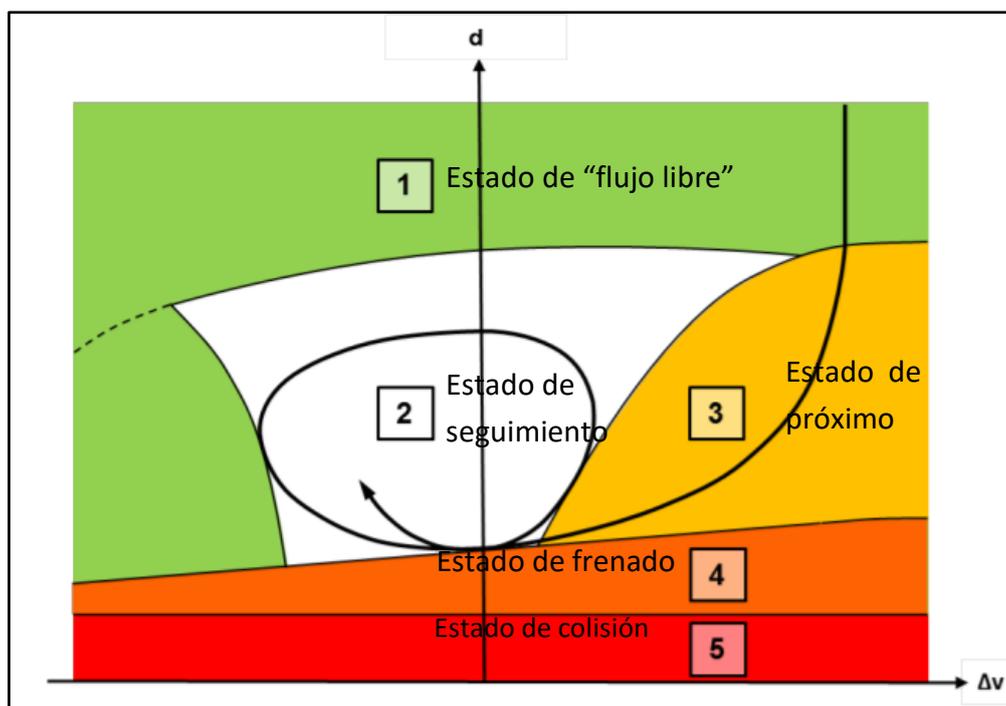
El Modelo de seguimiento de Wiedemann 1974, se calibró mediante mediciones experimentales realizadas por el instituto de estudios de transporte del Instituto Karlsruhe de Tecnología, Alemania.

La aceleración de los vehículos se ajusta a la situación:

- Si se tiene una distancia de seguridad deseada dentro de lo que el conductor del vehículo considera su límite, el conductor debe viajar a la misma velocidad que el vehículo de adelante.
- Si se tiene una distancia de seguridad a un 10 % superior a la estimada la velocidad del conductor, debe ser un valor interpolado entre la velocidad deseada y la velocidad real del vehículo que circula delante.
- Si se tiene una distancia de seguridad mayor a un 10% entonces el vehículo debe tomar la libertad de acelerar hasta alcanzar su velocidad deseada.

Figura 34

Modelo de seguimiento de Wiedemann 1974.



Nota. Adaptado de Manual de usuario PTV Vissim 8

2.8.5 Parámetros en PTV VISSIM 22.

Los parámetros para el modelamiento del sistema se han identificado diferentes medidas que se deben tomar para el análisis del modelamiento como las velocidades, aceleraciones y desaceleración.

A) Definición de los parámetros del modelo Wiedemann 74

Se define los siguientes parámetros:

- Distancia media de frenado (ax): encuentra la distancia media entre dos vehículos.
- Suma de la distancia de seguridad ($x\ add$): valor que se utiliza para calcular la distancia de seguridad deseada.
- Multiplicador de distancia segura ($x\ mult$): valor que se utiliza para calcular la distancia segura deseada.

Se emplea la siguiente fórmula para calcular la distancia de seguridad "d" como:

$$d = ax + bx$$

Ecuación

23

$$d = (bx\ add + bx\ mult * z) * \sqrt{v}$$

Ecuación

24

v = Velocidad del vehículo [m/s]

Z = Valor cuyo rango esta entre [0,1]. Se distribuye alrededor de 0.5 con un desvío estándar de 0.15

B) Definición de los parámetros del comportamiento del conductor

Se plantea los siguientes parámetros para ajustar el modelo de comportamiento del conductor:

- El vehículo sigue el modelo sin interacción o sigue el modelo Wiedemann 74 o 99
- Comportamiento lateral; la ruta de seguimiento de cambio de carril y semáforos.
- Parámetros de simulación microscópica.

Los cuatro estados de conducción de acuerdo con el modelo de flujo de tráfico de Wiedemann:

- Conducción sin influencia: el vehículo no se encuentra afectado por ningún vehículo delantero.

- Acercamiento: el vehículo está controlado, ya que el conductor del vehículo percibe un vehículo de adelante más lento.
- Seguimiento: el vehículo que le sigue se ve afectado accidentalmente por el vehículo que le precede.
- Frenado de emergencia: el vehículo se acerca más de la distancia deseada y debe aplicar el freno para evitar una colisión.



Capítulo 3

Situación actual de la intersección Av. Guardia Civil, A.A.H.H. Los Médanos y Cossío del Pomar

3.1 Alcances y limitaciones del estudio.

Para el desarrollo del diseño de la intersección se tiene por objetivo estimar el volumen del flujo a través de la cuantificación y clasificación de los vehículos que circulan por la Av. Guardia Civil, además de la descripción de la vía en el estudio, ya que se debe tener clara la delimitación de la intersección. La cual de acuerdo con la nueva “Clasificación vehicular y estandarización de características registrables”, corresponde a la Red Vial Nacional PE-1N J (variante).

Se ha decidido tener fuentes directas a través de la recopilación de datos in situ, es por ello que se planificaron visitas de campo para la toma de datos geométricos como el ancho de carriles, separador central, los accesos, etc. y el estudio de tráfico para determinar los volúmenes vehiculares en las horas críticas. Se decide realizar el conteo durante 3 días en cada estación con la intervención de dos días entre semana y uno de fin de semana. El primer día se plantea tomar datos de dos bloques para identificar la hora pico y realizar el análisis en los días posteriores.

Después de haber procesado la información del estudio de campo de tráfico, se plantea evaluar los diagramas de flujo en cada intersección en las horas pico.

3.1.1 Identificación de la zona de estudio

Se realizó un reconocimiento de los accesos que intervienen en la zona de análisis. Las calles se encuentran en un estado bueno, pavimentadas con asfalto; sin embargo, se limitan los accesos de uso peatonal y vehicular. Estudios anteriores determinan que la Av. Guardia Civil presenta una ligera pendiente, no presenta estacionamiento de vehículos, sin embargo, tiene paradas de autobuses.

Se identificaron los siguientes accesos:

Acceso 1: Av. Guardia Civil en el sentido Oeste-Este (Piura – Chulucanas).

Acceso 2: pertenece a la calle Las Esmeraldas, Los Médanos en el sentido Sur-Norte.

Acceso 3: pertenece a la calle B de Cossío del Pomar en el sentido Norte-Sur.

Acceso 4: Av. Guardia Civil en el sentido Este-Oeste (Chulucanas - Piura).

A continuación, en la **Figura 35, 36, 37 y 38** se presenta el registro fotográfico de la zona de estudio.

Figura 35

Acceso 1 de la Av. Guardia Civil O-E, Piura-Chulucanas.



Figura 36

Acceso 2 Calle 12 Las Esmeraldas.

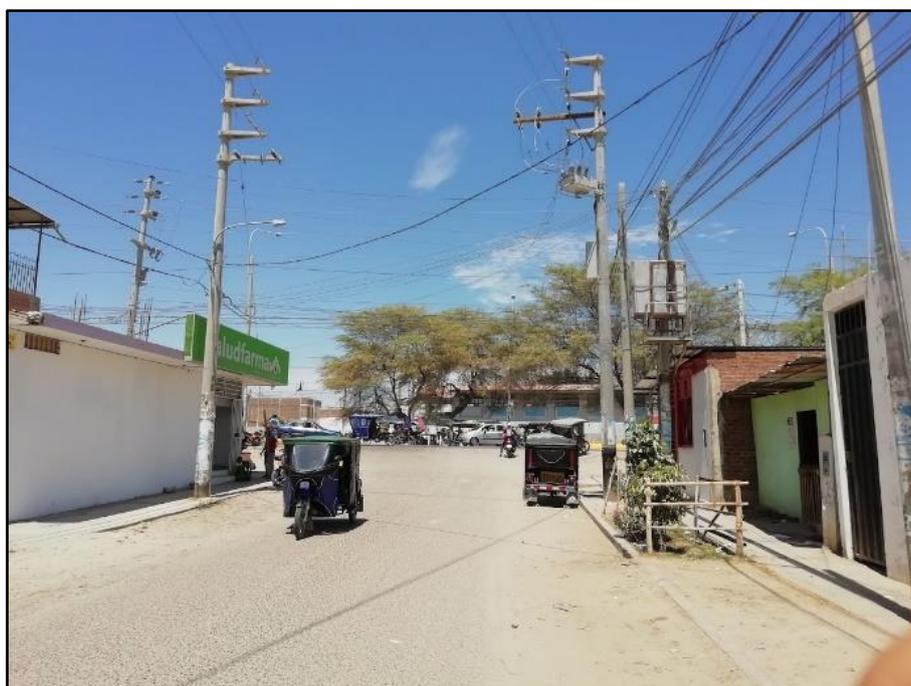


Figura 37

Acceso 3 de la calle B de Cossío del Pomar, N-S.

**Figura 38**

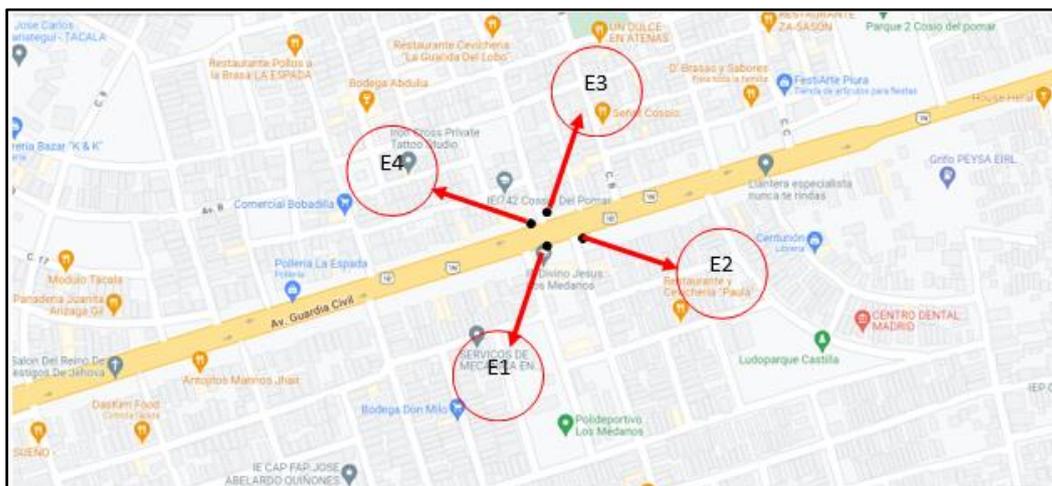
Acceso 4 Av. Guardia Civil, E-O (Chulucanas – Piura).



3.1.2 Ubicación de las estaciones.

Para realizar el presente estudio y obtener el conteo de vehículos de la zona en evaluación, se ha previsto la ubicación de 4 estaciones de conteo tal como se muestra en la **Figura 39**.

Figura 39
Ubicación de estaciones.



Nota. Adaptado de Google Maps (2022).

3.2 Estudio de tráfico:

3.2.1 Clasificación de vehículos.

Una vez identificada la ubicación de las estaciones para el conteo, se ha visto conveniente determinar una clasificación de los vehículos que transitan por la zona según su naturaleza, se destaca entre ellos los vehículos livianos como motos, autos, camionetas, bicicletas y vehículos pesados tanto como buses, camiones, tráileres.

En la investigación se ha previsto trabajar con la **Tabla 14**, para llevar acabo un óptimo trabajo.

Tabla 14
Clasificación de vehículos.

Tipo de Vehículo	Vehículos	
	MOTO LINEAL	

VEH. LIGEROS	MOTO	MOTOTAXI	
	BICICLETAS		
	AUTO		
	CAMIONETAS	PICK UP	
RURAL Combi			
VEH. PESADOS	BUS	MICRO	
		2E 3E	
	CAMION	2E 3E 4E 8X4	 
		TRAYLER	2S1 2S2 2S3 3S1 3S2 3S3
	2T2 2T3 3T2 3T3		

3.2.2 Recopilación de datos

Se realizó investigación en campo con el fin de obtener conocimiento de primera mano sobre el banco de datos necesario para la ejecución de análisis y diseño.

En la recaudación de datos se empleó el método manual para obtener el volumen de tráfico de manera presencial y se usó videocámaras para facilitar y obtener una toma de datos con mayor precisión.

Los conteos se realizaron durante tres días en cada una de las 4 estaciones, dentro de estos 2 días laborables (lunes y martes) y 1 día no laborable (sábado), los cuales corresponden al 7,8 y 12 de marzo del 2022.

El lunes 7 se realizó el conteo durante dos bloques, uno por la mañana a las 6:45 am - 9:45 am y por la tarde de 5:30 pm - 8:30 pm con el fin de determinar el comportamiento de los flujos vehiculares, así determinar la hora pico para realizar la recopilación de datos en los días posteriores en bloques de 15 minutos.

Cabe resaltar que los conteos se realizaron en las estaciones antes mencionadas y se desarrolla de acuerdo con la clasificación determinada de los tipos de vehículos, para los cuales se plantearon formatos de conteo vehicular como se muestra en la **Tabla 15**, donde se identificaron los tipos de vehículos y los sentidos de circulación para tener un registro específico del aforo.

Tabla 15

Modelo de Formato para el conteo de tráfico vehicular.

HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER		BICICLETA	TOTAL
			MOTO LINEAL	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL Combi	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2S2 2S3 3S1 3S2	2T2 2T3 3T2 3T3			
DIAGRA. VEH															
07.00 A 07.15	1.4	→													
	1.3	↕													
	1.2	←													
	1.1	↔													

3.2.2.1 Geometría de la intersección actual

En el estudio se realizó un análisis intrínseco con instrumentos de medición para poder dar una mayor precisión respecto a los planos encontrados **Anexo C y D**. En la **Tabla 16** se presenta la recopilación de las características geométricas, así como los valores de las dimensiones de los carriles tomadas en campo.

La geometría actual del empalme corresponde a una intersección a nivel que permite el entrelace de las vías, es decir que existe un desfase entre las calles secundarias que corresponde a al acceso 2 y 3, lo cual produce entrecruzamientos de los vehículos.

Tabla 16

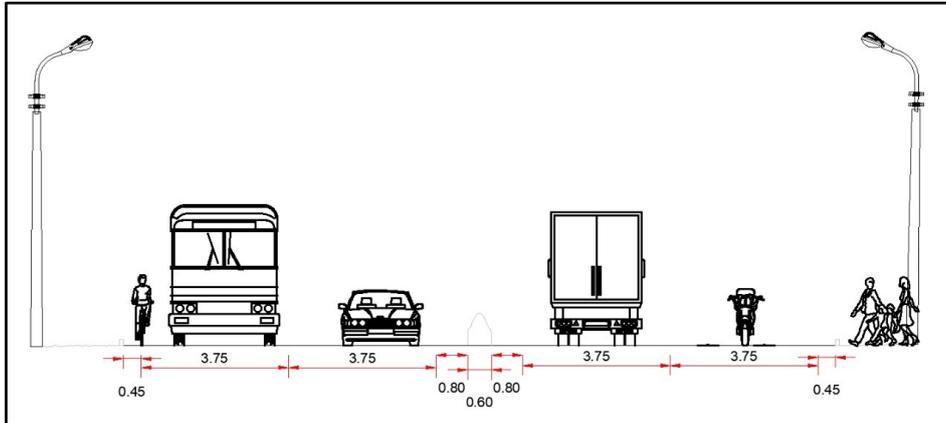
Características de los accesos.

Accesos	Características
Av. Guardia Civil (O-E) Vía Arterial	Cantidad de carriles: 2 (un solo sentido) Medidas de carriles:3.75m
Calle 12 (Las Esmeraldas), Los Médanos Vía Colectora	Cantidad de carriles: 2 (doble sentido) Medidas de carriles:4.35m
Calle B, Cossío del Pomar Vía Colectora	Cantidad de carriles: 2 (doble sentido) Medidas de carriles: 3.025m
Av. Guardia Civil (E-O) Vía Arterial	Cantidad de carriles: 2 (un solo sentido) Medidas de carriles:3.75m

Los sentidos de la Av. Guardia Civil se encuentran limitados por separadores de concreto de 60cm de ancho y bermas laterales extremas a ambos lados de 45cm, tal como se muestra en la **Figura 40 y 41**.

Figura 40

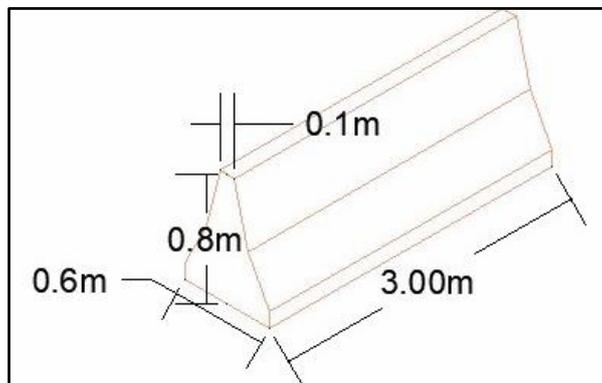
Vista frontal de la Av. Guardia Civil.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 41

Vista 3D de Separador de Concreto.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

3.2.2.2 Trayectorias en los accesos

Se logró identificar los tipos de movimientos de los flujos vehiculares: directo, giro a la izquierda, giro a la derecha, giro en U. No existen carriles exclusivos para movimientos.

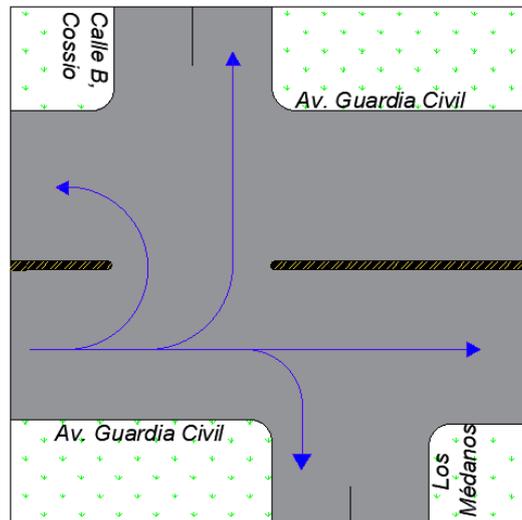
Se describe la situación de los accesos identificados:

- Acceso 1: el flujo proviene desde Piura, tiene tres opciones de destino: hacia la Calle 12 con un giro a la derecha, hacia la Calle B con un giro a la izquierda y de frente. En este último movimiento, se tiene como inconveniente los vehículos que ocupan el primer carril del acceso 2, encontrándose dos vehículos con distinto sentido en un solo carril. Además,

existe movimiento como es el giro en U, este es debido a que se requiere el acceso a la primera entrada de la Urb. Cossío del Pomar, lugares aledaños o el retorno a la ciudad.

Figura 42

Movimientos de circulación del acceso 1.

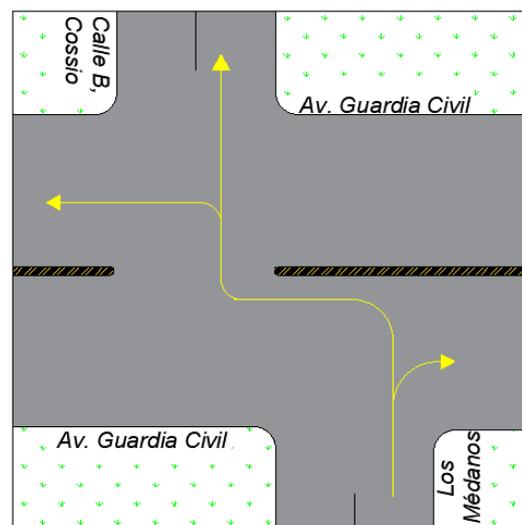


Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

- **Acceso 2:** el flujo se origina en la zona sur, tiene tres destinos: giro a la derecha con dirección a la salida de Piura; y para poder llegar hacia la Urb. Cossío del Pomar o Piura tendrá que ocupar el primer carril de la avenida Guardia Civil, ir en contra hasta poder llegar al cruce de la intersección.

Figura 43

Movimientos de circulación del acceso 2.

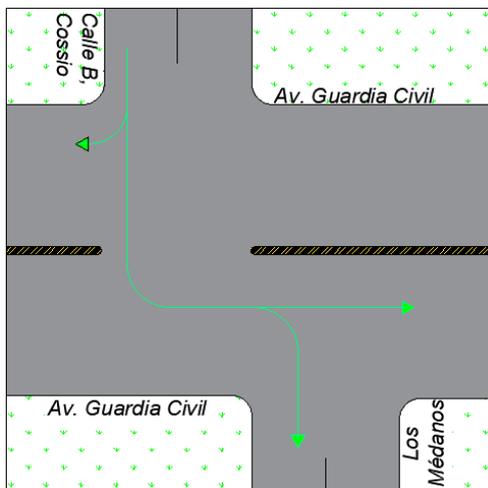


Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

- **Acceso 3:** proviene del sector de la Urb. Cossío del Pomar, se tiene giro a la derecha hacia Piura y se cruza la intersección hacia la izquierda para la salida con dirección a Chulucanas o se puede recorrer unos metros y dirigirse hacia Los Médanos con un giro a la derecha.

Figura 44

Movimientos de circulación del acceso 3.

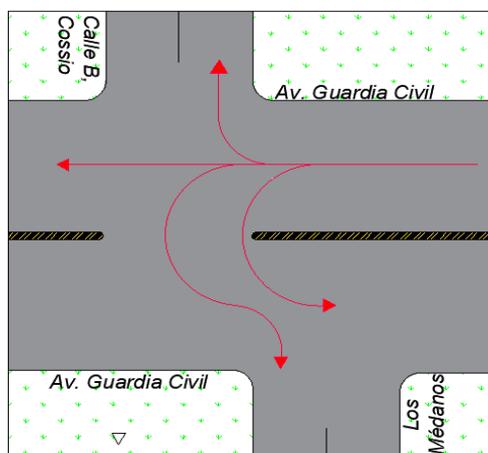


Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

- **Acceso 4:** proviene del sector este de Piura, existen 4 tipos de movimientos: con giro a la derecha se dirige hacia Calle B Cossío, de frente se conduce hacia Piura. También existe el giro en U, que permite el acceso con dirección hacia la salida de Piura y para poder ingresar a la Calle Los Médanos se debe completar con giro a la derecha, sin embargo, se presentan inconveniente al realizar este giro, ya que se encuentran a los vehículos del acceso 1 que ocupan el primer carril de la vía.

Figura 45

Movimientos de circulación del acceso 4.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

3.2.3 Procesamiento de los datos de campo.

Esta parte de la investigación corresponde al trabajo de gabinete. Los resultados obtenidos del conteo de tráfico se procesan en formato Excel, se registran todos los vehículos por hora y día, por giro realizado y por tipo de vehículo en cada entrada.

En base al conteo vehicular se tiene como finalidad conocer los volúmenes de tráfico que soporta la vía de estudio, así como su distribución vehicular y su variación diaria.

El Índice Medio Diario Anual (IMDA) se obtiene mediante la conversión del volumen de tráfico, se analiza mediante la siguiente fórmula:

$$IMDA = IMDs * FC$$

$$IMDA = \frac{Prom(VI) * 5 + Prom(Vnl) * 2}{7} * FC$$

Ecuación
25

Donde:

IMDs = Volumen clasificado promedio de la semana.

VI = Volumen clasificado de días laborables (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes).

Vnl = Volumen clasificado días no laborables (Día sábado (Vs), Domingo (Vd)).

FC = Factor de Corrección Estacional.

Para la elaboración y evaluación de proyectos el Factor de Corrección Estacional, se toma en base a la **Tabla 17** publicada por el MTC, promedio de los años 2010-2016, de la unidad de Peaje más cercana. Para el estudio se ha tomado del Peaje Chulucanas ubicado al este del departamento de Piura correspondiente para el mes de marzo en el que se realizó dicho estudio.

Tabla 17

Factores de corrección estacionaria.

Tipo de Vehículo	CHULUCANAS	
	Ligeros	Pesados
Enero	1.021	1.0042
Febrero	1.0629	0.9705

Marzo	1.1565	1.1344
Abril	1.1355	1.158
Mayo	1.065	1.0939
Junio	1.0374	1.0464
Julio	0.9771	1.0225
Agosto	0.915	0.9536
Setiembre	0.9843	0.9603
Octubre	0.9479	0.9195
Noviembre	0.9145	0.898
Diciembre	0.7502	0.7996
Total	1	1

Nota. Adaptado de MTC_Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

Se ha considerado un factor de amplificación empírico debido a que el estudio se realizó antes del inicio de escolar, se espera que haya un ligero aumento representativo el cual ha sido estimado en un 15% en los vehículos. El coeficiente de orden esperado para esta intersección es $k=0.18$, el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico asigna este valor de k a carreteras con variaciones estacionales.

3.2.4 Volumen vehicular y peatonal.

Para determinar el bloque que produce mayor volumen de tráfico se procedió a ingresar todos los valores del conteo del 07 de marzo durante el transcurrir del día y se vio conveniente tomar la información de dos bloques de 6:45 am - 9:45 am y 5:30 pm - 8:30 pm.

Se obtiene el Gráfico 1 de variación horaria donde se aprecian dos picos ligeros de volumen de tráfico en el turno de la mañana de 2,909 veh/h y en el turno de la tarde 2,843 veh/h. Con estos resultados se decide usar el bloque hora pico de la mañana el cual corresponde de 7:00 am a 8:00 am

Gráfico 1

Variación horaria del lunes 07/03/22.



3.2.4.1 Aforo vehicular. Se presentan los aforos vehiculares en los días mencionados, tomados en la hora pico establecida para el estudio. Se muestran en los **Apéndices A, B, C y D** las tablas en las cuales contienen el conteo en cada estación del 07 de marzo del 2022, en los **Apéndices E, F, G y H** se aprecia el conteo en cada estación del 08 de marzo del 2022 y los **Apéndices I, J, K y L** el conteo en cada estación del sábado 12 del 2022.

Además, también se decidió tener data acerca de tránsito peatonal a través de la Av. Guardia Civil debido a que se considera necesario resguardar su seguridad y es fundamental para el diseño.

Tabla 18

Conteo del flujo peatonal.

Hora	Código de giro	Sentido	Peatón 		
			Lunes	Martes	Sábado
07:00 A 07:15	2.3	↑	6	14	12
	3.2	↻	1	5	1
07:15 A 07:30	2.3	↑	18	19	9
	3.2	↻	2	8	3
07:30 A 07:45	2.3	↑	3	15	12
	3.2	↻	0	4	1
07:45 A 08:00	2.3	↑	9	16	4

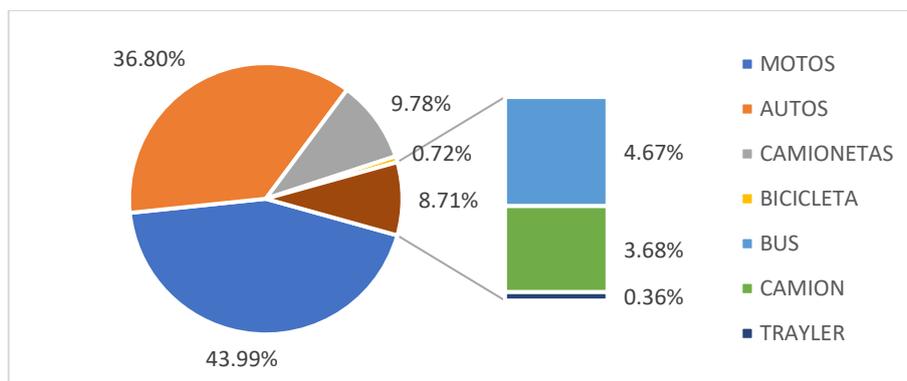
	3.2	?	9	2	3
		TOTAL	48	83	45

3.2.4.2. Intervención de vehículos. Se hizo un reconocimiento del porcentaje de intervención de vehículos de cada acceso, se determinó los siguientes resultados:

En la Av. Guardia Civil sentido oeste – este, se identifica que el vehículo más recurrente es la moto con un 44% y el porcentaje de vehículos pesados corresponde al 8.71%.

Gráfico 2

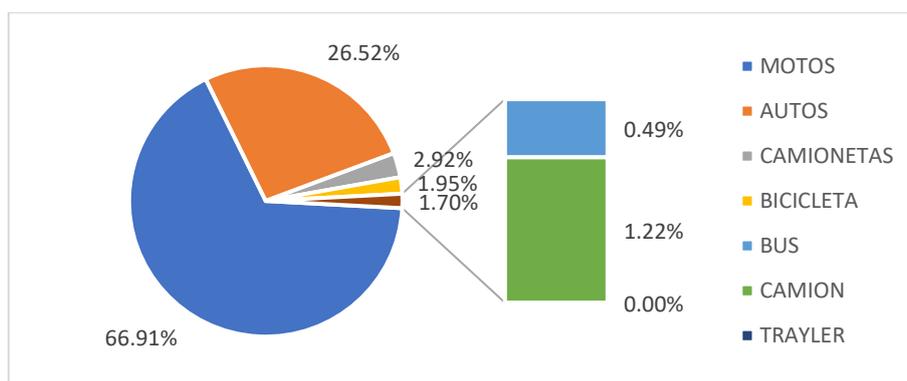
Porcentajes de vehículos que transitan por la intersección: Av. Guardia Civil (O-E).



En Calle Las Esmeraldas, Los Médanos, se identifica que el vehículo más recurrente es la moto con un 67% y el porcentaje de vehículos pesados corresponde al 1.70%.

Gráfico 3

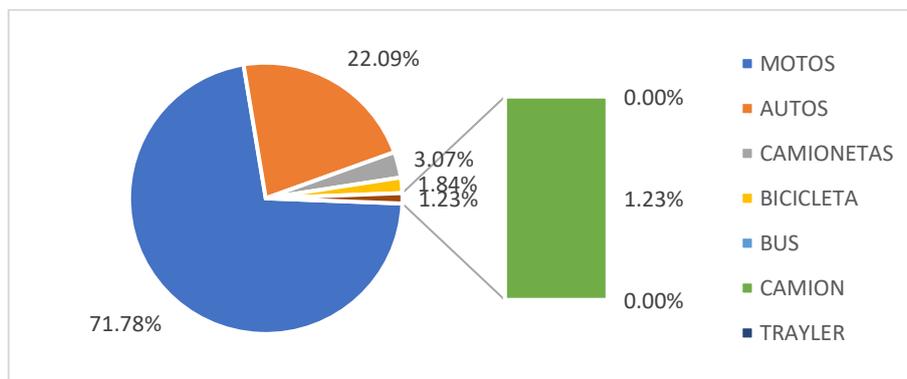
Porcentajes de vehículos que transitan por la intersección: Calle 12 (Las Esmeraldas), Los Médanos.



En la Calle B, Cossío del Pomar se identifica que el vehículo más recurrente es la moto con un 72% y el porcentaje de vehículos pesados corresponde al 1.23%.

Gráfico 4

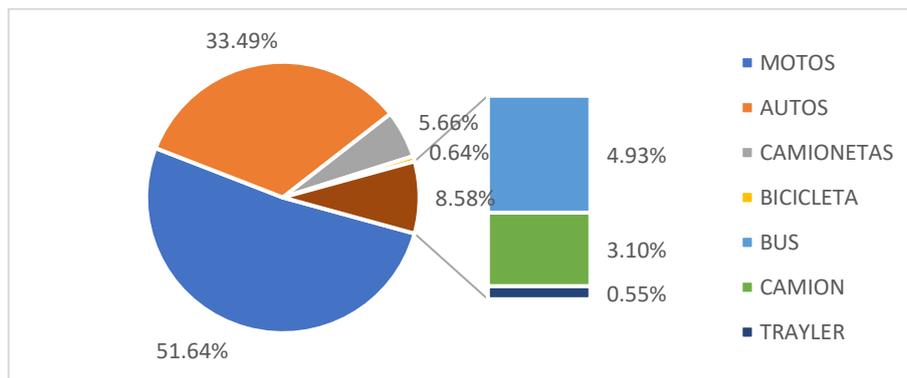
Porcentajes de vehículos que transitan por la intersección: Calle B, Cossío del Pomar.



En la Av. Guardia Civil sentido este – oeste, se identifica que el vehículo más recurrente es la moto con un 52% y el porcentaje de vehículos pesados corresponde al 8.58%

Gráfico 5

Porcentajes de vehículos que transitan por la intersección: Av. Guardia Civil (E-O).

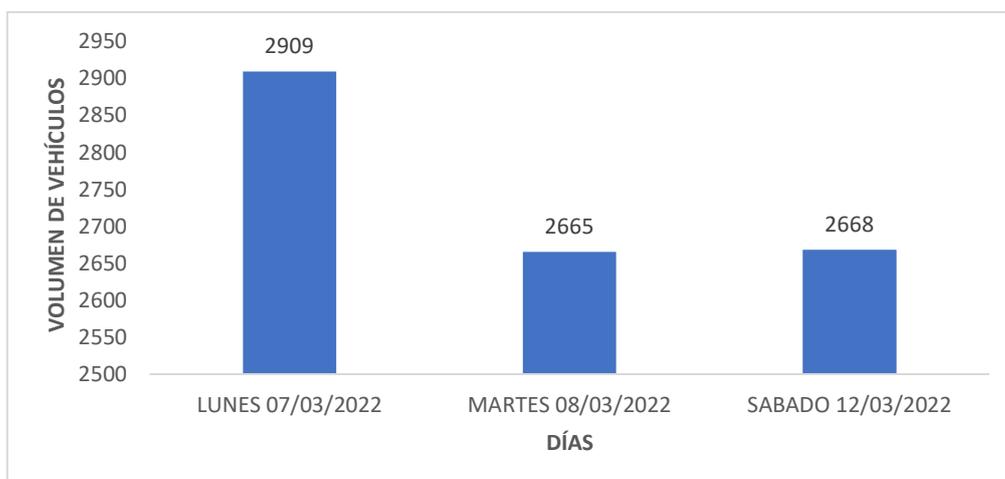


3.2.4.3 IMDs, IMDa y VHD. Según los datos por el conteo de vehículos se puede apreciar en el **Gráfico 2** la variación del volumen de vehículos por día, en el que se evidencia que el primer día hay una mayor aglomeración de vehículos.

Se realizó la aplicación de las fórmulas planteadas en los capítulos anteriores para la correcta tabulación de los índices promedios de los cuales se presentan a continuación los resultados obtenidos en las **Tablas 19, 20 y 21.**

Gráfico 6

Variación de volumen de vehículos durante la semana de conteo.

**Tabla 19**

Resultado del Índice medio semanal- IMDs de la intersección.

VEHÍCULOS		MOTO	AUTO	CAMIONETAS	BUS	CAMIÓN	TRAILER	BICICLETA	TOTAL FÍSICOS
ACCESOS									
ACCESO 1	→	279	297	92	52	35	4	4	763
	↑	92	46	10	0	2	0	2	152
	↓	97	55	6	0	3	0	2	163
	⊃	22	12	1	0	1	0	0	36
ACCESO 2	→	14	1	0	0	0	0	3	18
	↑	207	87	8	1	4	0	3	310
	↓	54	21	4	1	1	0	2	83
ACCESO 3	→	29	3	1	0	0	0	1	34
	↑	27	8	1	0	0	0	1	37
	↓	61	25	3	0	2	0	1	92
ACCESO 4	→	511	348	59	53	33	6	5	1015
	↑	26	7	2	1	0	0	1	37
	↓	27	10	1	0	1	0	1	40
	⊃	2	2	0	0	0	0	0	4
SUMA		1448	922	188	108	82	10	26	2784
%		52%	33%	7%	4%	3%	0%	1%	

Tabla 20*Resultado del Índice medio anual de la intersección - IMDA.*

VEHÍCULOS		MOTO	AUTO	CAMIONETAS	BUS	CAMIÓN	TRAILER	BICICLETA	TOTAL FÍSICOS
ACCESOS									
ACCESO 1	→	322.66	343.48	106.40	58.99	39.70	4.54	4.63	880.40
	↑	106.40	53.20	11.57	0.00	2.27	0.00	2.31	175.74
	↓	112.18	63.61	6.94	0.00	3.40	0.00	2.31	188.44
	⊃	25.44	13.88	1.16	0.00	1.13	0.00	0.00	41.61
ACCESO 2	→	16.19	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	3.47	20.82
	↑	239.40	100.62	9.25	1.13	4.54	0.00	3.47	358.40
	↓	62.45	24.29	4.63	1.13	1.13	0.00	2.31	95.95
ACCESO 3	→	33.54	3.47	1.16	0.00	0.00	0.00	1.16	39.32
	↑	31.23	9.25	1.16	0.00	0.00	0.00	1.16	42.79
	↓	70.55	28.91	3.47	0.00	2.27	0.00	1.16	106.35
ACCESO 4	→	590.97	402.46	68.23	60.12	37.44	6.81	5.78	1171.81
	↑	30.07	8.10	2.31	1.13	0.00	0.00	1.16	42.77
	↓	31.23	11.57	1.16	0.00	1.13	0.00	1.16	46.24
	⊃	2.31	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.63
SUMA		1674.61	1066.29	217.42	122.52	93.02	11.34	30.07	3215.28
%		52%	33%	7%	4%	3%	0%	1%	

Tabla 21*Resultados del Volumen horario de diseño de la intersección. **

		0.55	1	1.33	3	4	4.5	0.33		
VEHÍCULOS		MOTO	AUTO	CAMIONETAS	BUS	CAMIÓN	TRAILER	BICICLETA	TOTAL FÍSICOS	
ACCESOS										
1	ACCESO 1	→	36.74	71.10	29.29	36.63	32.87	4.23	0.32	211.18
1.5		↑	18.17	16.52	4.78	0.00	2.82	0.00	0.24	42.52
1.1		↓	14.05	14.48	2.10	0.00	3.10	0.00	0.17	33.91
2		⊃	5.79	5.75	0.64	0.00	1.88	0.00	0.00	14.05
1	ACCESO 2	→	1.84	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	2.32
1.5		↑	40.88	31.24	3.82	1.06	5.64	0.00	0.36	82.99
1.1		↓	7.82	5.53	1.40	0.77	1.03	0.00	0.17	16.73
1	ACCESO 3	→	3.82	0.72	0.32	0.00	0.00	0.00	0.08	4.93
1.5		↑	5.33	2.87	0.48	0.00	0.00	0.00	0.12	8.80
1.1		↓	8.83	6.58	1.05	0.00	2.07	0.00	0.09	18.62
1	ACCESO 4	→	67.28	83.31	18.79	37.34	31.00	6.34	0.40	244.45
1.5		↑	5.14	2.51	0.96	1.06	0.00	0.00	0.12	9.78
1.1		↓	3.91	2.63	0.35	0.00	1.03	0.00	0.09	8.01
2		⊃	0.53	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48
SUMA			220.13	244.45	63.97	76.86	81.44	10.57	2.38	699.78
%			31%	35%	9%	11%	12%	2%	0%	

*Nota. *Valores afectados por las unidades de equivalentes según giro y tipo de vehículos*

3.2.4.4 Proyección del tráfico. Por ser una vía pavimentada de bajo volumen de tráfico, la proyección al año de diseño se ha tomado un periodo de 20 años, para ello se debe realizar una actualización al año 2042 a través de la fórmula de crecimiento normal del tránsito, se toman como valores en base los datos brindados por el MTC para la tasa de crecimiento anual en Piura de 0.87% y crecimiento de PBI de 3.23%. **Anexo A y B**

Tabla 22

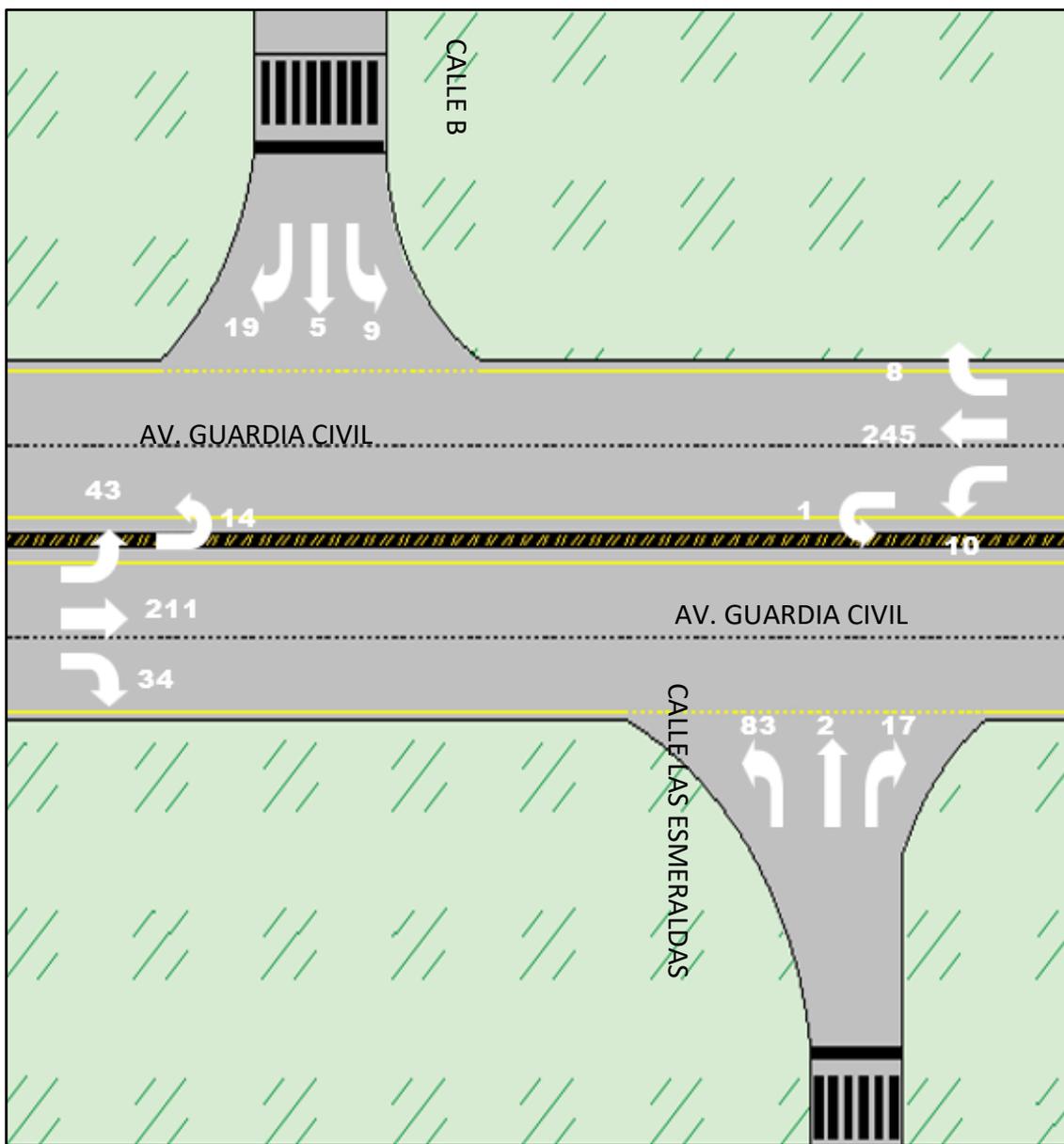
Resultados de proyección del tráfico.

VEHÍCULOS		MOTO	AUTO	CAMIONETAS	BUS	CAMIÓN	TRAILER	BICICLETA	TOTAL FÍSICOS
ACCESOS									
ACCESO 1	→	43.68	84.55	34.83	69.18	62.08	7.98	0.38	302.69
	↑	21.61	19.64	5.68	0.00	5.32	0.00	0.28	52.53
	↓	16.71	17.22	2.50	0.00	5.85	0.00	0.21	42.49
	⊃	6.89	6.83	0.76	0.00	3.55	0.00	0.00	18.03
ACCESO 2	→	2.19	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	2.76
	↑	48.62	37.15	4.54	2.00	10.64	0.00	0.42	103.37
	↓	9.30	6.58	1.67	1.46	1.95	0.00	0.21	21.16
ACCESO 3	→	4.54	0.85	0.38	0.00	0.00	0.00	0.09	5.87
	↑	6.34	3.42	0.57	0.00	0.00	0.00	0.14	10.47
	↓	10.51	7.83	1.25	0.00	3.90	0.00	0.10	23.59
ACCESO 4	→	80.01	99.07	22.34	70.51	58.54	11.97	0.47	342.91
	↑	6.11	2.99	1.14	2.00	0.00	0.00	0.14	12.37
	↓	4.65	3.13	0.42	0.00	1.95	0.00	0.10	10.25
	⊃	0.63	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.77
SUMA		261.78	290.69	76.07	145.14	153.79	19.96	2.83	950.25
%		28%	31%	8%	15%	16%	2%	0%	

3.2.5 Flujogramas

Figura 46

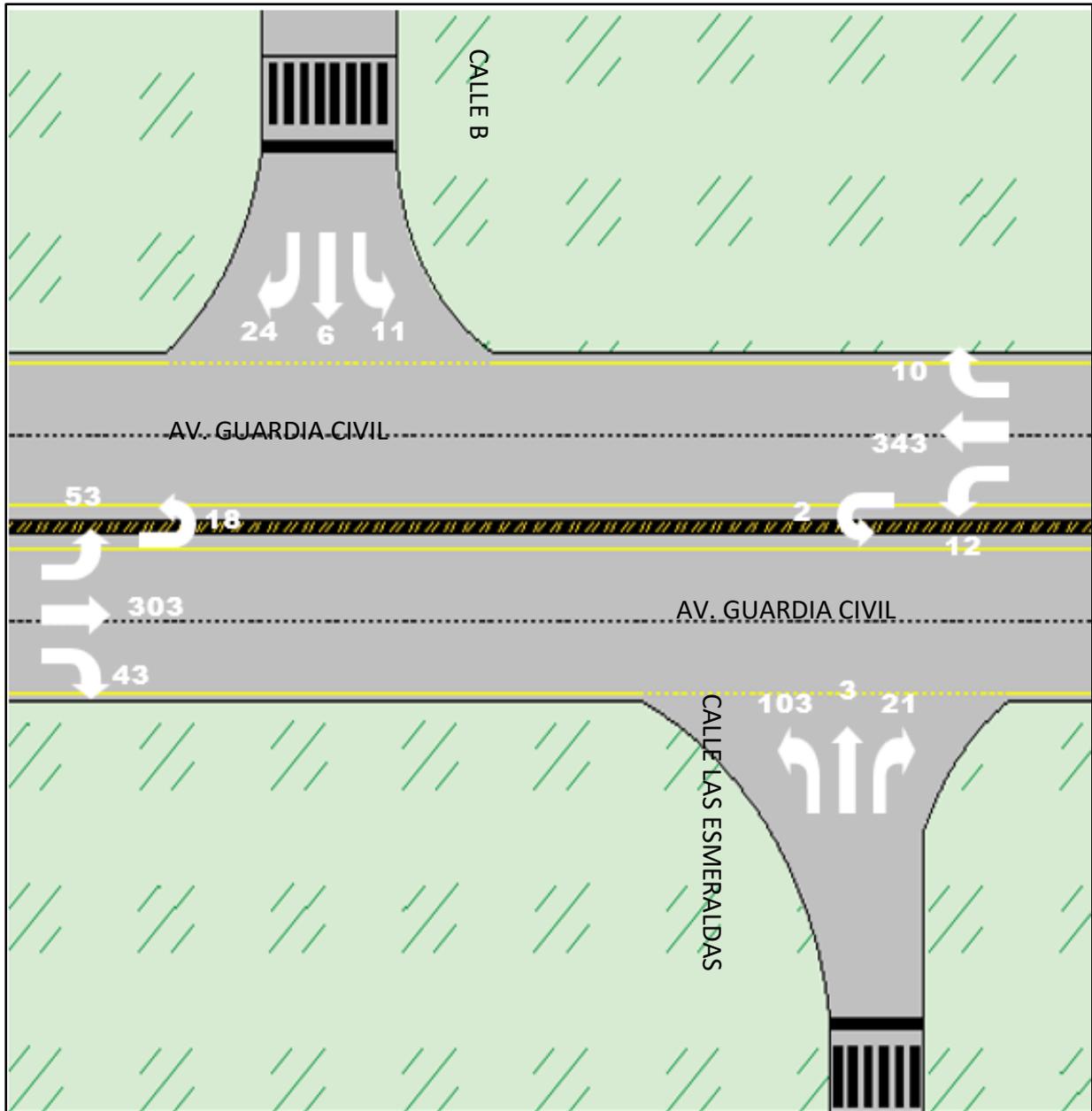
Flujograma del volumen horario de diseño.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 47

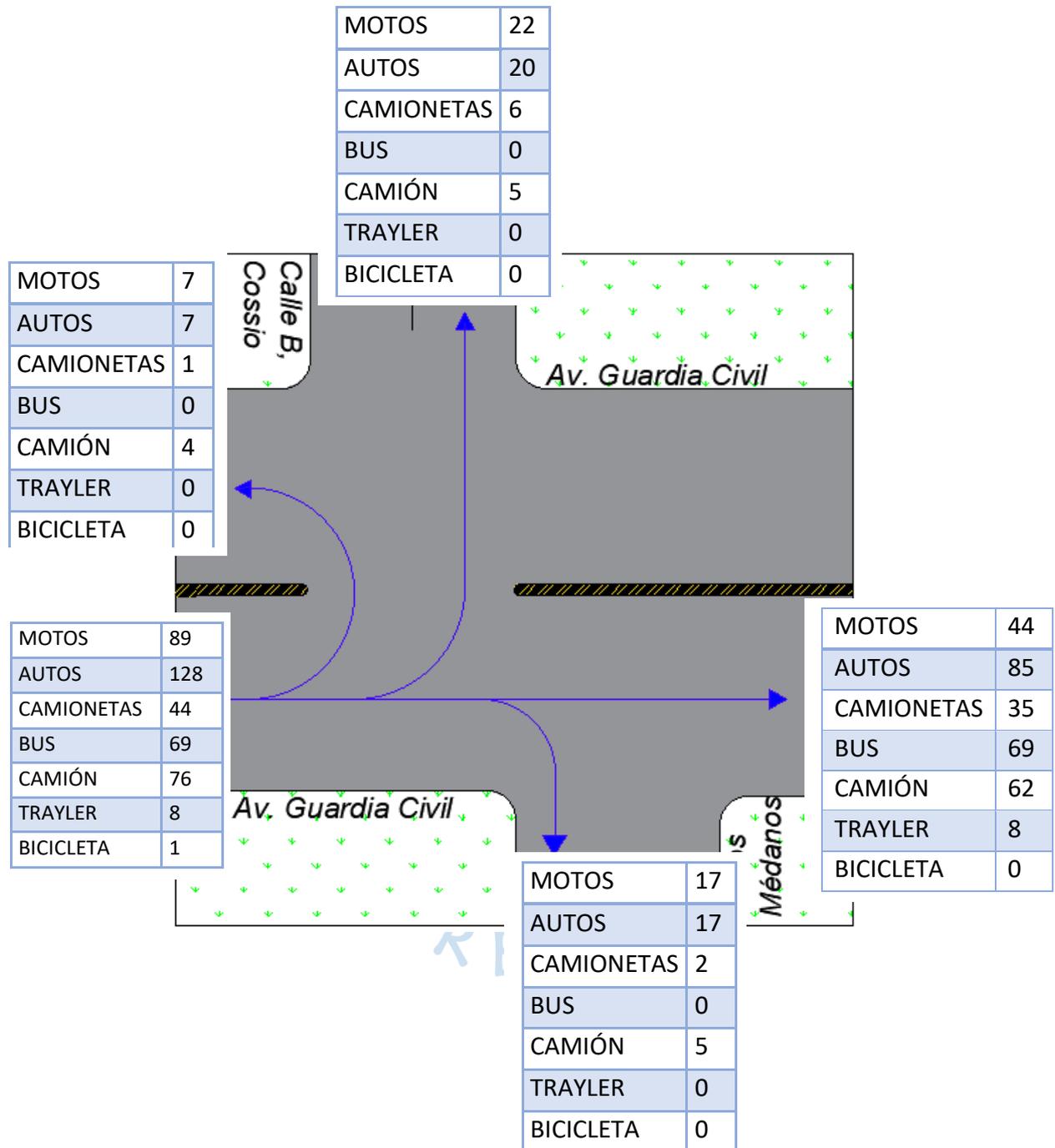
Flujograma de proyección de tráfico al 2042.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 48

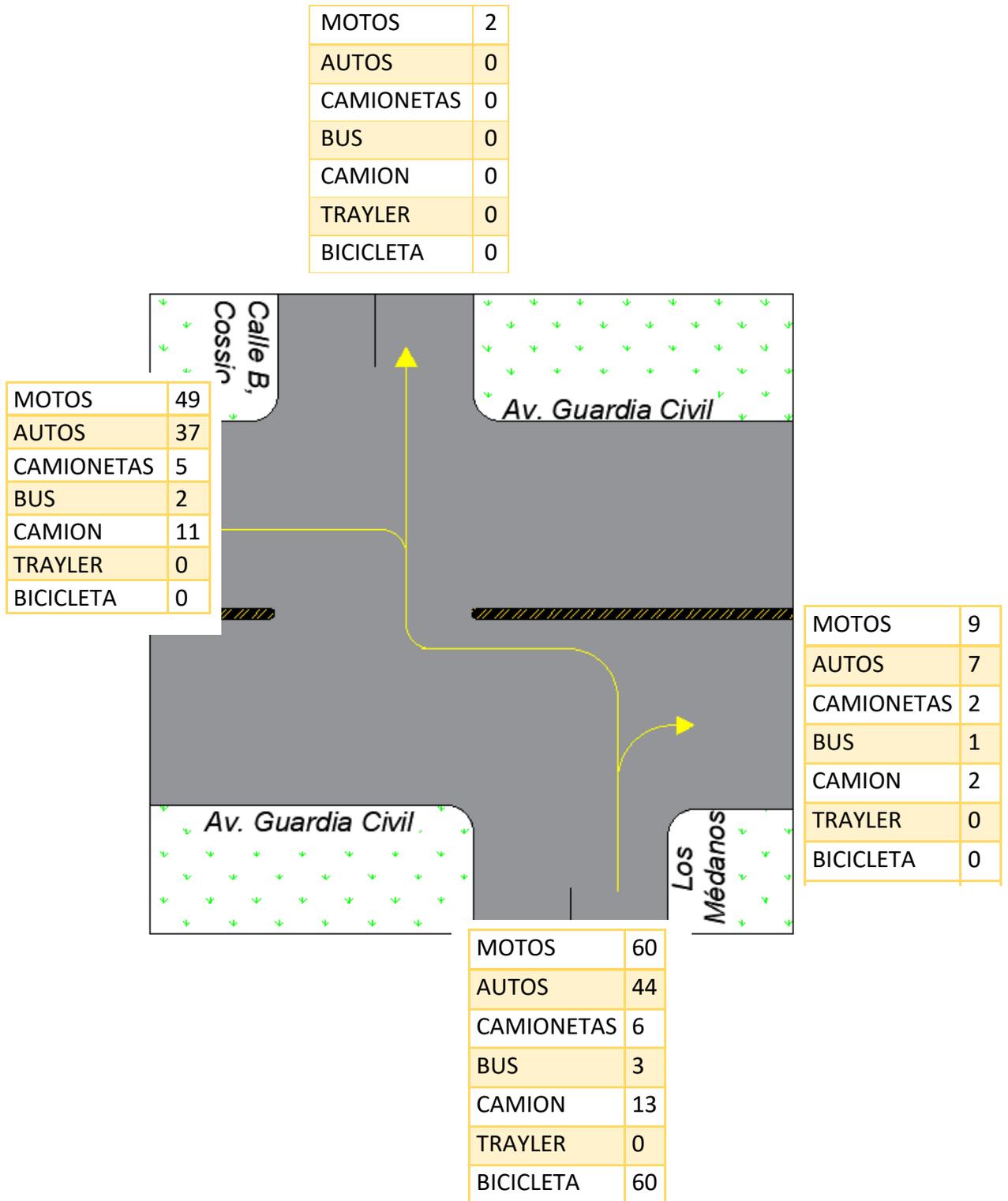
Flujograma de proyección de tráfico del acceso 1 por tipo de vehículos.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 49

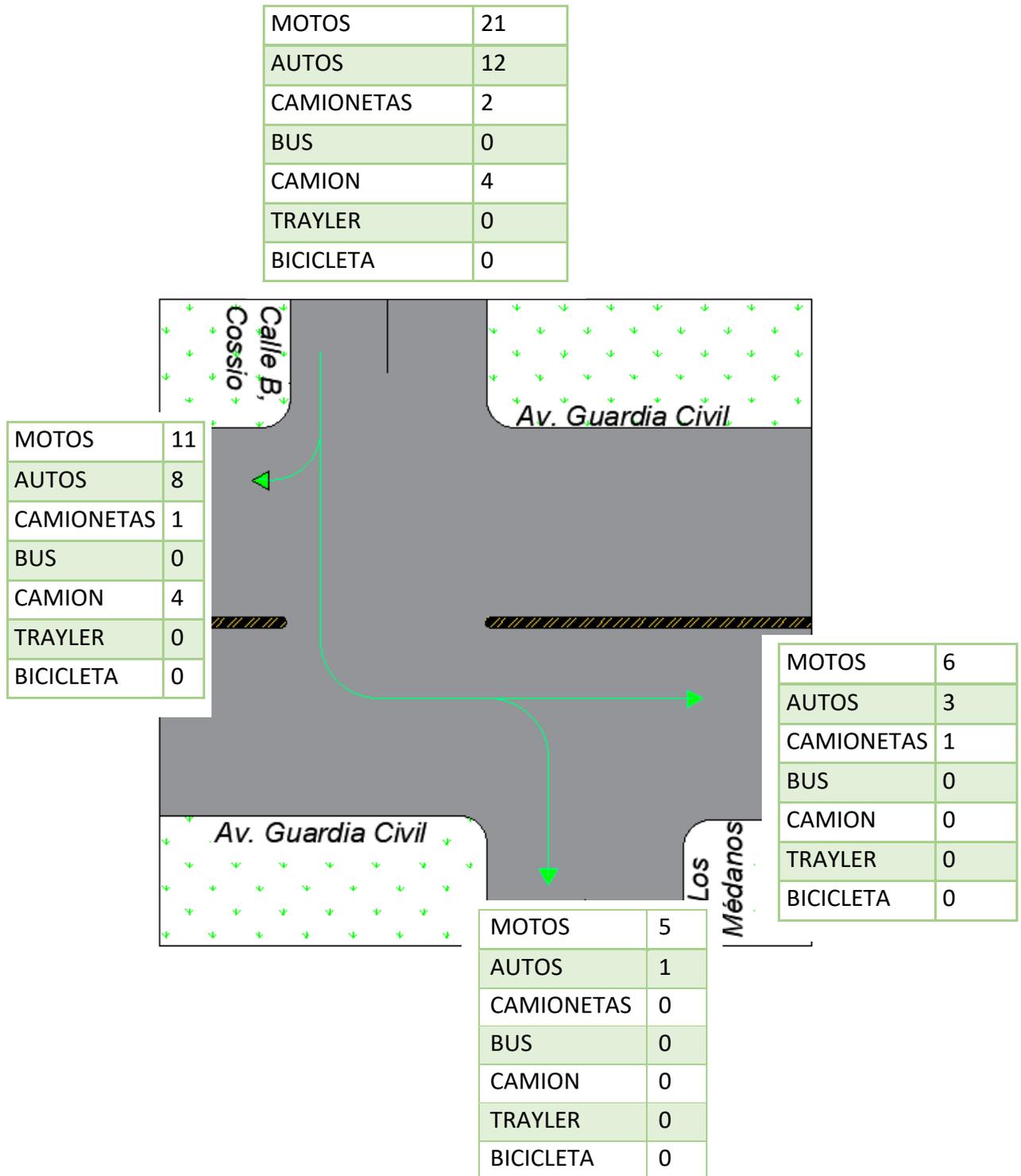
Flujograma de proyección de tráfico del acceso 2 por tipo de vehículos.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 50

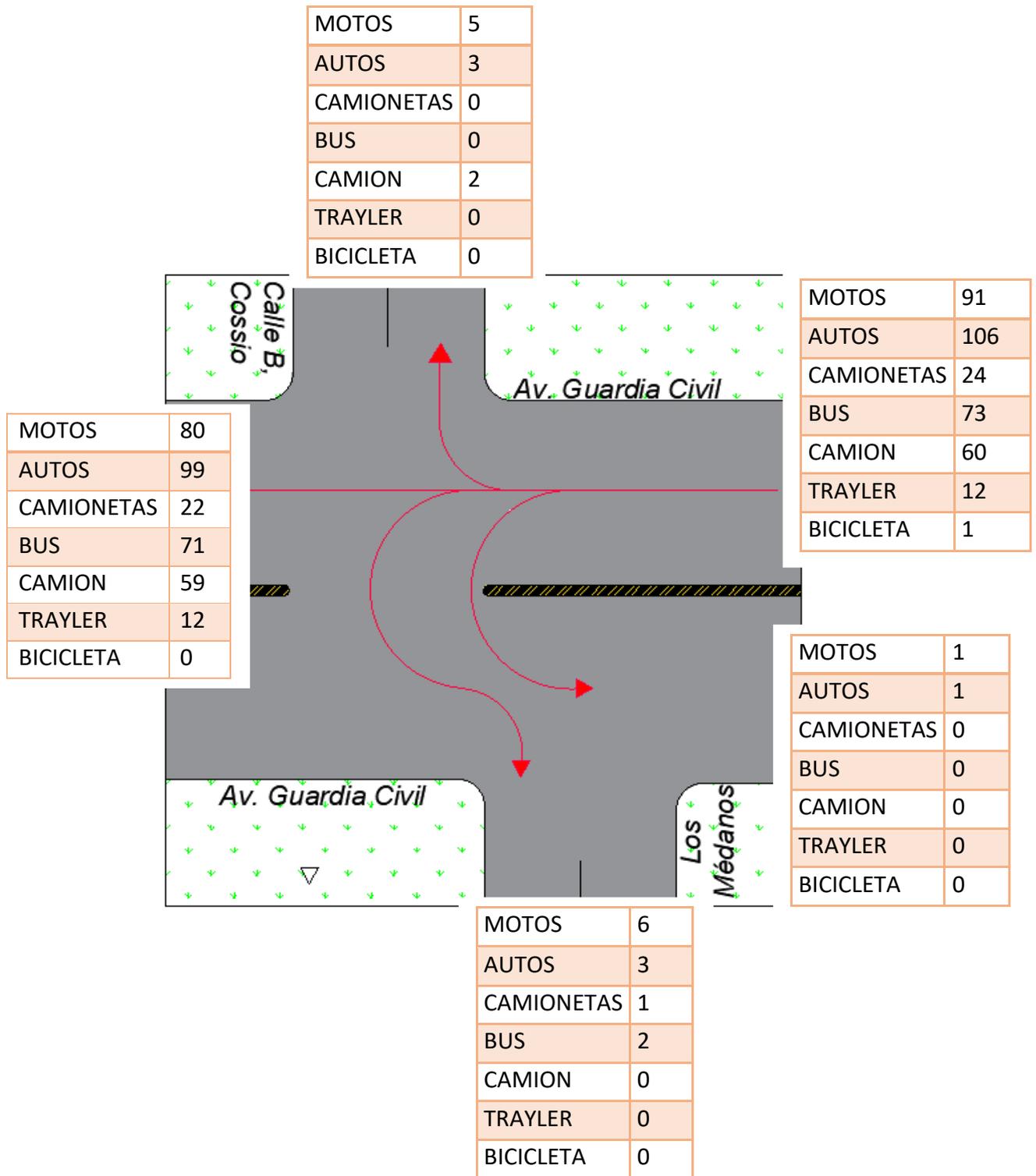
Flujograma de proyección de tráfico del acceso 3 por tipo de vehículos.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 51

Flujograma de proyección de tráfico del acceso 4 por tipo de vehículos.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Capítulo 4

Prediseño de la intersección con las alternativas de propuesta

4.1 Propuesta 1: Implementación de Sistema Semafórico

Para realizar el cálculo de los tiempos de semáforos, se siguió las condiciones definidas en el Capítulo 3.6.

La intersección presenta una geometría no simétrica ya que los anchos de cada acceso son variables como se detalla en la **Tabla 16** del Capítulo 3, por lo tanto, se tendrá que determinar el tiempo de entre verdes de cada fase con la ecuación planteada por Kell & Fullerton (1991).

Se ha considerado para el diseño de vehículo al ómnibus de tres ejes (B3-1), ya que en el estudio de tráfico realizado en el Capítulo 3 es uno de lo más concurrentes debido a viajes interprovinciales. En la **Tabla 23** se muestra las características del vehículo elegido y coeficiente de fricción longitudinal respecto a la velocidad de la vía de diseño **Tabla 24**.

Tabla 23

Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras.

Tipo de vehículo	Alto Total	Ancho Total	Vuelo Lateral	Ancho Ejes	Largo Total	Vuelo Delantero	Separación Ejes	Vuelo trasero	Radio min rueda exterior
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4.10	2.60	0.00	2.60	14.00	2.40	7.55	4.05	13.70

Nota. Adaptado del Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC).

Tabla 24

Coefficiente de fricción longitudinal según la velocidad de diseño.

Velocidad de proyecto	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coefficiente de fricción longitudinal, f_f	0.4	0.38	0.36	0.34	0.325	0.31	0.305	0.30	0.295	0.29

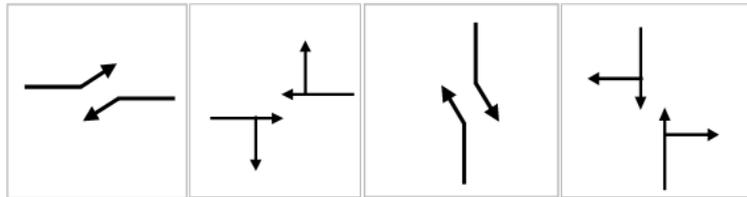
Nota. Adaptado de CAT (2018).

4.1.1 Implementación con 4 fases.

Para poder obtener un óptimo diseño de los accesos, se realizó el análisis con un giro protegido o giro exclusivo a la izquierda tal como se muestra en la Figura 52, sin embargo, como en las vías de norte-sur y viceversa cuentan con un diseño de la vía de un carril, dicho de giro protegido queda descartado. Así mismo, se hizo los cálculos de distintas interacciones de movimientos donde en todos los casos no se encontró con un óptimo ciclo por lo que se descarta esta solución.

Figura 52

Movimientos ideales de un semáforo de cuatro fases.



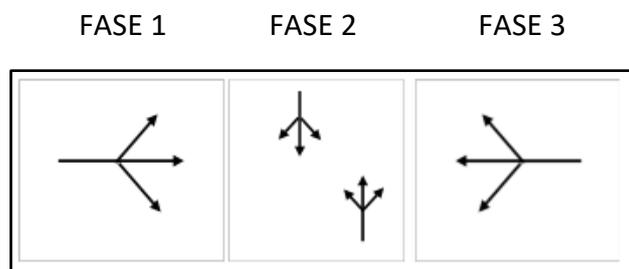
Cabe resaltar que también se insistió con la formulación de la implementación de dos fases, una establecida para la avenida principal y otra para las calles desfasadas, pero aun así no se obtuvo los valores óptimos de ciclo, obteniéndose resultados muy cortos de tiempo lo que demostraban que sería desfavorable para la distribución de tránsito.

4.1.2 Implementación de semáforos con 3 fases.

Durante el análisis del diseño geométrico se encontraron varios puntos de conflictos en la vía, se le dio prioridad a la vía principal de la Av. Guardia Civil (OE-EO) y por ello se planteó el análisis con 3 fases.

Figura 53

Movimientos de un semáforo de tres fases.



A continuación, se presenta el cálculo de las fases empleando la **Ecuación 6**.

Fase 1: Av. Guardia Civil OE

$$I_{2-EO} = \left(t + \frac{V_0}{2a} \right) + \left(\frac{w + L}{V_0} \right)$$

$$I_{2-EO} = \left(1 + \frac{60 * 5/18}{2 * 0.34 * 9.81}\right) + \left(\frac{14.75 + 14}{60 * 5/18}\right)$$

$$I_{2-E} = 3.49 + 1.72 = 5.21 \text{seg} = 4A + 2TR$$

Fase 2: Calle B, Cossío del Pomar-NS y Calle 12-Las Esmeraldas, Los Médanos-SN

$$I_{2-NS} = \left(1 + \frac{40 * 5/18}{2 * 0.34 * 9.81}\right) + \left(\frac{40 + 14}{40 * 5/18}\right)$$

$$I_{2-NS} = 2.67 + 2.81 = 5.48 \text{seg} = 4A + 2TR$$

Fase 3: Av. Guardia Civil EO

$$I_{3-EO} = \left(1 + \frac{60 * 5/18}{2 * 0.34 * 9.81}\right) + \left(\frac{17.2 + 14}{60 * 5/18}\right)$$

$$I_{3-EO} = 3.49 + 1.72 = 5.21 \text{seg} = 4A + 1TR$$

En tanto al estudio de tráfico realizado en el capítulo 3, se obtuvieron los valores de los vehículos equivalentes.

Tabla 25

Unidades de vehículos equivalentes.

Acceso	Izquierda	De frente	Derecha	U
1	53	303	43	18
2	103	3	21	0
3	10	6	24	0
4	12	343	10	2

Se presenta la distribución del volumen vehicular en base a el método WEBSTER.

Tabla 26*Distribución del método WEBSTER.*

Acceso	Carril	Fase	Volumen	Distribución
OE	A	I	192	IZQ + U+CENTR*0.4
	B	I	225	CENTR*0.6+DER
NS	A	II	127	IZQ + CENTR+ DER
SN	A	II	40	IZQ + CENTR+ DER
EO	A	III	151	IZQ + U+CENTR*0.4
	B	III	216	CENTR*0.6+DER

Se encuentra la relación del máximo flujo:

$$Fase 1 = \frac{225}{0.7} = 321.43$$

$$Fase 2 = \frac{127}{0.6} = 211.67$$

$$Fase 3 = \frac{216}{0.7} = 308.29$$

Se ha determinado que el flujo de saturación base se encuentre en una zona de 250,000 habitantes o más, se toma el valor de 1900 automóviles/carril/hora (Castillo R., 2020).

$$Fase 1 = \frac{321.43}{1900} = 0.17$$

$$Fase 2 = \frac{211.67}{1900} = 0.11$$

$$Fase 3 = \frac{308.29}{1999} = 0.16$$

$$\sum Y = 0.44$$

Se determina el ciclo óptimo, en base a la ecuación de longitud de ciclo de Webster definida en el Capítulo 2.6.4.10.

$$C_o = \frac{1.5(3 * 5) + 5}{1 - 0.44} = 49 \text{ seg} = 50 \text{ seg}$$

Se toma un ciclo de 50 segundos

A continuación, se ha determinado la distribución de los ciclos para cada fase vehicular y se muestra su distribución en **Gráfico 7**.

Fase 1:

$$Verde + \text{Ámbar} = 50 \times \left(\frac{0.17}{0.44}\right) = 19 \text{ seg} = 13V + 4A + 2TR$$

Fase 2:

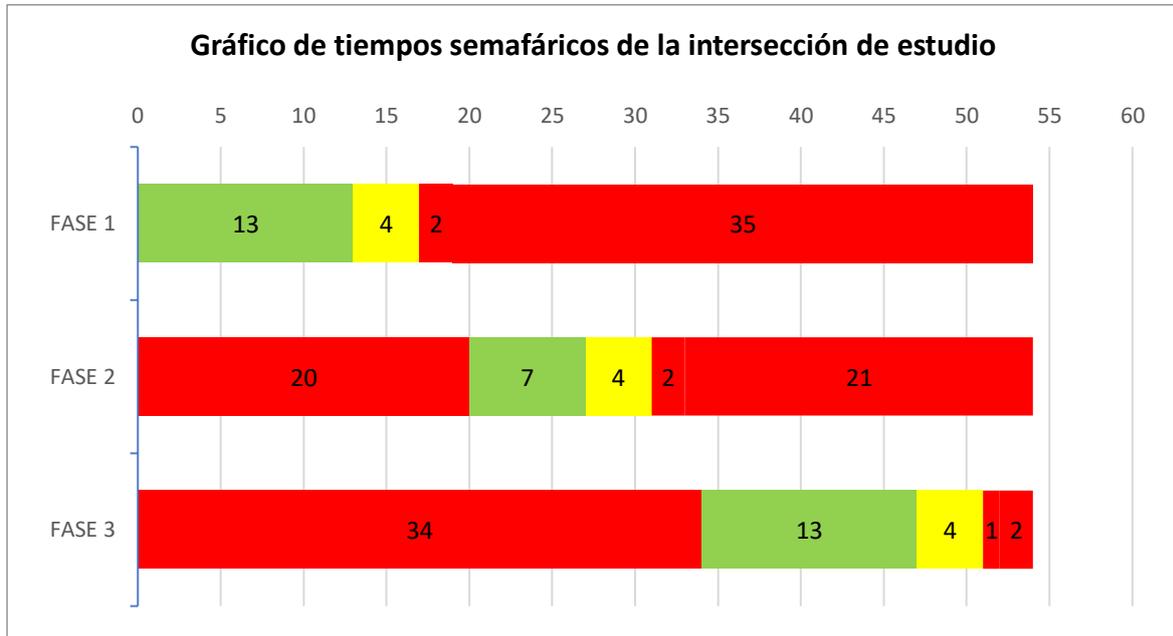
$$Verde + \text{Ámbar} + \text{Todo Rojo} = 50 \times \left(\frac{0.11}{0.44}\right) = 13 \text{ seg} = 7V + 4A + 2TR$$

Fase 3:

$$Verde + \text{Ámbar} = 50 \times \left(\frac{0.16}{0.44}\right) = 16 \text{ seg} = 13V + 4A + 1TR$$

Gráfico 7

Tiempos semafóricos para la intersección de Av. Guardia Civil, Calle B-Cossío del Pomar y Calle 12-Las Esmeraldas (Los Médanos).

**4.1.3 Diseño de semáforos de control de peatón en la intersección**

Para el diseño de semáforos de peatón, se ha considerado un tiempo mínimo de cruce durante 7 segundos de todo verde y de 4 segundos para ámbar. Se procede al cálculo del verde del peatón para cada fase, en la que se considerara una velocidad peatón de 1.3m/s.

Fase 1:

$$R_i = \frac{w}{V_p} = \frac{17.2}{1.3} = 13 \text{ seg}$$

$$\text{Verde peatón (G)} = Z + R_i - A = 7 + 13 - 4 = 16 \text{ seg}$$

Fase 2:

$$R_{i-NS} = \frac{6.05}{1.3} = 5 \text{ seg}$$

$$G_{i-NS} = 7 + 5 - 4 = 8 \text{ seg}$$

$$R_{i-SN} = \frac{8.7}{1.3} = 7 \text{ seg}$$

$$G_{i-SN} = 7 + 7 - 4 = 10 \text{ seg}$$

Fase 3:

$$R_i = \frac{17.2}{1.3} = 13 \text{ seg}$$

$$G = 7 + 13 - 4$$

$$G = 16 \text{ seg}$$

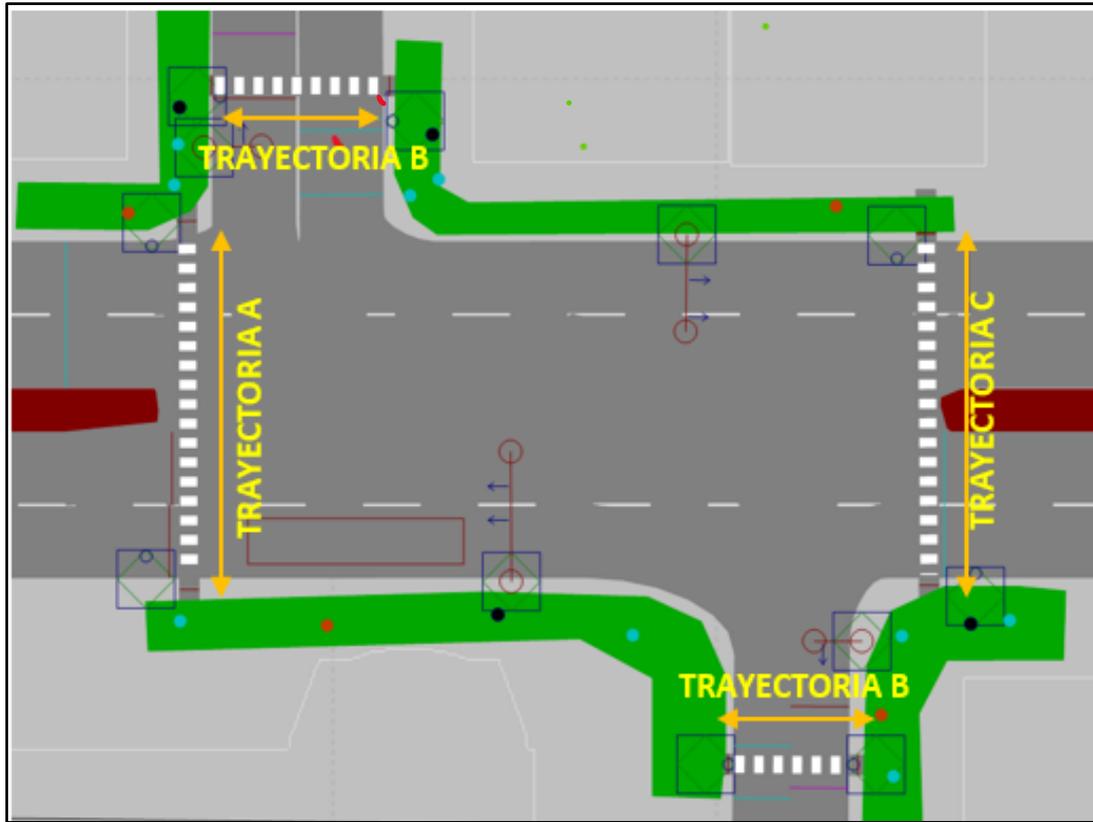
Se determina el ciclo mínimo del semáforo peatonal:

$$G(16 + 4) + (10 + 4) + (16 + 4) = 54 \text{ seg.}$$

Se obtiene un ciclo mínimo para semáforo peatonal y vehicular de 54 segundos. Tal como se muestra en la reconociéndose que la trayectoria A del peatón corresponde a la acción de cruzar por la cebra izquierda en la imagen, la trayectoria B protege el cruce en las vías auxiliares y la trayectoria C resguarda el cruce en la cebra derecha, dependerá de la cercanía del peatón para elegir el cruce óptimo.

Figura 54

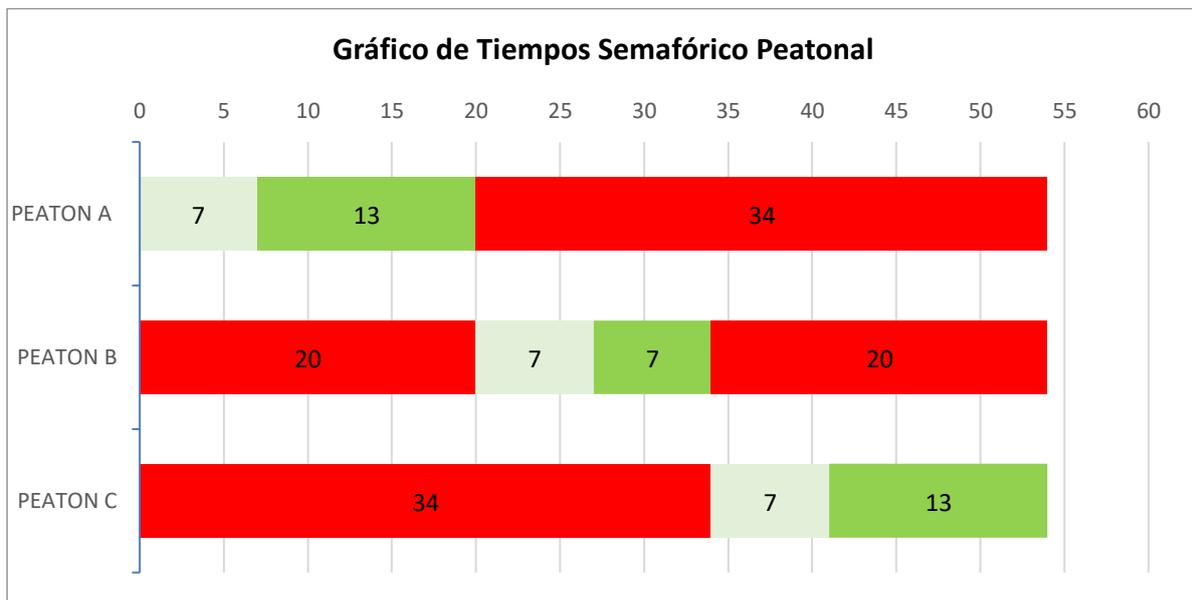
Trayectorias y ubicación de semáforos peatonales.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Gráfico 8

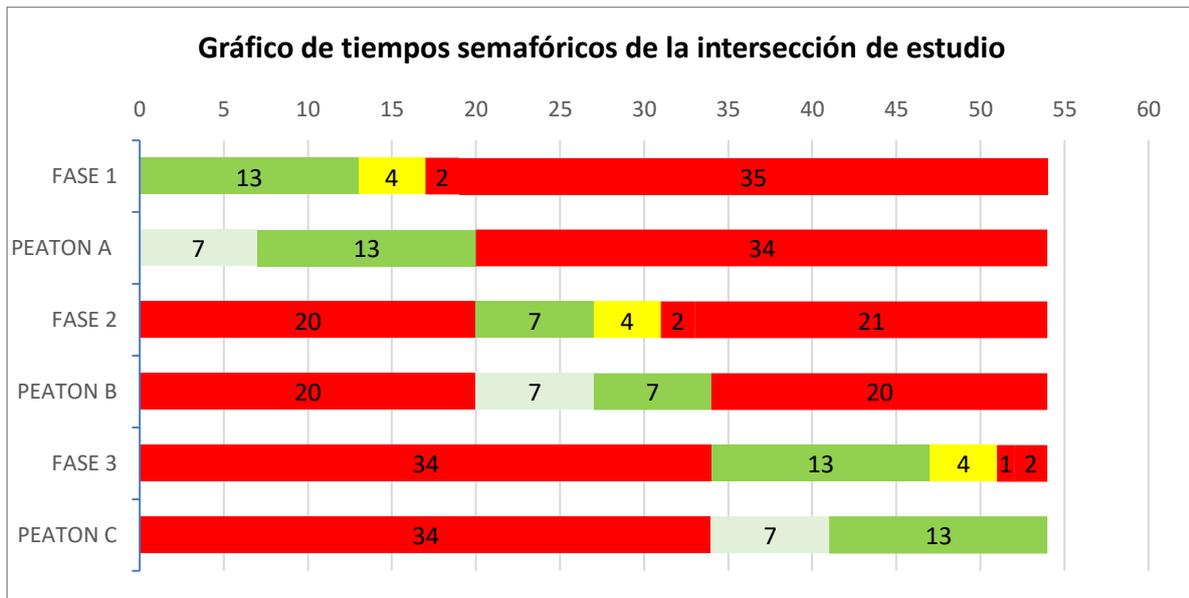
Tiempos semafóricos peatonales para la intersección de Av. Guardia Civil, Calle B-Cossío del Pomar y Calle 12-Las Esmeraldas (Los Médanos).



A continuación, se presenta el **Gráfico 9** de ciclo peatonal y vehicular fusionados en la intersección, donde se puede observar que hay 3 segundos de total rojo que asegura el cruce peatonal, los ciclos han sido acomodados de tal manera que se evite la mínima interrupción obteniéndose a partir de las similitudes de fases.

Gráfico 9

Tiempos semafóricos peatonales y vehicular.



Del gráfico de tiempos semafóricos vehiculares y peatonales se puede resaltar que los tiempos asignados para la fase 1 y 3 (acceso 1 y 4) de 13 segundos son aceptables, en cambio para la fase 2 se obtienen valores muy cortos (7 segundos) lo que limitaría su aplicación, esto se demostrarán con ayuda del software.

4.2 Propuesta 2: implementación de dos mini rotondas

Para la segunda propuesta se ha decidido ejecutar el diseño de mini rotondas debido a que se mejoraría la fluidez del tráfico. Si bien la desventaja principal está en función al tamaño, este tipo de intersección mejoraría la infraestructura, la facilidad de giros y reduciría la gravedad de los accidentes.

Para el procedimiento del diseño se empleará el uso de diferentes normativas descritas en los manuales pertenecientes a los países de Australia y Estados Unidos, ambos plantean procesos generales de diseño los cuales sirven como guía para llevar a cabo un diseño final de la intersección. El proceso se divide en tres fases para su respectiva elaboración:

4.2.1 Elementos de planificación

Esta fase comprende la evaluación y el análisis preliminar.

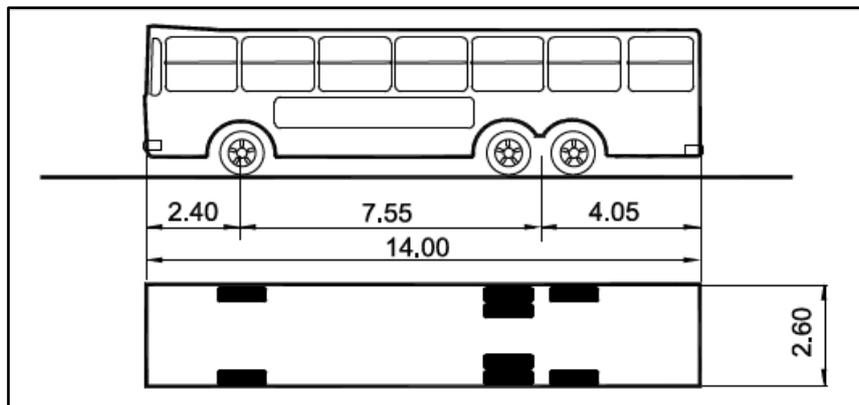
Para ello se debe conocer el área disponible para la rotonda la cual según mediciones hechas en campo se tiene una distancia disponible de 50.16m, medida perpendicular a la Av.

Guardia Civil y 35.31m de distancia de entrelace de los carriles de las calles Las Esmeraldas y calle B.

Tal como se mencionó en la implementación de semáforos, se elige al ómnibus de tres ejes (B3-1) como vehículo de diseño; si bien hoy por hoy en la vía acceden vehículos de mayor tamaño se espera que en años posterior con la construcción de la vía de evitamiento quede restringido a vehículos mayores. Según el Manual De Carreteras (2018) los ómnibus de tres ejes son vehículos de 14m de largo y 2.60m de ancho, además se muestran especificaciones a continuación:

Figura 55

Dimensiones del semirremolque simple T3S3.



Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (2018).

Tabla 27

Radio máximos/mínimos y ángulos.

Ángulo de trayectoria	Radio máx. exterior (E)	Radio min. Interior (J)	Ángulo máx. Dirección
	Metros	Metros	Grados
30	14.66	10.80	19.1
60	14.95	9.67	27.2
90	15.07	9.20	30.7
120	15.12	9.00	32.2
150	15.14	8.91	32.9
180	15.15	8.87	33.2

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico.

Además, para tener una data más compensada se muestran los radios de diseños de los vehículos generales que suelen usar las vías en estudio determinada por AASHTO.

Tabla 28

Radio de diseño por vehículos.

Tipo de vehículo	Radio interior (m)	Radio de diseño (m)
Automóvil (P)	4.4	7.3
Autobús sencillo (BUS – 12)	7.4	12.8
Camión sencillo (SU – 9)	8.7	12.8
Camión articulado (WB – 15)	5.8	13.7
Camión articulado (WB – 19)	2.3	13.7
Camión articulado (WB – 20)	0.6	13.7

Nota. Adaptado de AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (2018).

Para la velocidad de diseño se evaluaron las vías en estudio según su valor de IMDA y se llegó a la conclusión de que pertenecían a carreteras de segunda clase, por lo tanto, según su orografía les podía corresponder velocidades entre 60 y 100 km/h, sin embargo, se considera que en la intersección se debe reducir la velocidad para que exista coherencia entre los vehículos que circulan por ella y los que entran, es por ello que se asignará una velocidad de diseño de 30 km/h, tal como lo recomienda FHWA, en Guía Informática del 2010.

4.2.2 Diseño geométrico y análisis operacional

Según las fuentes estudiadas las rotondas tienen diferentes tipos de variación las cuales se pueden clasificar en rotondas de un carril, multicarril, rotonda doble y mini-rotonda.

Después de una exhausta evaluación de los tipos de infraestructura que podrían solucionar este desfase en la intersección, se propone la combinación de dos mini rotondas, cuyos ejes centrales deben coincidir con los ejes de las calles de B y Esmeraldas.

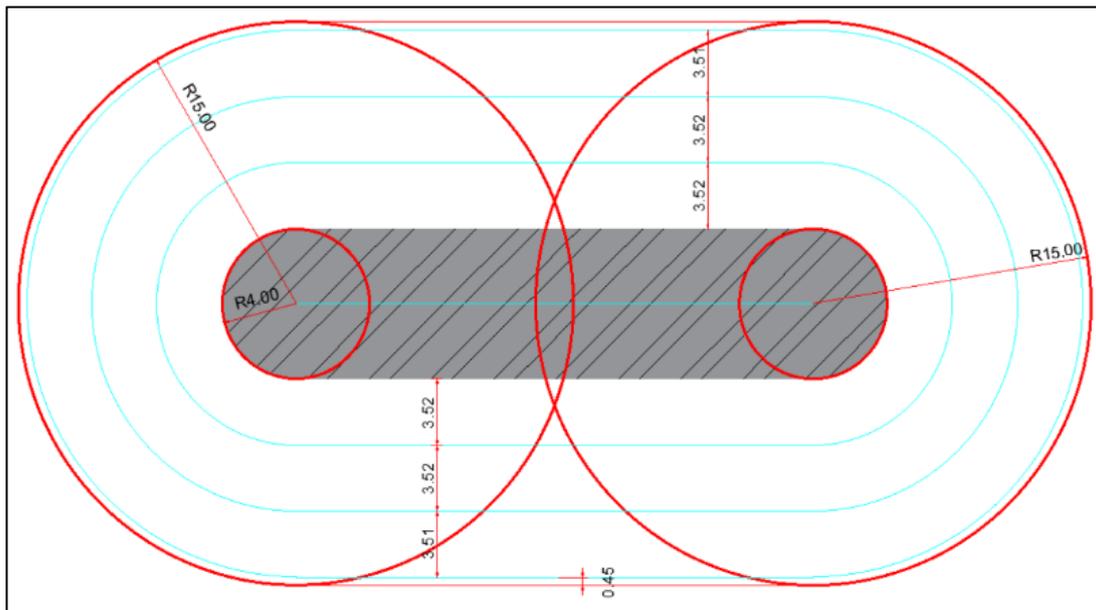
Isla central: para mini-rotonda por lo general se establece un radio de isla central de 4m mínimo, en el diseño establecido se opta por usar esta dimensión.

Círculo inscrito y ancho de carril: para que se cumpla con todos los radios de giro se determinó usar un radio de círculo inscrito de 15 m en ambas rotondas las cuales se fusionarán y trabajarán en conjunto; se usarán dos carriles los cuales corresponderían a 3.52 m en cada calzada, adicional un carril que permita el giro a la derecha de 3.51 m esta rotonda tiene 0.45 m de bermas. A pesar de que los carriles pierden 20 cm de su tamaño antes de entrar a la rotonda, se aceptan debido que esta medida supera a lo establecido por el Manual de Diseño (2.4 m) y es la respuesta frente a la mejora de los radios que permite tener carriles más seguros.

En la **Figura 56** se muestra el esquema general de la rotonda, la zona central achurada correspondería a la isla central y las líneas en celeste a los límites de los carriles, teniéndose en total una intersección cuyos diámetros corresponden a 57.93m y 30m a los bordes exteriores.

Figura 56

Esquema de islas y círculos inscritos.



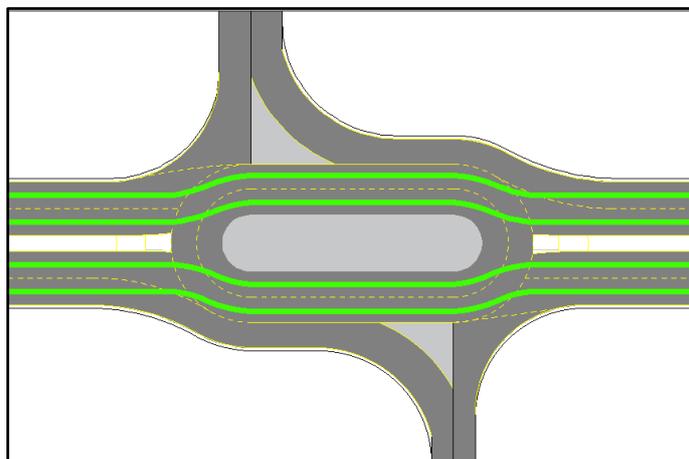
Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Alineamientos: para el diseño geométrico en planta es necesario evaluar el alineamiento horizontal, el cual deberá permitir la fácil operación de traslación de los vehículos, todos los ramales pasan a través del círculo inscrito y tienen un alineamiento radial con los ejes de aproximación.

Los principales alineamientos corresponden a los movimientos de frente y giros a la derecha tal como se muestran en la Figura 57, Figura 58 y **Figura 59**.

Figura 57

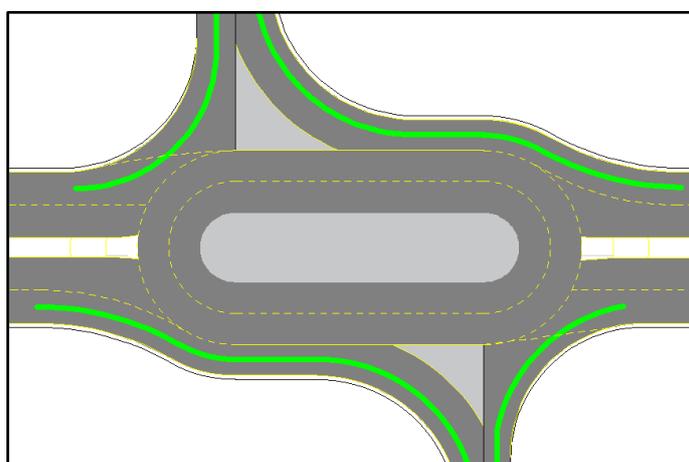
Alineamiento recto en la intersección: circulación en las vías principales.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 58

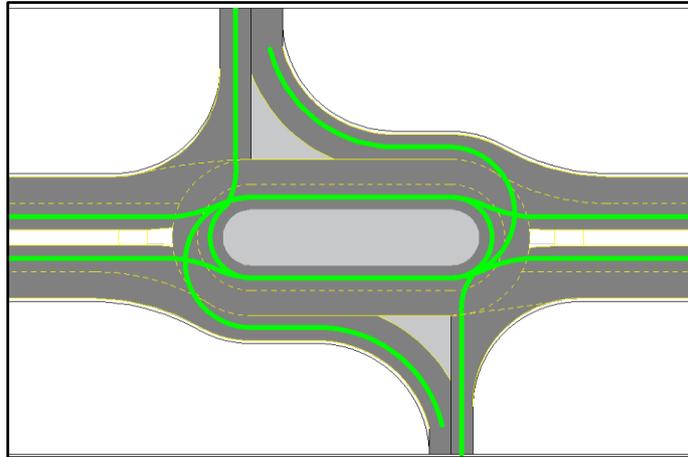
Alineamientos de los giros a la derecha en la intersección.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Figura 59

Alineamiento de los giros a la izquierda y giros alrededor de la isla central.

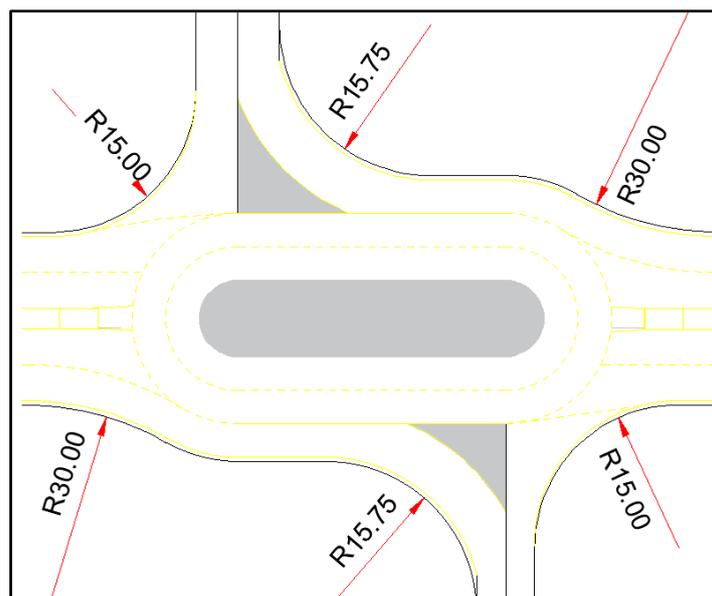


Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Radios de entrada y salida: tal como se ha mencionado en capítulos anteriores el Manual de Diseño Geométrico establece como mínimo 30 m al radio de entrada y 40 m al radio de salida. Sin embargo, debido al desfase entre las calles y al poco espacio disponible, se ha encontrado en la situación de desarrollar radios tangentes entre los accesos. Los radios de entrada de las avenidas principales conservan los 30 m de radio, mientras que los radios de entrada y salida de las vías secundarias son 15 y 15.75 m, como se ve en la Figura 60.

Figura 60

Radios de entrada y salida en la intersección.

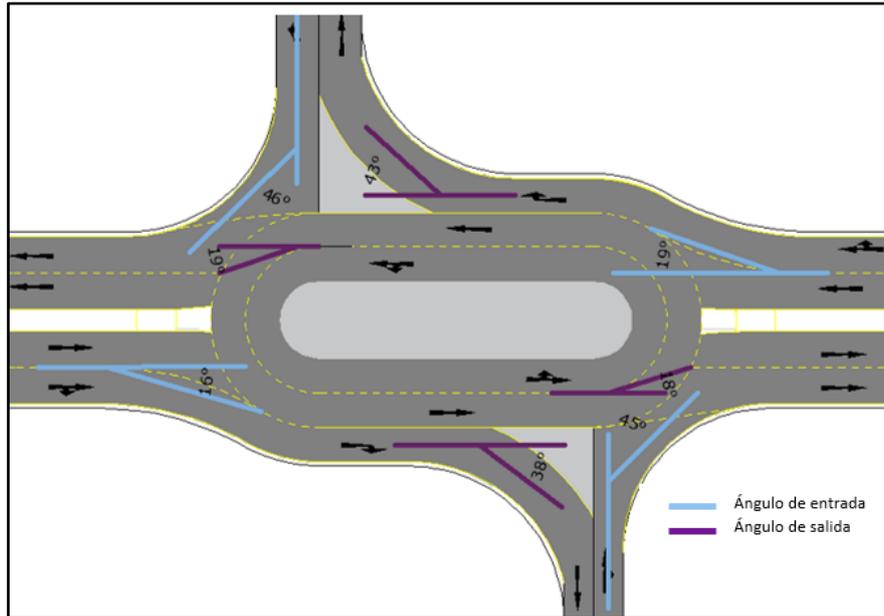


Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Ángulos de entrada y salida: son factores importantes que influyen en la velocidad que ejecutarán los vehículos y en la visibilidad. Los ángulos presentes no coinciden con los ángulos de entrada y salida ideales, sin embargo, los ángulos planteados obligan a disminuir la velocidad lo cual es un punto a favor para la evaluación de estos. La **Figura 60** se visualiza los ángulos de entrada y salida.

Figura 61

Ángulos de entrada y salida en la intersección.



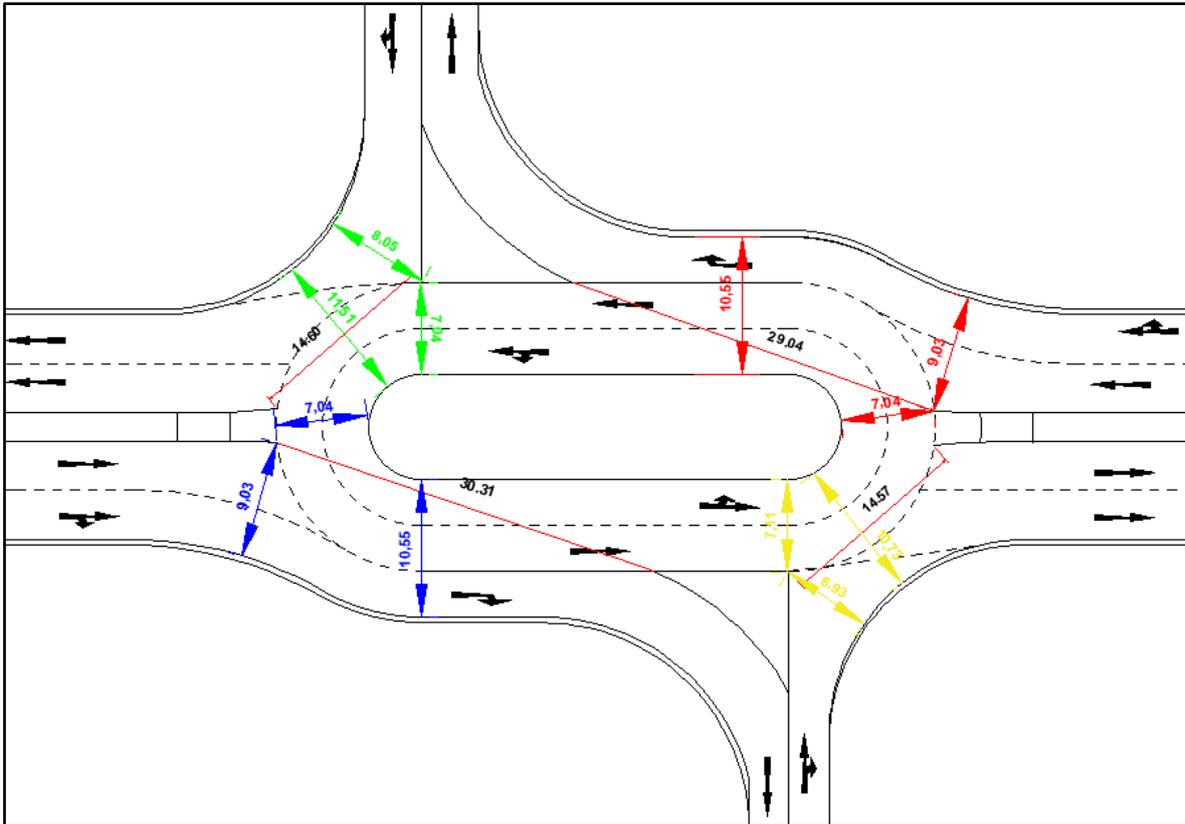
Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Islas: se plantean 4 islas las cuales coinciden con las proyecciones de las curvas de salida. Dos son de canalización que guían los movimientos hacia la derecha hacia los accesos de Los Médanos y Cossío, estas islas tienen un perímetro de 74.67 m y un área de 88.22 m^2 entre ambas. Ante la medida para salvaguardar a los peatones se proponen islas de refugio con áreas de 8.3 m^2 y 12 m de perímetro cada una.

Capacidad de diseño: para determinar esta característica se usó la fórmula de Wardrop, la cual relaciona los anchos de las secciones, el largo que ocupan y los anchos promedios de las secciones de entrecruzamiento.

Figura 62

Medidas de las longitudes y anchos de las secciones de entrecruzamiento.



Nota. Adaptado de AutoCAD (2022).

Se identificaron 4 zonas de entrecruzamiento las cuales se pueden apreciar en la **Figura 62** en la cual detalla las medidas a utilizar. A continuación, se desarrollan los cálculos para encontrar su capacidad.

Entrecruzamiento 1: este entrecruzamiento corresponde a la sección entre el acceso de Piura y Los Médanos tiene una longitud de 30.31m.

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2} = \frac{(9.03 + 7.04)}{2} = 8.035m$$

$$Q_P = \frac{\left[160W \left(\frac{1+e}{W}\right)\right]}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)} = \frac{\left[160 * 10.55 \left(\frac{1+8.035}{10.55}\right)\right]}{\left(1 + \frac{10.55}{30.31}\right)} = 2205.82 \frac{veh}{h}$$

Se realiza el cálculo de las intensidades de los carros que ocuparían esta sección:

Tabla 29

Demanda de vehículos por trayectoria en acceso

1.

Acceso	Demanda
PIURA	416
3-2	6
3-4	24
4-2	12
4-4	2
TOTAL	459

Para el entrecruzamiento 1 se tiene una capacidad de 2205 vehículos frente a una demanda de 459 vehículos, se considera suficiente.

Entrecruzamiento 2: este entrecruzamiento corresponde a la sección entre el acceso de Los Médanos y salida hacia Chulucanas tiene una longitud de 14.57m.

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2} = \frac{(6.93 + 7.11)}{2} = 7.02m$$

$$Q_P = \frac{\left[160W \left(\frac{1+e}{W}\right)\right]}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)} = \frac{\left[160 * 10.73 \left(\frac{1+7.02}{10.73}\right)\right]}{\left(1 + \frac{10.73}{14.57}\right)} = 1635.53 \frac{veh}{h}$$

Se realiza el cálculo de las intensidades de los carros que ocuparían esta sección:

Tabla 30

Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 2.

Acceso	Demanda
MÉDANOS	127
1-3	53
1-4	303
1-1	18
3-4	24
4-4	2
TOTAL	526

Para el entrecruzamiento 2 se tiene una capacidad de 1635 vehículos frente a una demanda de 526 vehículos, se considera suficiente.

Entrecruzamiento 3: este entrecruzamiento corresponde a la sección ubicada entre el acceso de Piura y Cossío tiene una longitud de 14.60m.

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2} = \frac{(8.05 + 7.04)}{2} = 7.545m$$

$$Q_p = \frac{\left[160W \left(\frac{1+e}{W}\right)\right]}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)} = \frac{\left[160 * 11.51 \left(\frac{1+7.545}{11.51}\right)\right]}{\left(1 + \frac{11.51}{14.6}\right)} = 1704.81 \frac{veh}{h}$$

Se realiza el cálculo de las intensidades de los carros que ocuparían esta sección:

Tabla 31

Demanda de vehículos por trayectoria en acceso

3.

Acceso	Demanda
COSSIO	40
1-1	18
2-1	21
4-1	343
4-2	12
4-4	2
TOTAL	436

Para el entrecruzamiento 3 se tiene una capacidad de 1704 vehículos frente a una demanda de 436 vehículos, se considera suficiente.

Entrecruzamiento 4: este entrecruzamiento corresponde a la sección entre el acceso de Piura y Los Médanos tiene una longitud de 29.04m

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2} = \frac{(9.03 + 7.04)}{2} = 8.035m$$

$$Q_p = \frac{\left[160W \left(\frac{1+e}{W}\right)\right]}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)} = \frac{\left[160 * 10.55 \left(\frac{1+8.035}{10.55}\right)\right]}{\left(1 + \frac{10.55}{29.04}\right)} = 2181.19 \frac{veh}{h}$$

Se realiza el cálculo de las intensidades de los carros que ocuparían esta sección:

Tabla 32

Demanda de vehículos por trayectoria en acceso 4.

Acceso	Demanda
CHULUCANAS	367
1-1	18
1-3	53
2-1	21
2-3	3
TOTAL	462

Para el entrecruzamiento 4 se tiene una capacidad de 2181 vehículos frente a una demanda de 462 vehículos, se considera suficiente.

De los cálculos hechos anteriormente se demuestra que la capacidad de entrecruzamiento es muy superior a la demanda dada por cada tipo de movimiento, lo que demuestra que es satisfactorio ante capacidad de volúmenes.

Para una simple y mayor facilidad se organizó la información en la **Tabla 33**, en la cual se presenta los datos de manera resumida:

Tabla 33

Resumen de capacidades según el método Wardrop.

ACCESO	W (m)	L(m)	e1(m)	e2(m)	e(m)	W/L	Qp(veh/hr)
Piura	10.55	30.31	9.03	7.04	8.035	0.3480	2205.8
Los Médanos	10.73	14.57	6.93	7.11	7.02	0.7364	1635.5
Cossío	11.51	14.6	8.05	7.04	7.545	0.7883	1704.8
Chulucanas	10.55	29.04	9.03	7.04	8.035	0.3632	2181.2

Se realizaron las modificaciones adecuadas para que la rotonda en diseño cumpla con los parámetros establecidos, como se puede observar los valores de w/l de los accesos 2 y 3 no cumplen con el manual, debido a que se tiene una longitud de entrecruzamiento muy corta o anchos de calzada muy amplios, sin embargo, se aceptan ya que se permite un giro a la derecha más seguro, además según el estudio de German Arboleda "Cálculo y Diseño de

Glorietas”, amplia el valor de la relación W/L hasta 0.83 con lo cual los valores serian aceptables.

4.2.3 Nivel de servicio

Este parámetro permite calificar la calidad de servicio que tendrá el nuevo diseño de la intersección a partir del retardo de control medio el cual relaciona parámetros como: capacidad de carril y la relación volumen - capacidad.

Con la fórmula de Wardrop se pudo calcular la capacidad de entrada en la rotonda a partir de este valor se podrá sacar la relación de volumen – capacidad por accesos.

Tabla 34

Relación entre volumen y capacidad de acceso.

Acceso	Qe (veh/hr)	Qp(veh/hr)	Relación (x)
Piura	380	2206	0.17
Los Médanos	103	1636	0.06
Cossío	31	1705	0.02
Chulucanas	331	2181	0.15

Se determinó la demora de control con la fórmula:

$$d = \frac{3600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{3600x}{450T}} \right] + 5 * [x]$$

Para el acceso de Piura la demora corresponderá a:

$$d = \frac{3600}{2205.8} + 900 \times (1) \left[0.17 - 1 + \sqrt{(0.17 - 1)^2 + \frac{3600 \times 0.17}{450 \times 1}} \right] + 5 \times 0.17$$

$$d = 2.83 \text{ s/veh}$$

Así mismo se realizó el cálculo de retardo de control para el resto accesos y se asignan los niveles de servicio a los que corresponderían, además se calculó la longitud de cola de la saturación del diseño.

$$Q_{95} = 900T \times \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{3600x}{150T}} \right] \times \left(\frac{c}{3600} \right)$$

$$Q_{95} = 900 \times 0.25 \times \left[0.17 - 1 + \sqrt{(0.17 - 1)^2 + \frac{3600 \times 0.17}{150 \times 0.25}} \right] \times \left(\frac{2205.8}{3600} \right)$$

$$Q_{95} = 1 \text{ veh}$$

Tabla 35

Resultados de retardo de control, longitud de cola y nivel de servicio.

Acceso	Retardo de control (s/veh)	Longitud de cola (veh)	Nivel de servicio
Piura	2.83	1	A
Los Médanos	2.66	1	A
Cossío	2.24	1	A
Chulucanas	2.70	1	A

Se obtuvo en todos los accesos un nivel de servicio tipo "A", es decir, de flujo libre; esto se debe a que los volúmenes de entrada son muy pequeños frente a la modificación de la intersección que permite el flujo de muchos vehículos lo cual marca gran diferencia.

4.3 Propuesta 3: Implementación de intersección a desnivel

La congestión en esta intersección se debe a varias razones, una de ellas es por la cantidad de volumen que surge en las avenidas principales con respecto a las vías secundarias, lo cual dificulta el intercambio entre todos los accesos incluidos los giros en U. Una solución a esto es una intersección a desnivel la cual asegure el flujo constante, es por lo que se plantean las siguientes consideraciones:

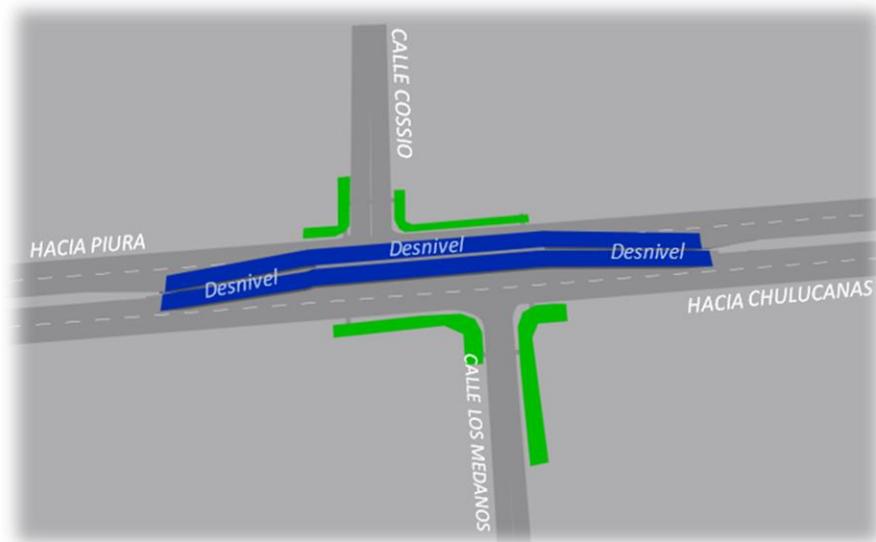
Se plantea como estructura a desnivel un puente elevado o también conocido como bypass el cual puede desviar cierta cantidad de vehículos y disminuir las áreas de conflicto con la separación de movimientos.

Conociéndose que el volumen de vehículos de la vía principal supera 4.8 veces al volumen de las secundarias, obliga a distribuir la capacidad de estos caminos, es por lo que se identifica el volumen directo de los carriles los cuales corresponden al 78 % que va desde el acceso oeste-este y 92% este-oeste de sus volúmenes totales por acceso.

Esta solución permitiría un flujo directo continuo, sin embargo, se tiene que evaluar la posibilidad de que los vehículos pesados hagan uso de las vías a desnivel, que el intercambio que surge a nivel sea menos conflictivo y que su implementación no generen consecuencias desfavorables a intersecciones cercanas. Se deberán complementar con señales y dispositivos de control de circulación y darles mayor importancia a los costos de la ejecución del proyecto. Hay que recordar que se busca el mejoramiento del sistema vial el cual tiene como objeto principal al usuario ante los vehículos, además de la disminución del transporte particular dándole prioridad al transporte público.

Figura 63

Implementación de intersección a desnivel.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Capítulo 5

Diseño de la intersección con PTV Vissim

Una manera de evaluar si las soluciones planteadas funcionarán correctamente es a través de la simulación. En esta investigación, se empleó la versión PTV Vissim 2022 para estudiantes que permite acceso libre, la cual permite tener una visión objetiva de los diferentes escenarios propuestos. Se presenta la simulación de la zona existente desarrollada en el capítulo 4 y el diseño de las propuestas 1 y 2, donde se evaluará la intersección optimizada, con el fin de reconocer y reducir los puntos de congestión vehicular, llevándose a una evaluación a detalle de los parámetros y a la aprobación del diseño óptimo.

5.1 Desarrollo de las simulaciones con PTV Vissim

Se presenta una secuencia de pasos para la construcción de la simulación de la zona de estudio.

Primero, se identifica la zona en la que se llevará a cabo la simulación, para lo cual se vio conveniente insertar la imagen del plano del sistema vial Piura-Castilla (**Anexo D**). Este plano servirá como guía para empezar a trazar las vías con las medidas y sentidos a la escala determinada, como se aprecia en la Figura 64.

Figura 64

Background de la Intersección en el programa PTV Vissim 2022 Student.

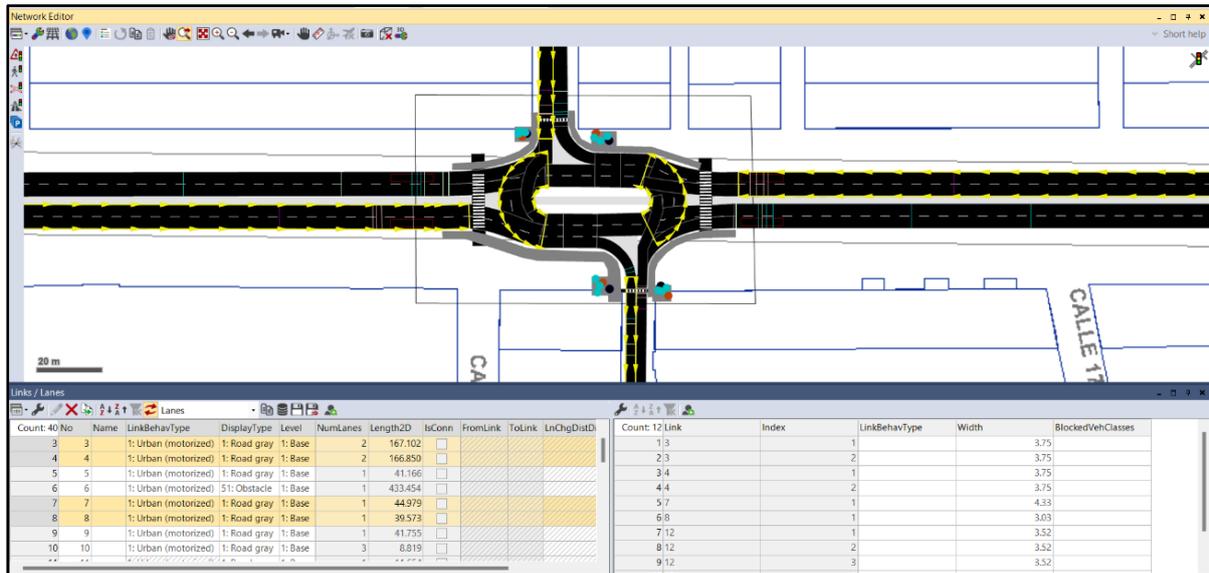


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Luego se procede a construir la red vial, se crean los carriles mediante el uso de los links, y se utilizan conectores para el intercambio entre ellos. A estos conectores se les asignan determinados radios y curvaturas, se muestran en Figura 65 y Figura 66.

Figura 65

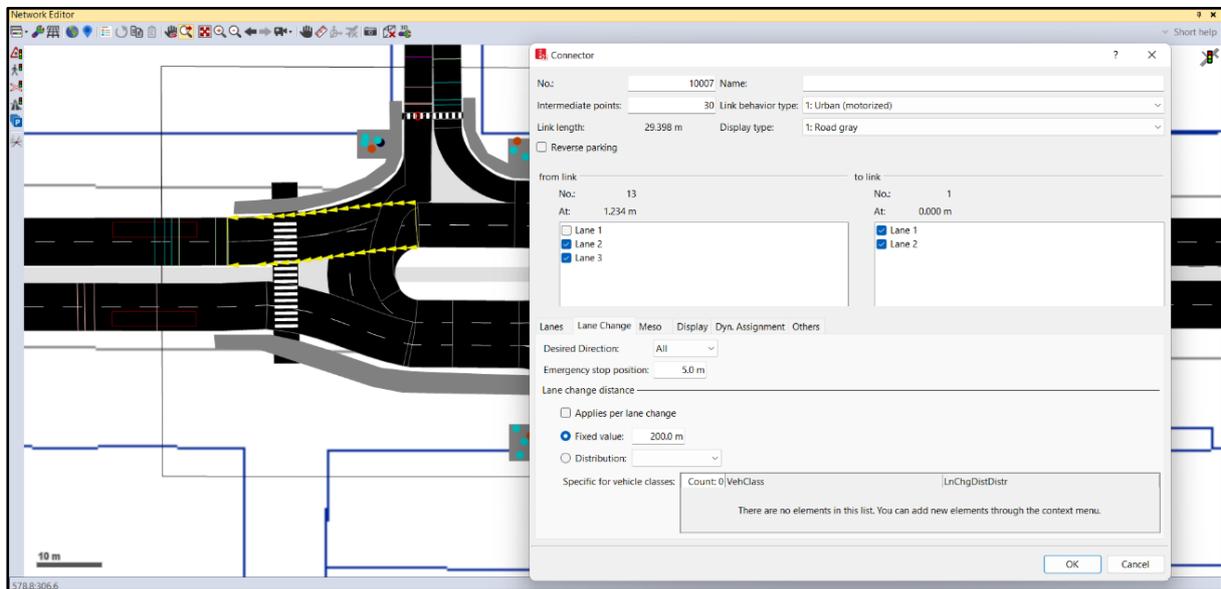
Creación de links de la propuesta 2 en Vissim.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Figura 66

Conectores de las vías de la propuesta 2 en Vissim.

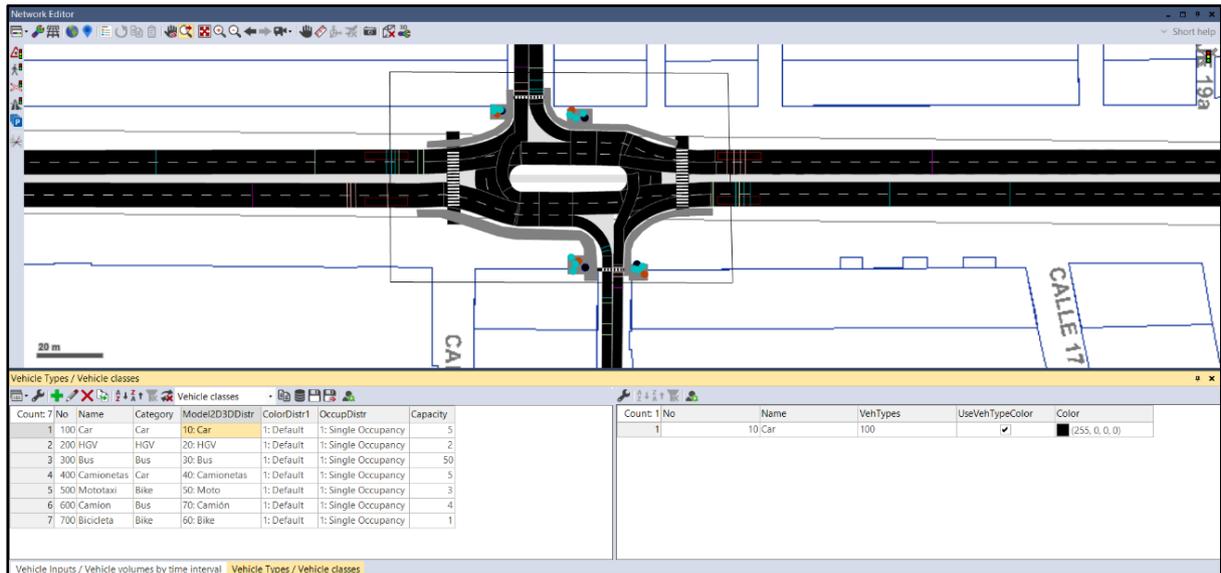


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Para el proceso de demanda de tráfico, se define los tipos de vehículos que están en la base de datos del programa y se incorporaran aquellos que no se encuentren para que sean visibles en la simulación, se agrupo según su clase y tipo, según la clasificación determinada en el Capítulo 4, se presenta en la Figura 67.

Figura 67

Tipos y Clase de Vehículos en Vissim.

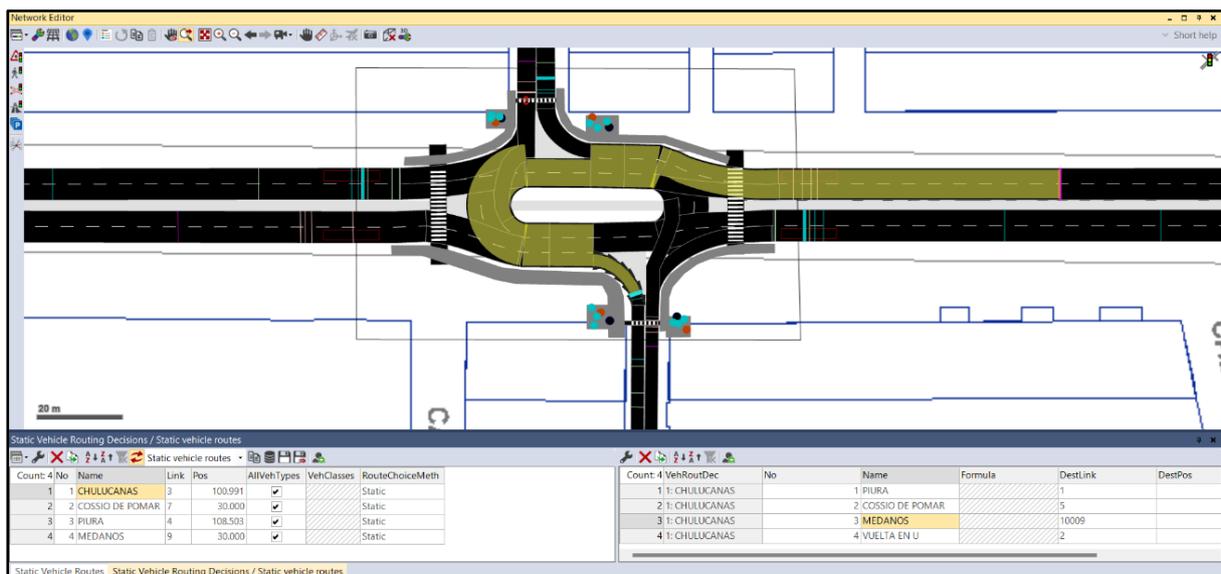


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Se asigna la demanda y distribución de flujo para continuar con las decisiones de rutas, las cuales definen los rumbos y giros de los movimientos se observa Figura 68. Con la propuesta de diseño elaborada en el programa se define las rutas (Vehicle routes-static) que tomaría los vehículos.

Figura 68

Definición de rutas de la propuesta 2 en Vissim.

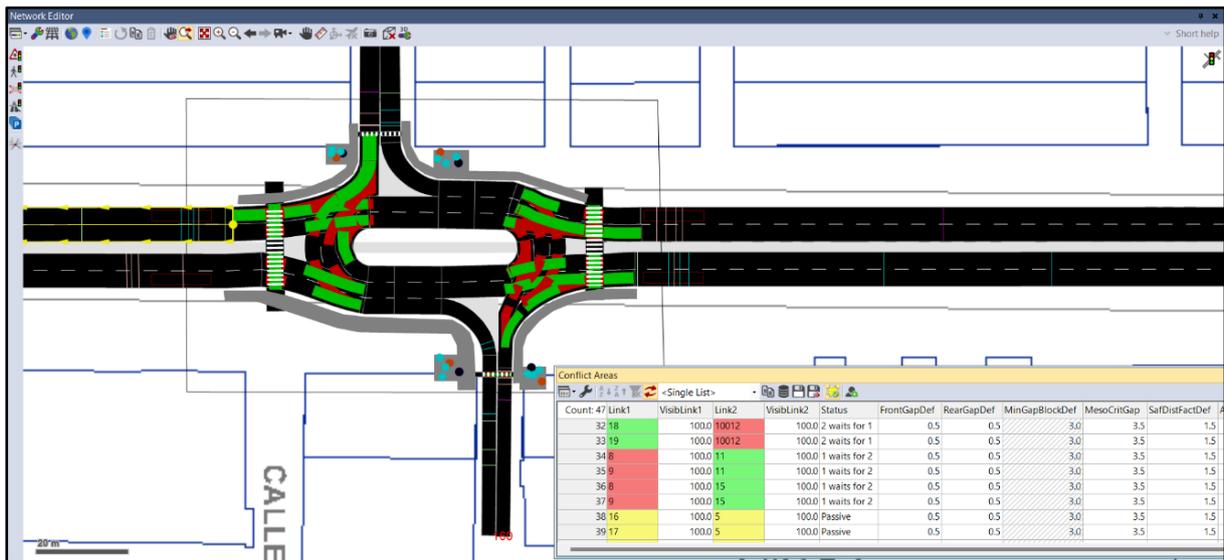


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Se identifica las zonas de conflicto en las cuales se debe analizar y aplicar criterios de prioridad de paso ver Figura 69, las zonas verdes corresponden a los accesos que tiene prioridad tales son los casos como para los vehículos que entran o salen de la rotonda de las avenidas principales.

Figura 69

Zonas de conflicto y pases de prioridad en la simulación.

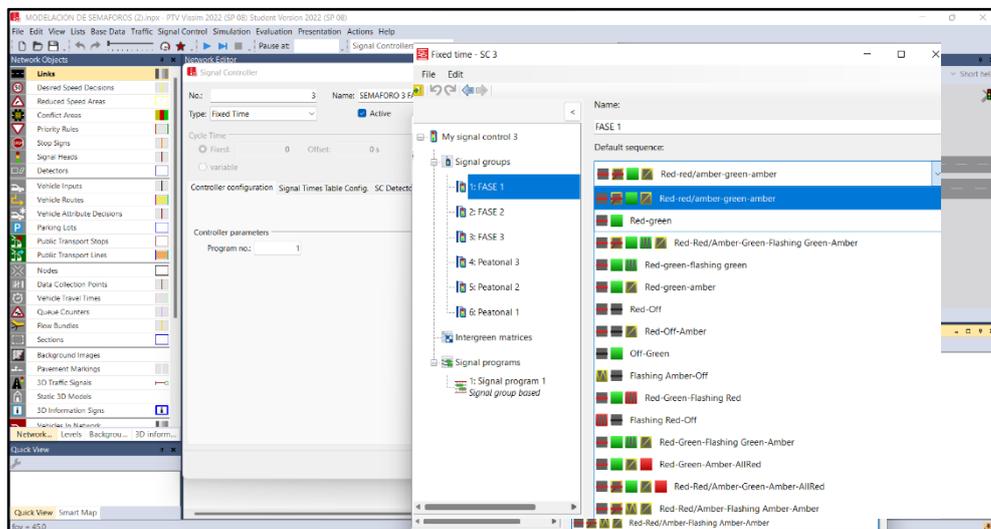


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Vissim permite crear señales de control, para la creación de semáforos se selecciona la opción Signal Control, donde se establecerán las fases, se define la secuencia de luces y se agregan los valores de cada fase, ver Figura 70 y Figura 71.

Figura 70

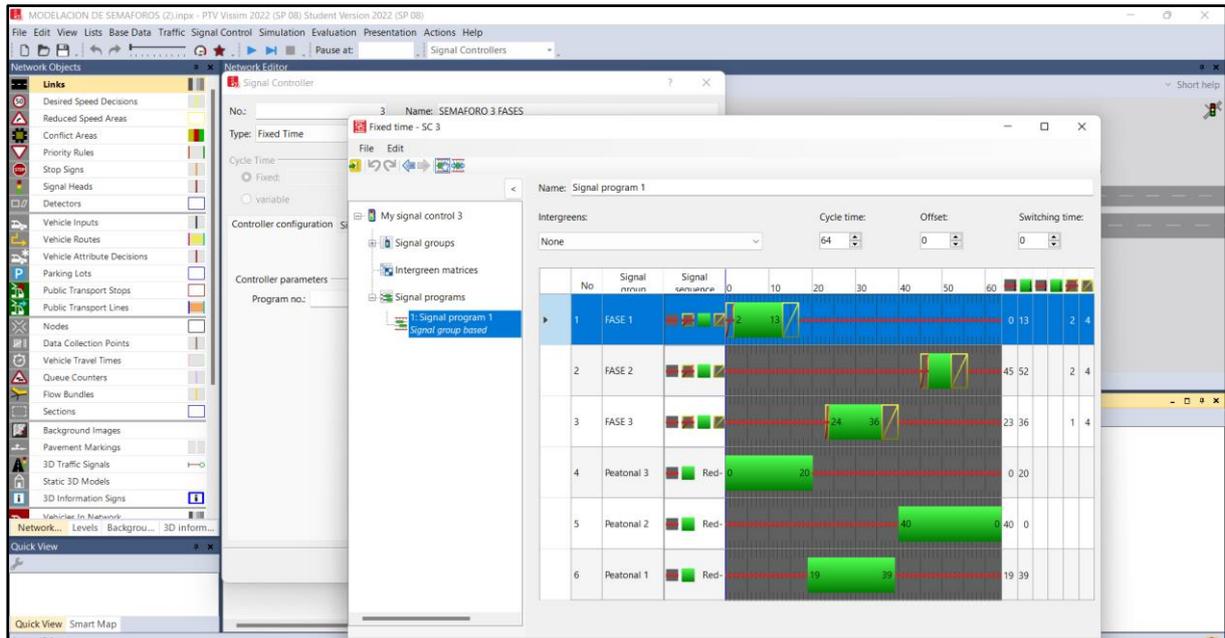
Definición de la secuencia del semáforo.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Figura 71

Tiempos de verde de cada fase tanto peatonal como vehiculares.

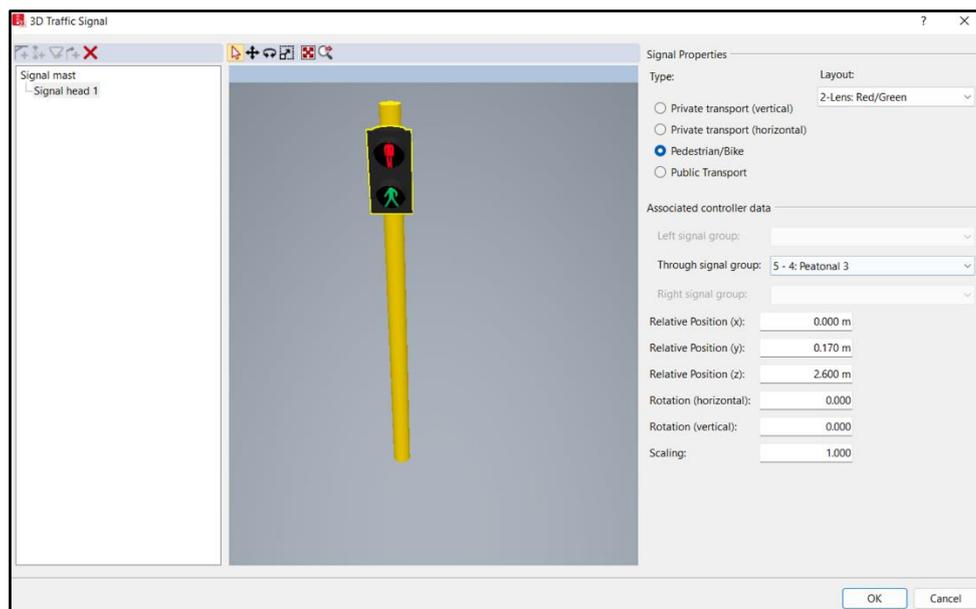


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Para esta situación han sido evaluadas las ubicaciones de los semáforos según la fase a la que corresponda, además se ha optado por la aplicación de semáforos reservados para peatones y semáforos circulares para vehículos Figura 72.

Figura 72

Creación de semáforos peatonales.



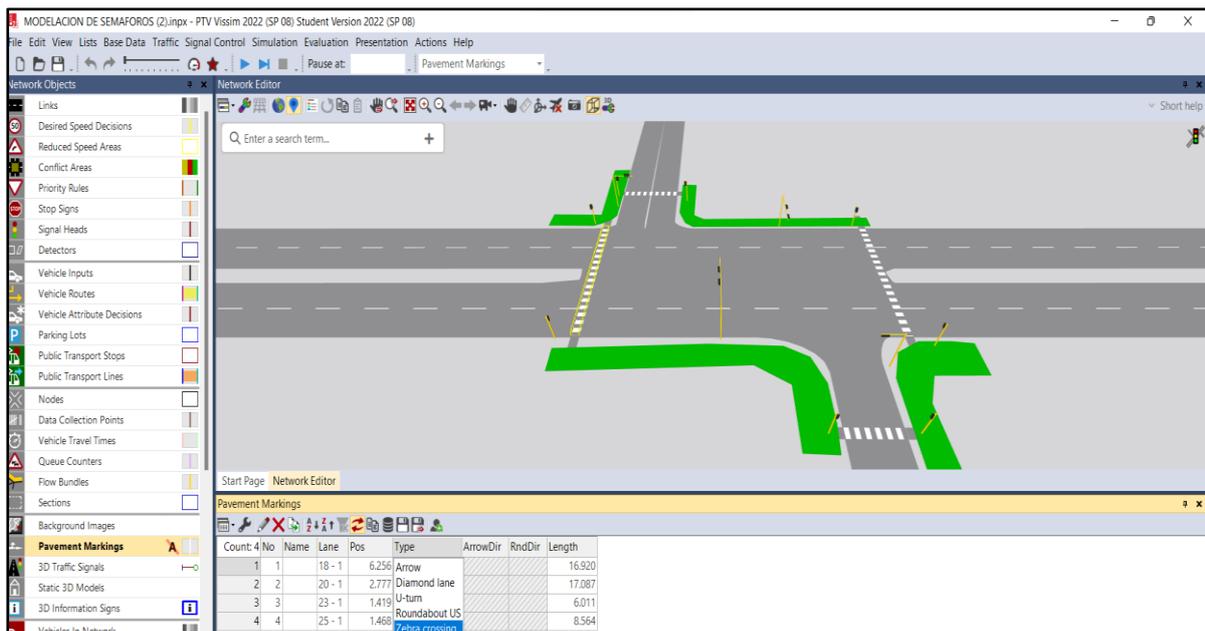
Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Se agregan detalles complementarios y como ya antes se ha mencionado, se han asignado volúmenes en los cruces peatonales. Para ello, se aplica la herramienta Pavement Markings, que permite la señalización horizontal, tal como son las señales direccionales y cebras de paso.

Se dirige al tipo de señal a usar, en este caso se selecciona Zebra Crossing y se indica la posición Figura 73. También se incluyen las rutas y paradas de transporte público.

Figura 73

Creación de pasos peatonales.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

5.2 Evaluación

La evaluación consta de la comparación de los valores de los ítems solicitados al Vissim como son: la formación de cola máxima, el control de demora y los niveles de servicio lo que medirá la eficiencia vehicular.

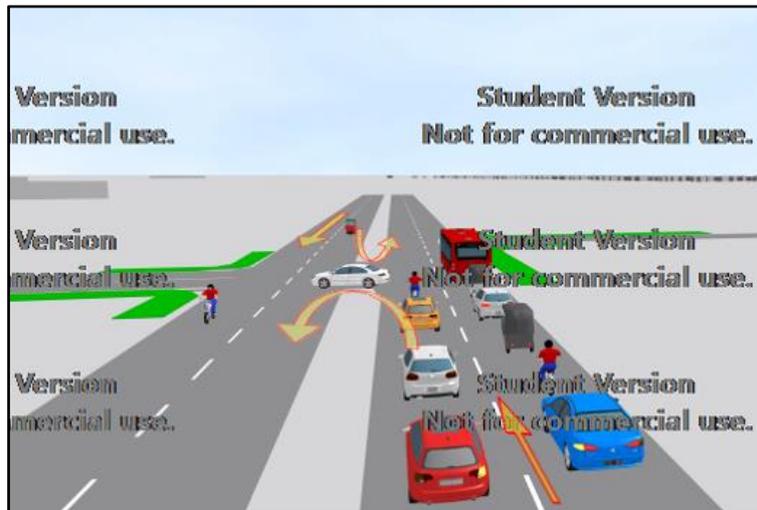
5.2.1 Evaluación de zona actual

Con el fin de poder trazar una línea del antes y el después, además en los objetivos se encuentra la estimación del nivel de servicio de la intersección, se vio necesario evaluar el tráfico de la situación actual a partir de una simulación con los valores y datos que corresponden.

Entre los puntos que más se tuvo en consideración se encuentran el tipo de desplazamiento que tienen los vehículos, ya sean los giros en U, la trayectoria que toma el acceso de los Médanos al entrar contra el sentido de la vía de Piura, la prematura toma de decisión de cambio de carril, o cuando se tiene un gran flujo de vehículos que viene desde Piura e imposibilita el paso, lo que causa colas y demora en la calle.

Figura 74

Cola causada por giro a la izquierda vía Piura.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Figura 75

Cola y demora causada por vehículo en contra y cambio de carril.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Se han integrado en la simulación el comportamiento del sector público el cual tiene gran participación, se definieron tres puntos de parada tanto para buses como para autos cuya velocidad promedio es considerada 25 km/h.

Figura 76

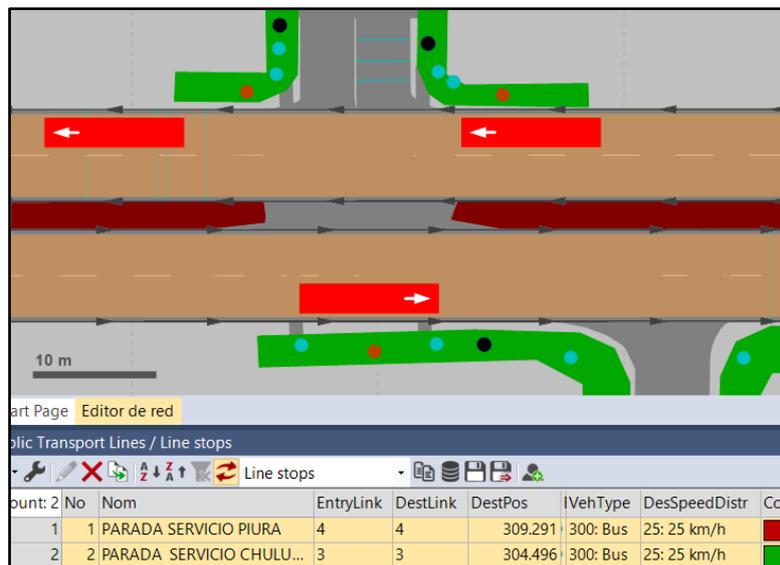
Ubicación y parámetros de líneas y paradas de servicio vista 3D.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Figura 77

Ubicación y parámetros de líneas y paradas de servicio vista en planta.

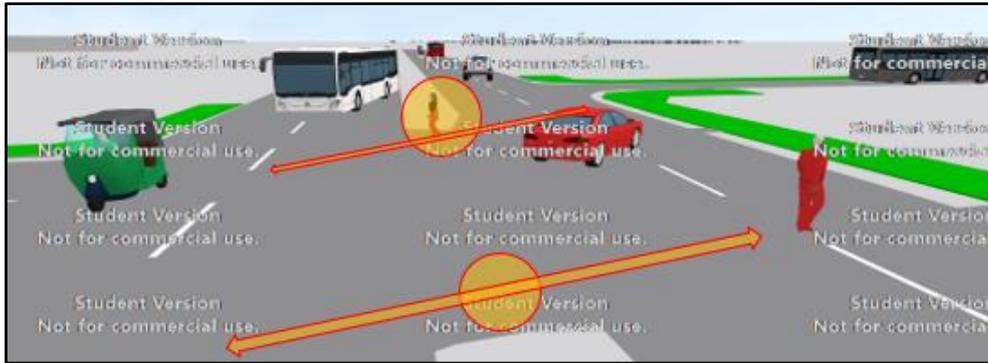


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

No se tiene la señalización vertical ni horizontal que le brinde al usuario la información necesaria para dirigir movimientos, carriles o paradas. El pase peatonal no está definido, hay una abierta interacción entre los peatones y vehículos en donde no existe regla alguna de preferencia para los transeúntes por lo tanto pone en riesgo su seguridad y conduce a que los separadores sean usados por los transeúntes como refugio para evitar ser arrollados.

Figura 78

Situación del peatón en la situación actúa.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Otro de los posibles orígenes de las colas es que a aproximadamente 530 m se encuentra el semáforo de la intersección de Los Almendros, cuyo ciclo es de 99 segundos, de los cuales 38 son de verde, 3 ámbar y 58 rojo, lo cual produce que la circulación de vehículos de la vía que viene de Piura sea en bloques.

Una vez que los datos fueron ingresados al programa se procedió a tabular los resultados de hacer correr la simulación, de ello se obtiene lo siguientes resultados en Tabla 36.

Tabla 36

Resultados de simulación en un intervalo de 10 minutos.

Movimiento		Cola máx. (m)	Demoras (s)	Paradas (s)	%Paradas	Nivel de servicio
Origen	Destino					
PIU	PIU	56.66	16.83	3.30	96%	LOS_C
PIU	ME	56.66	19.22	3.69	106%	LOS_C
PIU	CO	50.16	11.47	4.48	107%	LOS_B
PIU	GIRO U	28.46	29.04	11.62	280%	LOS_D
ME	PIU	58.95	45.76	30.05	233%	LOS_E
ME	CO	59.05	96.62	69.17	300%	LOS_F
ME	CH	59.05	35.25	20.82	239%	LOS_E
CO	PIU	20.28	0.46	0.00	0%	LOS_A
CO	ME	20.28	0.48	0.00	0%	LOS_A
CO	CH	12.43	4.21	1.43	67%	LOS_A
CH	CH	8.29	0.00	0.00	0%	LOS_A
CH	ME	77.62	9.09	2.60	67%	LOS_A
CH	CO	39.59	1.35	0.00	0%	LOS_A
CH	GIRO U	8.29	3.50	0.16	4%	LOS_A

GENERAL	77.62	14.51	5.11	85%	LOS_B
---------	-------	-------	------	-----	-------

Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Se tiene una intersección cuyo nivel de servicio en general corresponde al grupo B, es decir un flujo razonablemente libre.

Si se evaluase de manera particular cada acceso se podría decir que en el acceso 1 (Piura) se formará una cola máx. hasta de 56 m., donde se muestra que la acumulación de vehículos será mayor para ir de frente y girar a la derecha. Se tienen demoras hasta de 19 s. para voltear a la derecha de los cuales 3s. están detenidos por completo, 16s. de demora para ir de frente y 30s. para voltear en U, la probabilidad de que ocurran paradas supera el 100%, lo que genera niveles de servicio aproximadamente de flujo inestable.

Para el acceso 2 (Médanos) tiene valores hasta de 59 m. de cola y más de un minuto de detención completa de vehículos para el destino de Cossío, las demoras tienen valores altos que registran niveles de servicio entre E Y F.

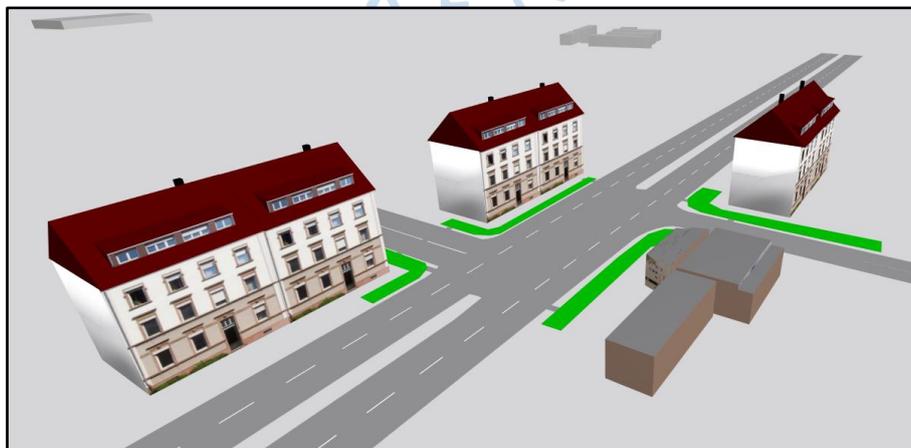
En el acceso 3 (Cossío) se tiene intervalos de colas hasta de 20m. y demoras que no muestran preocupación, sin embargo, el punto en contra es debido a que al igual que en el acceso 2 son vías de un solo carril, al cruzar la vía principal y verse obstaculizado por el flujo principal sin prioridad de paso, el vehículo que quiere pasar de frente retendrá a los de atrás.

En el acceso 4 (Chulucanas) pertenece al nivel A, sin embargo, se tienen valores medios de demora, esto es debido a que existen las paradas de autobús y a que el carril de giro izquierda es invadido por los vehículos que vienen de Médanos, lo que forma una cola máxima de 77m. característica importante que se debe tener pendiente para evitar que baje de nivel.

5.2.2 Evaluación de propuesta 1

Figura 79

Vista 3D de propuesta optimizada.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Debido al volumen de tránsito que se tiene en el estudio, se planteó la posibilidad que disminuyan los conflictos si se tomase la medida de retirar algunos separadores, lo que dejaría libre el paso del acceso 2 (Médanos), por lo que se realizó la simulación debida **Figura 79** obteniéndose los siguientes valores que se muestran en Tabla 37.

Tabla 37

Comparación de valores en situación optimizada.

Movimiento		Cola máx. (m)		Demoras (s)		Nivel de servicio		Observación
Origen	Destino	Actual	Optimizada	Actual	Optimizada	Actual	Optimizada	
PIU	PIU	56.66	77.34	16.83	11.28	LOS_C	LOS_B	MEJORA
PIU	ME	56.66	77.34	19.22	9.90	LOS_C	LOS_A	MEJORA
PIU	CO	50.16	70.84	11.47	7.85	LOS_B	LOS_A	MEJORA
PIU	GIRO U	28.46	49.13	29.04	12.32	LOS_D	LOS_B	MEJORA
ME	PIU	58.95	52.18	45.76	24.69	LOS_E	LOS_C	MEJORA
ME	CO	59.05	52.38	96.62	42.49	LOS_F	LOS_E	MEJORA
ME	CH	59.05	52.38	35.25	23.50	LOS_E	LOS_C	MEJORA
CO	PIU	20.28	19.39	0.46	13.73	LOS_A	LOS_B	RETRASO
CO	ME	20.28	19.39	0.48	10.45	LOS_A	LOS_B	RETRASO
CO	CH	12.43	22.21	4.21	5.33	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	CH	8.29	23.58	0.00	0.00	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	ME	77.62	23.58	9.09	10.41	LOS_A	LOS_B	RETRASO
CH	CO	39.59	23.58	1.35	2.28	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	GIRO U	8.29	23.58	3.50	4.79	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
GENERAL		77.62	77.34	14.51	10.45	LOS_B	LOS_B	

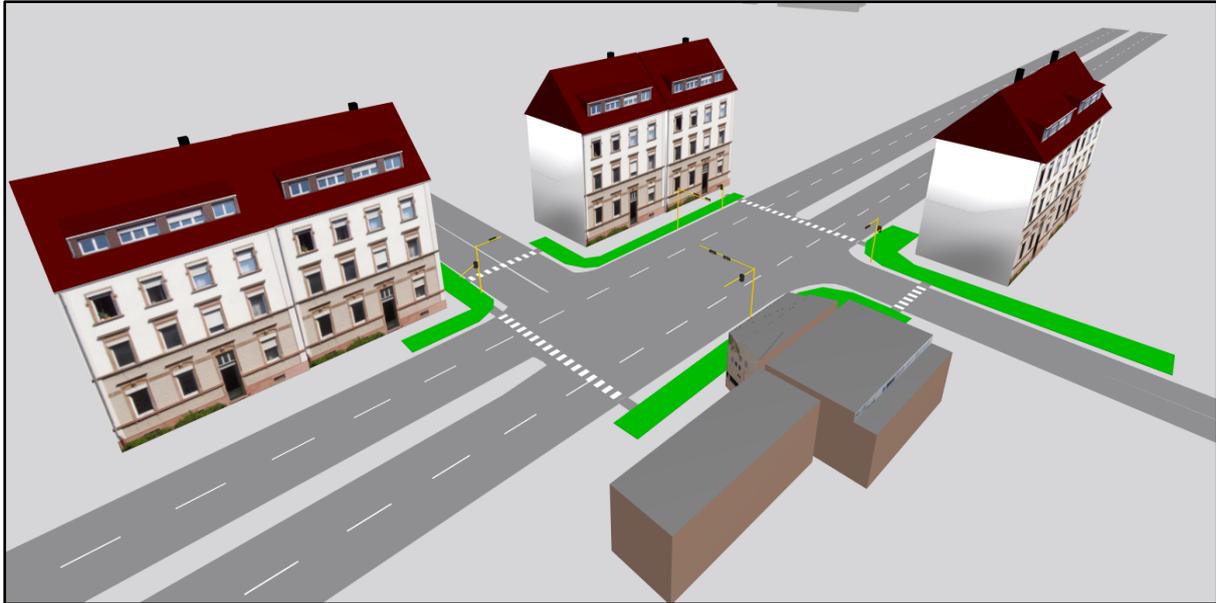
Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Con estos resultados se comprobó que, aunque se tiene el nivel de servicio en algunos accesos que se ha mejorado aún se considera una intersección de nivel B, es decir no es totalmente suficiente el retiro de los separadores ya que se ve un retraso en los giros a la derecha de Cossío y el giro a izquierda de Chulucanas. Se observa que la cantidad de cola en los accesos 1 y 2 han aumentado, sin embargo, el tiempo de demora es menor para los accesos 1 y 2, mientras que para 3 y 4 se incrementan, comparándolos con los valores iniciales.

Es por tal motivo que se vio necesario plantear la solución con la implementación de semáforos, los cuales siguen el desarrollo de tiempos establecidos en el capítulo 4 tanto para semáforos vehiculares y peatonales, como se visualiza en la Figura 80.

Figura 80

Vista 3D de propuesta 1.

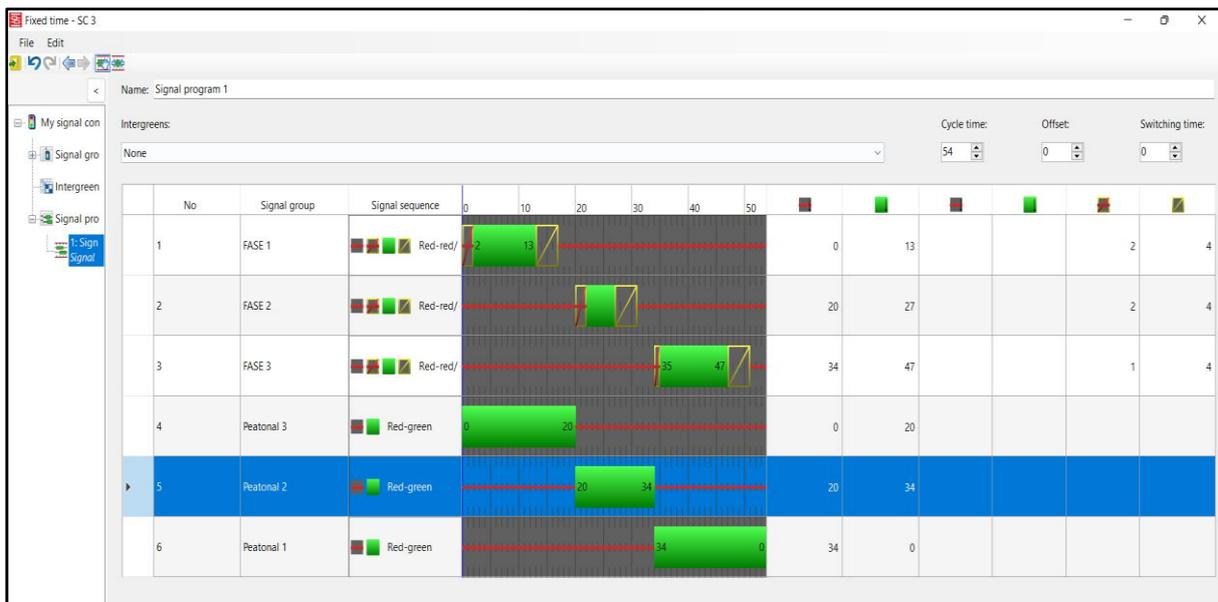


Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

A continuación, se muestra Figura 81 la distribución de los tiempos de los ciclos de los semáforos tanto vehicular como peatonales dispersos de tal forma que se logre una circulación libre de conflictos.

Figura 81

Distribución del ciclo vehicular y peatonal.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Tal como se concluye en el apartado **Capítulo 4** en esta etapa de la investigación se podría comprobar si los tiempos obtenidos por el método de Webster serían los indicados para el uso de semáforos, principalmente por que el tiempo de 7s. dados para la fase 2 es muy corto.

Tabla 38

Comparación de valores de propuesta 1.

Movimiento		Cola max (m)		Demoras (s)		Nivel de servicio		Observación
Origen	Destino	Actual	Optimizada	Actual	Optimizada	Actual	Optimizada	
PIU	PIU	56.66	41.81	16.83	24.36	LOS_C	LOS_C	SIN CAMBIOS
PIU	ME	56.66	41.81	19.22	22.98	LOS_C	LOS_C	SIN CAMBIOS
PIU	CO	50.16	36.42	11.47	16.48	LOS_B	LOS_B	SIN CAMBIOS
PIU	GIRO U	28.46	24.54	29.04	33.93	LOS_D	LOS_C	MEJORA
ME	PIU	58.95	21.38	45.76	33.75	LOS_E	LOS_C	MEJORA
ME	CO	59.05	21.38	96.62	0.00	LOS_F	LOS_A	MEJORA
ME	CH	59.05	21.38	35.25	28.98	LOS_E	LOS_C	MEJORA
CO	PIU	20.28	20.02	0.46	54.78	LOS_A	LOS_D	RETRASO
CO	ME	20.28	20.02	0.48	29.54	LOS_A	LOS_C	RETRASO
CO	CH	12.43	20.02	4.21	28.06	LOS_A	LOS_C	RETRASO
CH	CH	8.29	50.15	0.00	0.00	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	ME	77.62	50.15	9.09	19.15	LOS_A	LOS_B	RETRASO
CH	CO	39.59	50.15	1.35	52.14	LOS_A	LOS_D	RETRASO
CH	GIRO U	8.29	50.15	3.5	27.65	LOS_A	LOS_C	RETRASO
GENERAL		77.62	50.15	14.51	26.28	LOS_B	LOS_C	

Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

De los valores obtenidos en la **Tabla 38** se destaca que a nivel general la implementación de semáforos hace a la intersección disminuir de nivel, correspondiéndole un nivel C. Si bien esta medida favorece de manera notoria a la circulación del acceso de Los Médanos perjudica a los otros accesos notándose el cambio en los tiempos de demoras aumentado hasta en un intervalo de 40 segundos tal y como es en los accesos de Chulucanas y Cossío. En el acceso de Piura los incrementos de colas y demoras son mininos lo que hace que se mantenga en un nivel C.

En lo general, se puede evidenciar que hay una mejora en la distancia de cola de la propuesta 1 teniéndose una disminución de 35%, tan como se aprecia en el Gráfico 10, esto es debido al uso de los semáforos según las fases determinadas. Sin embargo, en la variación de la demora Gráfico 11 no se obtuvo una disminución del tiempo esto se podría deber por el uso de carriles y decisión de movimientos generándose 12 segundos adicional, es por ello que se plantea una siguiente alternativa.

Gráfico 10

Cola máxima con propuesta 2 vs actual.

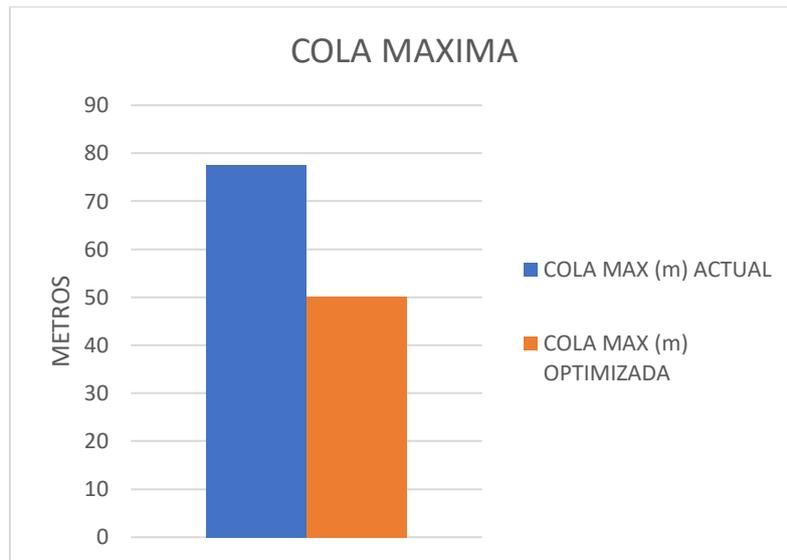
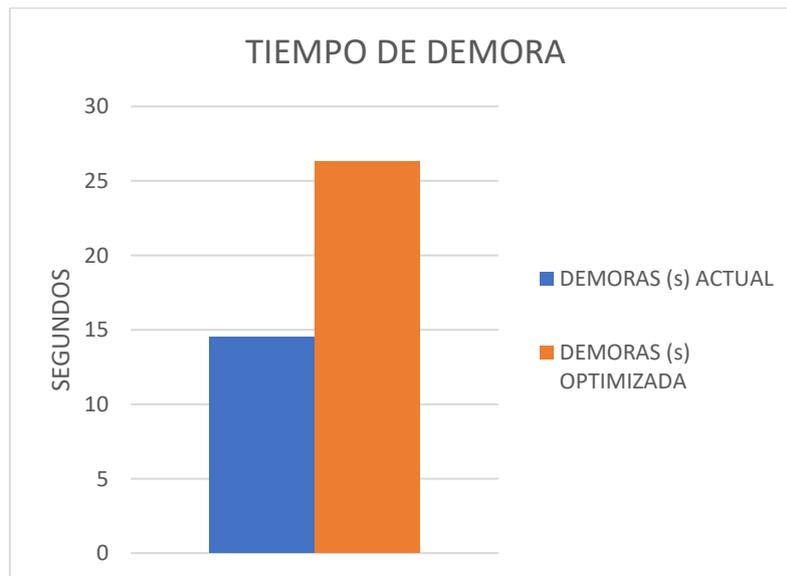


Gráfico 11

Tiempo de demora de propuesta 1 vs actual.

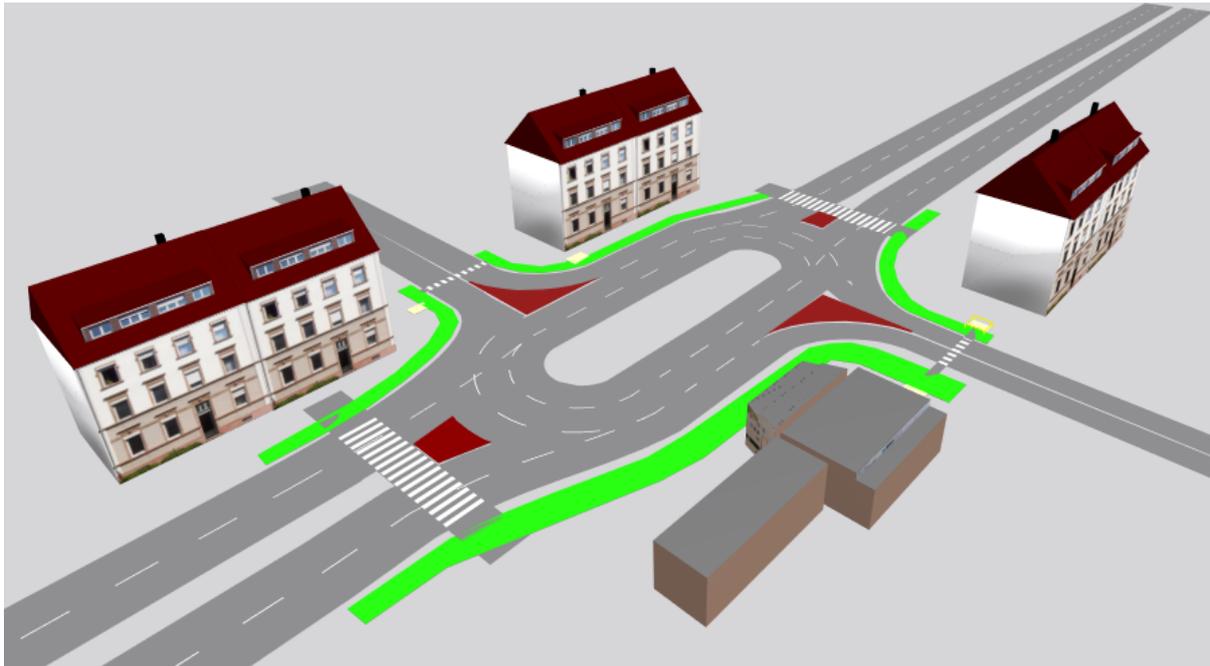


5.2.3 Evaluación de propuesta 2

Para la segunda propuesta planteada se ha modelado la implantación del óvalo Figura 82, teniéndose en cuenta todos los parámetros realizados en el apartado 4.2, con ayuda del programa PTV Vissim permite evaluar y obtener los siguientes resultados **Tabla 39**.

Figura 82

Vista 3D de propuesta 2.



Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

Tabla 39

Comparación de valores en propuesta 2.

Movimiento		Cola max (m)		Demoras (s)		Nivel de servicio		Observación
Origen	Destino	Actual	Propuesta 2	Actual	Propuesta 2	Actual	Propuesta 2	
PIU	PIU	56.66	57.66	16.83	11.15	LOS_C	LOS_B	MEJORA
PIU	ME	56.66	57.66	19.22	9.07	LOS_C	LOS_A	MEJORA
PIU	CO	50.16	57.66	11.47	20.72	LOS_B	LOS_C	RETRASO
PIU	GIRO U	28.46	57.66	29.04	14.54	LOS_D	LOS_B	MEJORA
ME	PIU	58.95	3.78	45.76	5.39	LOS_E	LOS_A	MEJORA
ME	CO	59.05	3.78	96.62	18.63	LOS_F	LOS_C	MEJORA
ME	CH	59.05	3.78	35.25	2.08	LOS_E	LOS_A	MEJORA
CO	PIU	20.28	13.21	0.46	1.59	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CO	ME	20.28	0.00	0.48	11.86	LOS_A	LOS_B	RETRASO

CO	CH	12.43	0.00	4.21	6.37	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	CH	8.29	24.39	0.00	2.74	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	ME	77.62	24.39	9.09	8.12	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	CO	39.59	24.39	1.35	1.55	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
CH	GIRO U	8.29	24.39	3.50	0.00	LOS_A	LOS_A	SIN CAMBIOS
GENERAL		77.62	57.66	14.51	7.18	LOS_B	LOS_A	

Nota. Adaptado de PTV Vissim 2022 Student.

De los resultados obtenidos con el programa PTV Vissim, en el parámetro de medición de colas ha resultado una mejoría no menor a la propuesta 1, ya que solo se tiene una disminución del 26%, tal como se precia en el **Gráfico 12**, se evidencia que se generan grupos de una misma medida por acceso notándose a las vías principales mayores que las vías secundarias esto es debido al volumen por ruta. Con respecto al tiempo de demora se observa en el, que en esta propuesta 2 se logra una mejoría con la disminución de 7s. con la implementación de mini rotondas, lo cual nos permite optimizar el acceso a las vías principales y secundarias.

Gráfico 12

Cola máxima con propuesta 2 vs actual.

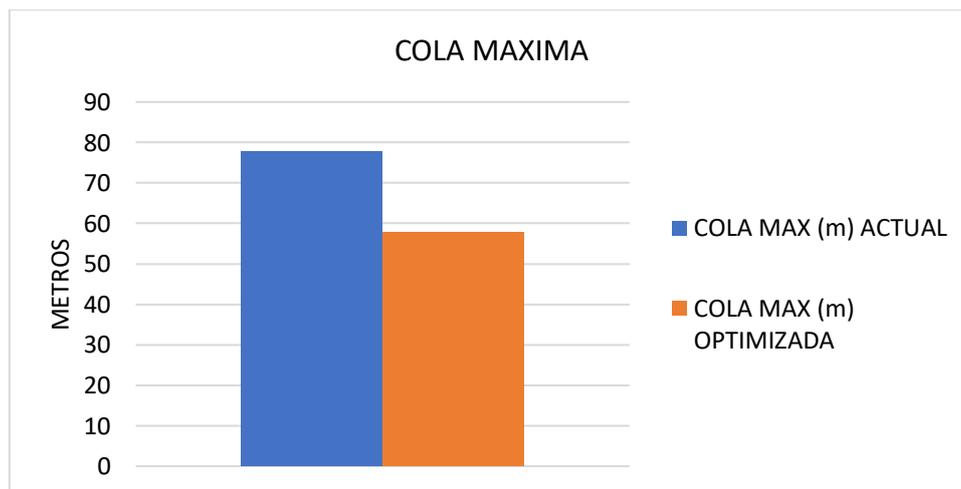
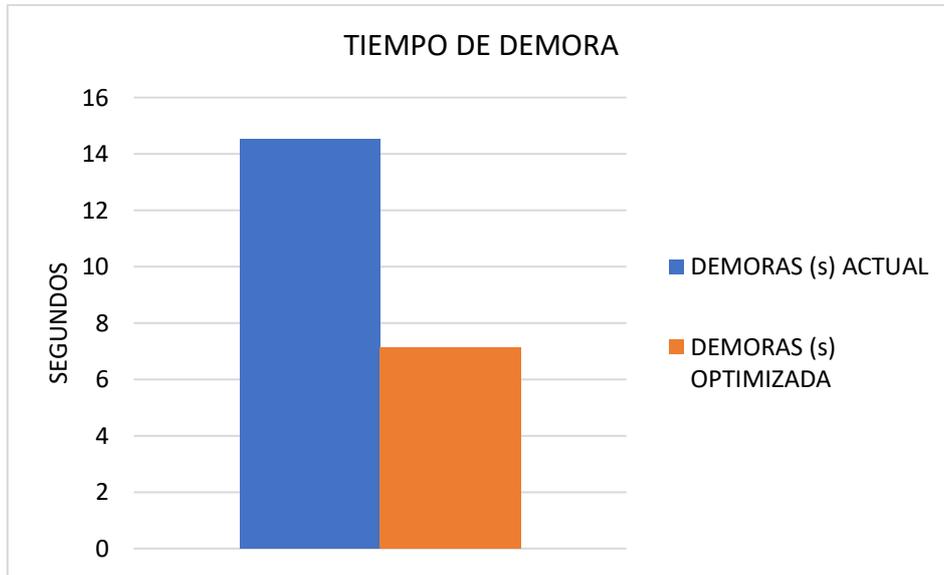


Gráfico 13

Tiempo de demora propuesta 2 vs actual.



Para la valoración de la propuesta 2 se compararon los niveles calculados en el **Capítulo 4**, frente a los obtenidos por el programa PVT Vissim, se contempla que a nivel general el nivel de servicio corresponde al grupo A. Se puede ver mejoras en el acceso 2 (Médanos) en especial en el giro a la izquierda y derecha que cambia de un nivel E a un A y se da un retraso en el giro de Piura a Cossío y de Cossío a Médanos. Cabe resaltar que en la simulación se tienen más factores de estudio que afectan el valor de servicio, tal como son los pases peatonales, la aglomeración por el semáforo previo, entre otros. Es por lo que se muestra una variación de entre los niveles **Tabla 40**.

Tabla 40

Comparación de niveles estimados por Vissim y calculados por Wardrop

Acceso	Nivel de servicio	
	Estimada por Vissim	Fórmula de Wardrop
Piura	B	A
Los Médanos	B	A
Cossío	A	A
Chulucanas	A	A

Conclusiones

Del presente estudio, "Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B, entrada segunda etapa Cossío del Pomar y AA. HH Los Médanos", se concluye que es posible mejorar los niveles de servicio de las intersecciones mediante modificaciones en el diseño geométrico. En este caso en particular, se plantearon 3 propuestas, de las cuales se obtuvo que implementar la fusión de dos mini rotondas es la mejor alternativa de solución. Es factible para los volúmenes a futuro trabajados; la serviciabilidad a nivel de diseño y a través del programa resulta con valores aceptables en ambas situaciones a pesar de no cumplir con los requerimientos mínimos de las normativas peruanas.

La implementación del programa PTV Vissim 22, permite modelar en 2D y obtener óptimas visualizaciones en 3D de diferentes escenarios de tráfico. En este estudio, la simulación en Vissim permitió elaborar comparaciones entre lo teórico con lo real y facilitó un correcto análisis de los parámetros de estudio como el nivel de serviciabilidad de la vía seleccionada en las tres propuestas simuladas. Esto permitió dar una solución al problema y encontrar una mejora en el sistema vial de las intersecciones.

El estudio de campo permite el reconocimiento de diferentes ámbitos de la vía; uno de ellos es el aspecto social. En este estudio, las visitas a campo permitieron determinar que existía mucha disconformidad por parte de los pobladores de las zonas de estudio ya que evidenciaba el mal desenvolvimiento de la circulación del parque automovilístico y el riesgo al que están expuestos los peatones y conductores. Pese a esto, en el estudio de tráfico realizado se obtuvieron valores menores a los esperados, con lo que se pudo concluir que la problemática se concentraba en el ámbito del desarrollo de la infraestructura; no obstante, al ser evaluado por el programa resulta con niveles de servicio favorables a excepción de los accesos sur y oeste.

La propuesta N°1, la implementación de dispositivos semafóricos se origina ante la inconformidad de la medida de retirar los separadores centrales, la cual se evaluó con tres fases donde se evidencia el intercambio vehicular y peatonal, sin embargo, resulta desfavorable la implementación semafórica debido a los breves tiempos obtenidos en la memoria de cálculo.

En la propuesta N°3, se plantea la implementación de un paso a desnivel, se toma como factor primordial el ámbito económico, idealmente esta propuesta cumple con el objetivo de liberar la congestión y mediante la desviación del flujo mayor se crean vías independientes a un distinto nivel, lo que resulta favorable para el nivel cero donde no se tendría presencia de congestión ni demoras, evitándose el uso de dispositivos de control (semáforos o reductores de velocidad) y obteniéndose así flujos libres. Sin embargo, el problema aquí surge debido a que se podría considerar un proyecto sobrestimado en cuestión de costos para el uso de la zona en la que se encuentra.

Finalmente se puede decir que los objetivos planteados en la presente investigación fueron alcanzados con éxito; sin embargo, se evidenció también la necesidad de un mayor estudio en el ámbito de seguridad vial, especialmente en intersecciones, dentro de las normas peruanas. Tal es el caso, por ejemplo, de los métodos del proceso de semaforización empleados en campo.



Recomendaciones

En función a los resultados de este trabajo se plantea las siguientes recomendaciones:

Se sugiere el planteamiento del ensanche de las vías secundarias (calle B y calle Las Esmeraldas) esto es debido que a pesar de cumplir los estándares mínimos limita mucho su uso tal como se comprobó en campo, en estas calles no existe bermas que permitan el estacionamiento de carros lo que dificulta el paso normal o el acceso primordial de ambulancias o unidades de emergencia.

En todos los escenarios propuestos se deben considerar las calles auxiliares de la Av. Guardia Civil, que, si bien hasta el momento no están demarcadas, ni pavimentadas, se hace empleo de estas por la aproximación o facilidad de llegar a la vía principal en el sentido requerido.

Se considera que el uso de reductores de velocidad son otra forma de preservar la seguridad de la intersección, al igual que la correcta señalización tanto horizontal como vertical que hace falta en la zona, además de la concientización a las personas de la cultura de tránsito tanto en el papel de peatones, conductores o pasajeros.

Desde un punto de vista ecológico se plantea la modificación de separadores centrales por zonas de áreas verdes, con el fin de llevar a cabo la arborización y así minimizar el impacto ambiental. Tampoco se debe descartar el planteamiento vías destinadas para vehículos menores tales como las bicicletas, claramente esto debe ser un proyecto integral de la movilidad urbana en Piura.

Para la propuesta de semaforización se recomienda emplear distintos criterios apoyados de la experiencia que permite crear artificios con la que se pueda destinar un practico tiempo de ciclo de la intersección.

Referencias

- AASHTO. (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington D.C., E.E.U.U. www.ahtd.state.ar.us
- Araujo, J. (2019). Sesión 13-14-CAT-Control de intersecciones. <https://es.scribd.com/document/408758012/SESION-13-a-14-CAT-CONTROL-DE-INTERSECCIONES-pdf>
- Accidentes de tránsito dejaron más de 2,000 muertos hasta noviembre. (2020, 16 diciembre). Agencia Peruana de Noticias Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-accidentes-transito-dejaron-mas-2000-muertos-hasta-noviembre-826296.aspx>
- Belloti, M. (2019). Vissim 8, uso y aplicación en una intersección urbana; avenida Pablo Ricchieri, Bernardo O'Higgins y Celso Barrios. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Cárdenas, J., & Cal y Mayor, R. (2018). Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. México: Ediciones Alfaomega.
- Castillo Alburqueque, R. A. (2020). Diagnóstico del tráfico y optimización del diseño geométrico de una intersección con semáforos. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura
- Castillo Chu, C. G., & Olaya Riofrio, Y. D. L. M. (2021). Estudio y propuesta de mejora de la transitabilidad vehicular y peatonal en la Av. Ignacia Schaeffer, del distrito de Tambogrande–Piura–Piura. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Antenor Orrego.
- Castro Barrientos, L. F., & Mendoza, B. E. (2021). Evaluación y propuesta de un nuevo diseño de las rotondas de la variante internacional lado Perú del eje vial N° 1 carretera Panamericana Piura–Guayaquil en la provincia de Zarumilla. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura
- Centro de Nacional de Epidemiología, Prevención y control de enfermedades (2021, agosto). Sistema de Vigilancia en Salud Pública de lesiones por accidentes de tránsito. <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2021/SE33/transito.pdf>
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2017, junio). El Manual de seguridad vial. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, Perú.
- Esquivel Fernández, W. (2011). Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica Del Perú
- Federal Highway Administration [FHWA]. (2000). ROUNDABOUTS: An informational Guide. Washington. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/00067/00067.pdf>

- Federal Highway Administration [FHWA]. (2010). ROUNDABOUTS: An Informational Guide. Washington. <https://nacto.org/docs/usdg/nchrprpt672.pdf>
- Fernández, R., Dextre Quijandría, J. C. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- García, M. y Timaná, J. (2017). Propuesta de modificación de la norma de diseño geométrico de rotondas del Manual de Diseño Geométrico DG 2014 aplicada al nuevo diseño de rotonda Sullana en la Autopista del Sol. En E. Carrera (Dir.), I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET, (pp. 49-61). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
- Hernández Betancourt, G., Vidaña Bencomo, J., & Rodríguez Esparza, A. (2015). Problemática en Intersecciones viales de áreas urbanas: Causas y soluciones. CULCyT, 20.
- Huanca Tarazona, S. D., & Rojas Quispe, A. A. (2019). Propuesta de mejora del diseño vial del óvalo La Curva de Chorrillos validado con el software Vissim 9.0. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.
- Kell, J., & Fullerton, I. (1991). Manual of traffic signal design. New Jersey: Institute of Transportation Engineers.
- Ki-moon, B. (2011). Plan Mundial para el Decenio de acción para la seguridad vial 2011-2020. https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/plan_spanish.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras. Lima, Perú.
- Ministerios de Transportes y Comunicaciones (2017). Manual de Seguridad Vial. Lima.
- Ministerios de Transportes y Comunicaciones (2018). Manual de Carreteras – Diseño Geométrico DG 2018. Lima.
- Municipalidad Provincial de Piura (2014). Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Veintiséis de Octubre, Castilla y Catacaos al 2032. Piura, Perú.
- Naciones Unidas. (s. f.). Día Mundial en Recuerdo de las Víctimas de Accidentes de Tráfico. <https://www.un.org/es/observances/road-traffic-victims-day>.
- NCDOT (noviembre 2021). Diverging Diamond interchanges. USA. <https://www.ncdot.gov/initiatives-policies/Transportation/safety-mobility/diverging-diamond-interchanges/Pages/default.aspx>
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial. (2021). Boletín Estadístico Siniestralidad Vial. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2182705/Boleti%CC%81n%20Estadistico%20Siniestralidad%20Vial%20I%20Semestre%202021.pdf>

- Organización Mundial de la Salud. (2020, agosto 18). Plan Mundial para el Decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030. [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/21323-spanish-global-plan-for-road-safety-for web.pdf?sfvrsn=65cf34c8_33&download=true](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/21323-spanish-global-plan-for-road-safety-for-web.pdf?sfvrsn=65cf34c8_33&download=true)
- Parsonson, P. S. (1992). Signal Timing Improvement Practices. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Perú, P. D. (2003). Decreto Supremo N 058-2003-MTC. Aprueban el Reglamento Nacional de Vehículos. Ministerio de transporte y comunicaciones.
- PTV Group. (2015). PTV Vissim 8 User Manual. Karlsruhe, Germany: PTV AG.
- Quintero-González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72.
- Ríos, E. (2018). Modelación del tránsito y propuesta de solución vial a la Av. Cáceres con INFRAWORKS y SYNCHRO 8. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad de Piura.
- Roca De La Cruz, A. I. (2020). Análisis y rediseño de la intersección de Av. La Molina y Av. Víctor Malásquez. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Rodríguez, D. (2015). «Revisión del HCM 2010 y 2000 Intersecciones Semaforizadas», *Ingenium*, vol. 16, n.º 32, pp. 19-31
- Statista. (2022, enero 24). Número de muertes por COVID 19 en América Latina y el Caribe por país. <https://www.statista.com/statistics/1103965/latin-america-caribbean-coronavirus-deaths/>
- Suárez Joya, H. N., & Pantoja Santander, C. A. (2005). Prediseño geométrico a nivel ya desnivel de la intersección El Jazmín. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional De Colombia
- Torres, A. (2015). Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las rotondas modernas. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura.
- TRB, T. R. (2010). Highway Capacity Manual HCM. Washington.
- Webster, F. (1958). Traffic Signal Settings. London: Road Research Technical Paper No.39.

Apéndices



Apéndice A

Conteo vehicular de la estación 1 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:	1	DÍA	Lunes 07/03/2022
INTERSECCIÓN	Av. Guardia Civil en el sentido Oeste-Este (Piura – Chulucanas).	HORA PUNTA	07:00-8:00 AM

HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER		BICICLETA	TOTAL	TOTAL
			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2S1 2S2 2S3 3S1 3S2 3S3	2T2 2T3 3T2 3T3				
DIAGRA. VEH.																
07:00 A 07:15	1.4	→	60		80	24		13		1		1	2	181	275	
	1.3	↕	19		15	1		0		0		0	0	35		
	1.2	←	34		10	2		0		0		0	0	46		
	1.1	↶	9		4	0		0		0		0	0	13		
07:15 A 07:30	1.4	→	70		62	28		16		0		0	0	176	267	
	1.3	↕	26		8	2		0		0		0	0	36		
	1.2	←	36		10	2		0		0		0	2	50		
	1.1	↶	4		1	0		0		0		0	0	5		
07:30 A 07:45	1.4	→	60		75	31		14		1		1	0	182	302	
	1.3	↕	22		12	0		0		0		0	0	34		
	1.2	←	42		24	3		0		0		0	0	69		
	1.1	↶	9		6	0		0		0		2	0	17		
07:45 A 08:00	1.4	→	85		78	24		16		1		1	0	205	310	
	1.3	↕	25		9	4		0		0		0	0	38		
	1.2	←	46		15	0		0		0		0	0	61		
	1.1	↶	5		1	0		0		0		0	0	6		
TOTAL			1104		531	121		105		7		6	4	1154		

Apéndice B

Conteo vehicular de la estación 2 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:		2			DIA		Lunes 07/03/2022							
INTERSECCIÓN		Calle 12 Las Esmeraldas, Los Médanos en el sentido Sur-Norte.			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM							
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS	CAMION	TRAYLER		BICICLETA	TOTAL	TOTAL
DIAGRA. YEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2S1 2S2 2S3 3S1 3S2 3S3	2T2 2T3 3T2 3T3		
														
07:00 A 07:15	2.3	→	4		0	0		0		0	0		0	4
	2.4	↕	71		27	0		0		1	0		1	100
	2.1	←	20		6	1		0		0	0		0	27
07:15 A 07:30	2.3	→	4		0	0		0		0	0		0	4
	2.4	↕	50		27	1		0		1	0		3	82
	2.1	←	30		7	0		0		0	0		2	39
07:30 A 07:45	2.3	→	0		0	0		0		0	0		0	0
	2.4	↕	38		19	2		0		2	0		0	61
	2.1	←	10		6	1		0		0	0		0	17
07:45 A 08:00	2.3	→	0		0	0		0		0	0		0	0
	2.4	↕	66		26	3		1		3	0		0	99
	2.1	←	9		1	2		1		0	0		1	14
TOTAL			302		119	10		2		15	0		7	447

Apéndice C

Conteo vehicular de la estación 3 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:		3			DIA		Lunes 07/03/2022							
INTERSECCIÓN		Calle B de Cossío del Pomar en el sentido Norte-Sur			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM							
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS	CAMION	TRAYLER		BICICLETA	TOTAL	TOTAL
DIAGRA. YEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2S1 2S2 2S3 3S1 3S2 3S3	2T2 2T3 3T2 3T3		
														
07:00 A 07:15	3.2	→	10		2	0		0		0	0		0	12
	3.1	↕	5		3	0		0		0	0		0	8
	3.4	←	14		5	1		0		0	0		0	20
07:15 A 07:30	3.2	→	4		0	0		0		0	0		0	4
	3.1	↕	6		1	0		0		0	0		0	7
	3.4	←	15		5	0		0		0	0		0	20
07:30 A 07:45	3.2	→	7		0	0		0		0	0		0	7
	3.1	↕	6		1	0		0		0	0		0	7
	3.4	←	15		2	1		0		0	0		0	18
07:45 A 08:00	3.2	→	6		2	0		0		0	0		0	8
	3.1	↕	8		6	0		0		0	0		0	14
	3.4	←	15		3	0		0		1	0		0	19
TOTAL			111		30	2		0		1	0		0	144

Apéndice D

Conteo vehicular de la estación 4 tomado el lunes 7 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:	4			DÍA	Lunes 07/03/2022									
INTERSECCIÓN	Av. Guardia Civil en el sentido Este-Oeste (Chulucanas - Piura)			HORA PUNTA	07:00-8:00 AM									
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS	CAMION	TRAYLER		BICICLETA	TOTAL	TOTAL
DIAGRA. VEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2S1 2S2 2S3 3S1 3S2 3S3	2T2 2T3 3T2 3T3		
														
07:00 A 07:15	4.1	→	140		98	14		13		16		3	1	285
	4.3	↕	11		4	1		1		0		0	0	17
	4.2	↓	6		0	0		0		0		0	0	6
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0	0	0
07:15 A 07:30	4.1	→	148		90	13		17		7		1	0	276
	4.3	↕	6		1	1		0		0		0	0	8
	4.2	↓	2		1	0		0		0		0	0	3
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0	0	0
07:30 A 07:45	4.1	→	110		77	10		25		8		1	1	232
	4.3	↕	15		1	0		0		0		0	0	16
	4.2	↓	4		3	0		0		0		0	0	7
	4.4	↶	2		1	0		0		0		0	0	3
07:45 A 08:00	4.1	→	113		90	22		16		10		0	1	252
	4.3	↕	5		1	0		0		0		0	0	6
	4.2	↓	7		3	0		0		0		0	0	10
	4.4	↶	0		2	0		0		0		0	0	2
TOTAL			569		372	61		72		41		5	3	1123

Apéndice E

Conteo vehicular de la estación 1 tomado el martes 8 de marzo del 2022

ESTACIÓN:		1			DÍA		Martes 08/03/2022										
INTERSECCIÓN		Av. Guardia Civil en el sentido Oeste-Este (Piura – Chulucanas).			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 32	2T3 3T2 3					
DIAGRA. VEH.																	
07:00 A 07:15	1.4	→	75		72		25		15		11		2		1	201	285
	1.3	↕	37		20		0		0		0		0		0	57	
	1.2	←	10		8		0		0		0		0		1	19	
	1.1	↵	5		3		0		0		0		0		0	8	
07:15 A 07:30	1.4	→	70		81		17		13		11		0		1	193	268
	1.3	↕	23		12		5		0		2		0		1	43	
	1.2	←	8		14		0		0		0		0		0	22	
	1.1	↵	6		4		0		0		0		0		0	10	
07:30 A 07:45	1.4	→	65		73		29		10		7		2		1	187	250
	1.3	↕	26		11		3		0		0		0		0	40	
	1.2	←	10		8		1		0		0		0		0	19	
	1.1	↵	2		2		0		0		0		0		0	4	
07:45 A 08:00	1.4	→	70		95		32		11		9		0		2	219	296
	1.3	↕	30		4		3		0		1		0		0	38	
	1.2	←	15		12		4		0		1		0		1	33	
	1.1	↵	3		2		0		0		1		0		0	6	
TOTAL			455		421		119		49		43		4		8	1099	

Apéndice F

Conteo vehicular de la estación 2 tomado el martes 8 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:		2			DÍA		Martes 08/03/2022											
INTERSECCIÓN		Calle 12 Las Esmeraldas, Los Médanos en el sentido Sur-Norte.			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM											
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL	
DIAGRA. VEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 3E	2T3 3T2 3						
																		
07:00 A 07:15	2.3	→	7		1				0				0			0	8	94
	2.4	↕	49		15				2				0			0	66	
	2.1	←	14		5				1				0			0	20	
07:15 A 07:30	2.3	→	8		0				0				0			0	8	89
	2.4	↕	41		19				2				0			1	63	
	2.1	←	7		11				0				0			0	18	
07:30 A 07:45	2.3	→	4		0				0				0			0	4	94
	2.4	↕	53		18				1				0			3	75	
	2.1	←	9		4				2				0			0	15	
07:45 A 08:00	2.3	→	3		0				0				0			0	3	107
	2.4	↕	65		25				1				0			0	91	
	2.1	←	11		1				0				0			1	13	
TOTAL			271		99				9				0			12	0	384

Apéndice G

Conteo vehicular de la estación 3 tomado el martes 8 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:		3			DÍA		Martes 08/03/2022											
INTERSECCIÓN		Calle B de Cossío del Pomar en el sentido Norte-Sur			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM											
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL	
DIAGRA. VEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 3E	2T3 3T2 3						
																		
07:00 A 07:15	3.2	→	5		0				0				0			0	5	57
	3.1	↕	12		2				0				0			0	14	
	3.4	←	24		14				0				0			0	38	
07:15 A 07:30	3.2	→	7		2				0				0			0	9	36
	3.1	↕	3		2				0				0			0	5	
	3.4	←	10		9				2				0			1	22	
07:30 A 07:45	3.2	→	9		0				1				0			0	10	41
	3.1	↕	5		0				2				0			0	7	
	3.4	←	14		8				2				0			0	24	
07:45 A 08:00	3.2	→	9		0				0				0			0	9	43
	3.1	↕	5		0				0				0			1	6	
	3.4	←	21		6				0				0			1	28	
TOTAL			124		43				7				0			1	0	177

Apéndice H

Conteo vehicular de la estación 4 tomado el martes 8 de marzo del 2022

ESTACIÓN:		4			DÍA		Martes 08/03/2022										
INTERSECCIÓN		Av. Guardia Civil en el sentido Este-Oeste (Chulucanas - Piura)			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 32	2T3 3T2 3'					
DIAGRA. VEH.																	
07:00 A 07:15	4.1	→	101		98	17		13		7		3			1	240	265
	4.3	↕	5		2	1		0		0		0			0	8	
	4.2	↓	10		5	1		0		1		0			0	17	
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0			0	0	
07:15 A 07:30	4.1	→	120		89	11		10		5		2			3	240	259
	4.3	↕	5		0	0		0		0		0			0	5	
	4.2	↓	9		4	0		0		0		0			0	13	
	4.4	↶	0		1	0		0		0		0			0	1	
07:30 A 07:45	4.1	→	110		73	12		12		5		2			0	214	232
	4.3	↕	5		0	0		0		0		0			1	6	
	4.2	↓	10		2	0		0		0		0			0	12	
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0			0	0	
07:45 A 08:00	4.1	→	120		75	16		10		10		0			3	234	249
	4.3	↕	4		1	1		0		0		0			0	6	
	4.2	↓	5		2	1		0		0		0			1	9	
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0			0	0	
TOTAL			504		352	60		45		28		7			9	1005	

Apéndice I

Conteo vehicular de la estación 1 tomado el sábado 12 de marzo del 2022.

ESTACIÓN:		1			DÍA		Sabado 12/03/2022										
INTERSECCIÓN		Av. Guardia Civil en el sentido Oeste-Este (Piura - Chulucanas)			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 3E	2T3 3T2 3T3					
DIAGRA. VEH.																	
07:00 A 07:15	1.4	→	65		55	14		12		5		1		1	153	216	
	1.3	↕	14		9	0		0		0		0		0	23		
	1.2	←	18		11	1		0		1		0		1	32		
	1.1	↶	5		2	1		0		0		0		0	8		
07:15 A 07:30	1.4	→	70		52	15		11		8		1		0	157	240	
	1.3	↕	16		7	5		0		0		0		3	31		
	1.2	←	27		17	1		0		0		0		0	45		
	1.1	↶	5		2			0		0		0		0	7		
07:30 A 07:45	1.4	→	70		83	20		14		5		1		1	194	276	
	1.3	↕	13		15	1		0		2		0		1	32		
	1.2	←	16		20	0		0		1		0		1	38		
	1.1	↶	8		4	0		0		0		0		0	12		
07:45 A 08:00	1.4	→	75		78	10		10		6		0		1	180	264	
	1.3	↕	17		13	4		0		0		0		0	34		
	1.2	←	25		16	1		0		0		0		0	42		
	1.1	↶	4		4	0		0		0		0		0	8		
TOTAL			448		388	73		47		36		3		9	996		

Apéndice J

Conteo vehicular de la estación 2 tomado el sábado 12 de marzo del 2022

ESTACIÓN:		2			DÍA		Sabado 12/03/2022										
INTERSECCIÓN		Calle 12 Las Esmeraldas, Los Médanos en el sentido Sur-Norte			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
DIAGRA. VEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 32	2T3 3T2 3					
07:00 A 07:15	2.3	→	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	74
	2.4	→	38	17	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	58		
	2.1	→	6	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	12		
07:15 A 07:30	2.3	→	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	100	
	2.4	→	53	18	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	77		
	2.1	→	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19		
07:30 A 07:45	2.3	→	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	156	
	2.4	→	76	38	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	119		
	2.1	→	22	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33		
07:45 A 08:00	2.3	→	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	42	
	2.4	→	15	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26		
	2.1	→	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10		
	TOTAL		249	104	14	1	2	0	2	0	0	0	2	372			

Apéndice K

Conteo vehicular de la estación 3 tomado el sábado 12 de marzo del 2022

ESTACIÓN:		1			DÍA		Sabado 12/03/2022										
INTERSECCIÓN		Av. Guardia Civil en el sentido Oeste-Este (Piura - Chulucanas)			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
DIAGRA. VEH.			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 32	2T3 3T2 3					
07:00 A 07:15	3.2	→	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	38
	3.1	→	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
	3.4	→	14	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	24		
07:15 A 07:30	3.2	→	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	33	
	3.1	→	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9		
	3.4	→	12	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	16		
07:30 A 07:45	3.2	→	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	38	
	3.1	→	11	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14		
	3.4	→	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17		
07:45 A 08:00	3.2	→	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	34	
	3.1	→	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10		
	3.4	→	13	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19		
	TOTAL		108	29	3	0	2	0	0	0	0	0	1	143			

Apéndice L

Conteo vehicular de la estación 4 tomado el sábado 12 de marzo del 2022

ESTACIÓN:		4			DÍA		Sabado 12/03/2022										
INTERSECCIÓN		Av. Guardia Civil en el sentido Este-Oeste (Chulucanas - Piura)			HORA PUNTA		07:00-8:00 AM										
HORA	CÓDIGO DE GIRO	SENTIDO	MOTO		AUTO	CAMIONETAS		BUS		CAMION		TRAYLER			BICICLETA	TOTAL	TOTAL
			MOTO LINE	MOTOTAXI		PICK UP	RURAL COMBI	MICRO	2E 3E	2E 3E 4E 8X4	2 2S3 3S1 3E	2T3 3T2 3E					
DIAGRA. VEH.																	
07:00 A 07:15	4.1	→	130		84	10		4		6		1		0	235	252	
	4.3	↕	7		2	0		0		0		0		0	9		
	4.2	↓	6		2	0		0		0		0		0	8		
	4.4	↶	0		0	0		0		0		0		0	0		
07:15 A 07:30	4.1	→	149		86	13		13		11		0		1	273	293	
	4.3	↕	7		3	0		0		0		0		0	10		
	4.2	↓	7		2	0		0		0		0		0	9		
	4.4	↶	1		0	0		0		0		0		0	1		
07:30 A 07:45	4.1	→	177		92	25		11		7		1		2	315	334	
	4.3	↕	5		4	0		1		0		0		0	10		
	4.2	↓	6		2	0		0		0		0		0	8		
	4.4	↶	1		0	0		0		0		0		0	1		
07:45 A 08:00	4.1	→	129		93	14		11		6		1		2	256	278	
	4.3	↕	7		1	0		0		0		0		0	8		
	4.2	↓	10		1	1		0		0		0		0	12		
	4.4	↶	2		0	0		0		0		0		0	2		
TOTAL			644		372	63		40		30		3		5	1157		

Anexos



Anexo A*Tabla de tasa de crecimiento de vehículos ligeros.*

Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros	
	TC
Amazonas	0.62%
Ancash	0.59%
Apurímac	0.59%
Arequipa.	1.07%
Ayacucho	1.18%
Cajamarca.	0.57%
Callao	1.56%
Cusco.	0.75%
Huancavelica.	0.83%
Huánuco.	0.91%
Ica.	1.15%
Junín.	0.77%

La Libertad	1.26%
Lambayeque.	0.97%
Lima Provincia	1.45%
Lima.	1.45%
Loreto.	1.30%
Madre de Dios	2.58%
Moquegua	1.08%
Pasco.	0.84%
Piura.	0.87%
Puno.	0.92%
San Martín.	1.49%
Tacna.	1.50%
Tumbes.	1.58%
Ucayali	1.51%

Nota. Adaptado de MTC.

Anexo B

Tabla de tasa de crecimiento de vehículos pesados.

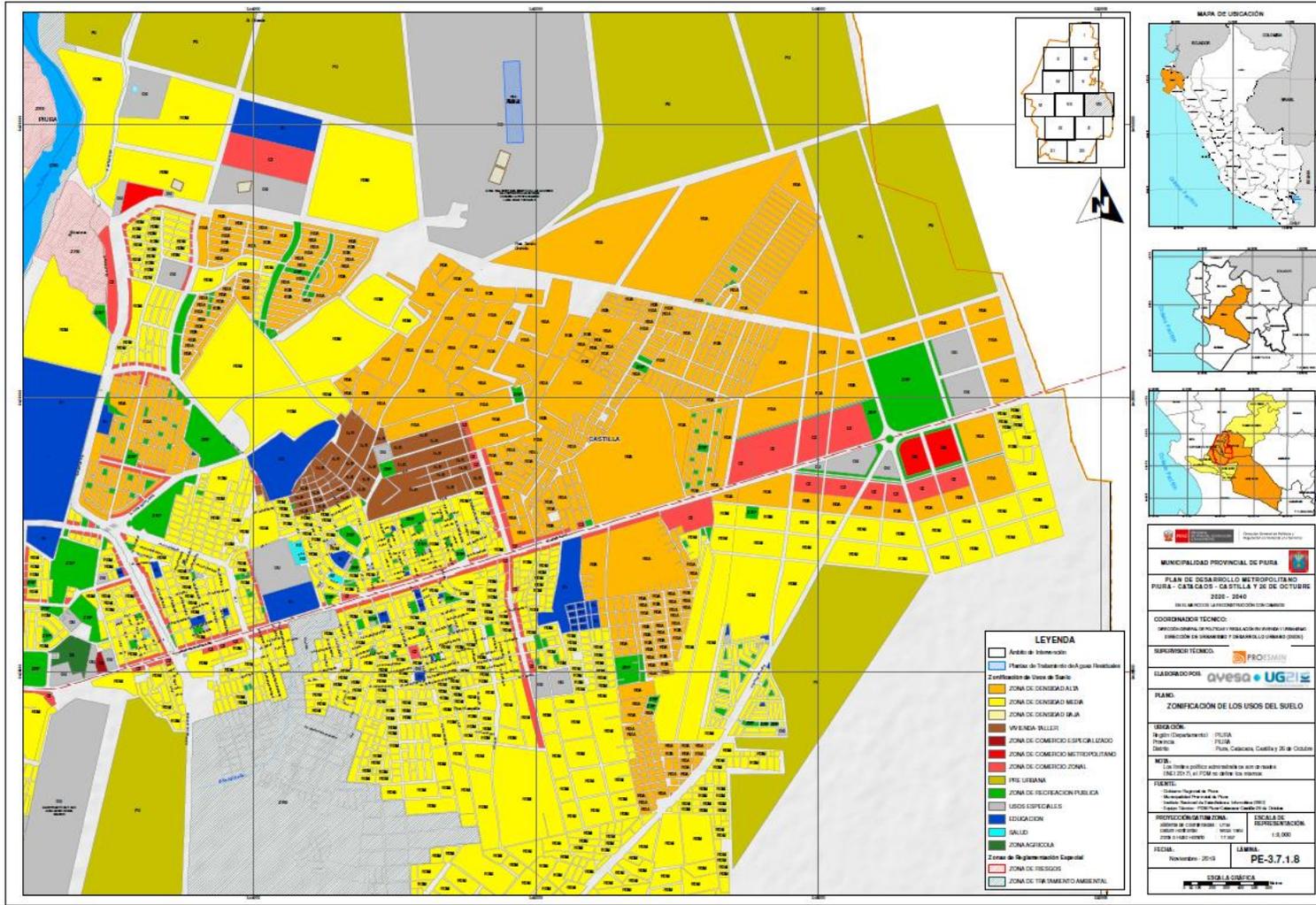
Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	
	PBI
Amazonas	3.42%
Ancash	1.05%
Apurímac	6.65%
Arequipa.	3.37%
Ayacucho	3.60%
Cajamarca.	1.29%
Cusco.	4.43%
Huancavelica.	2.33%
Huánuco.	3.85%
Ica.	3.54%
Junín.	3.90%
La Libertad	2.83%

Lambayeque.	3.45%
Callao	3.41%
Lima Provincia	3.07%
Lima.	3.69%
Loreto.	1.29%
Madre de Dios	1.98%
Moquegua	0.27%
Pasco.	0.36%
Piura.	3.23%
Puno.	3.21%
San Martín.	3.84%
Tacna.	2.88%
Tumbes.	2.60%
Ucayali	2.77%

Nota. Adaptado de MTC.

Anexo C

Plano de zonificación de los usos de suelo en Piura



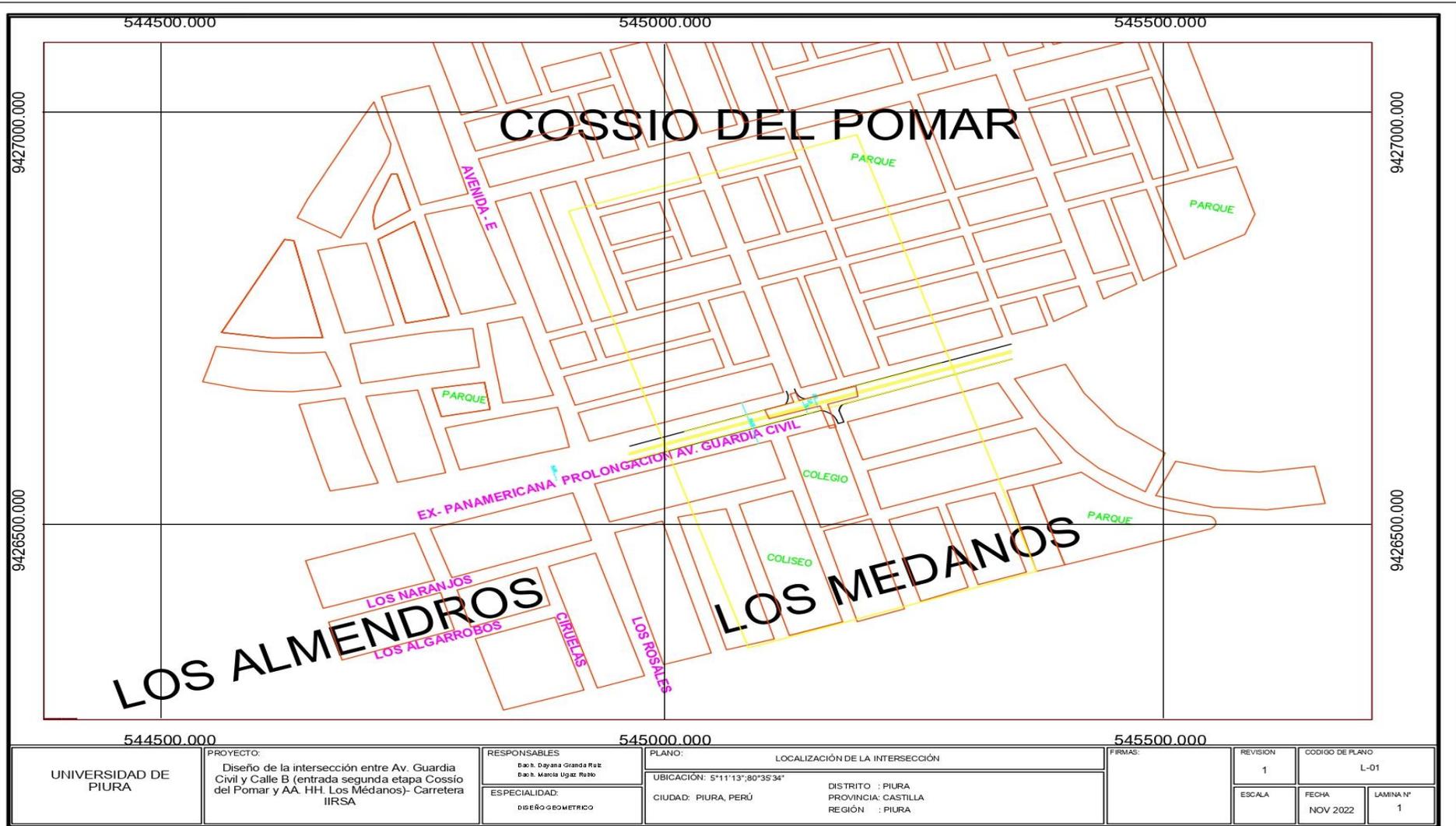
Nota. Adaptado de Municipalidad Provincial de Piura (2020).

Planos



Plano A

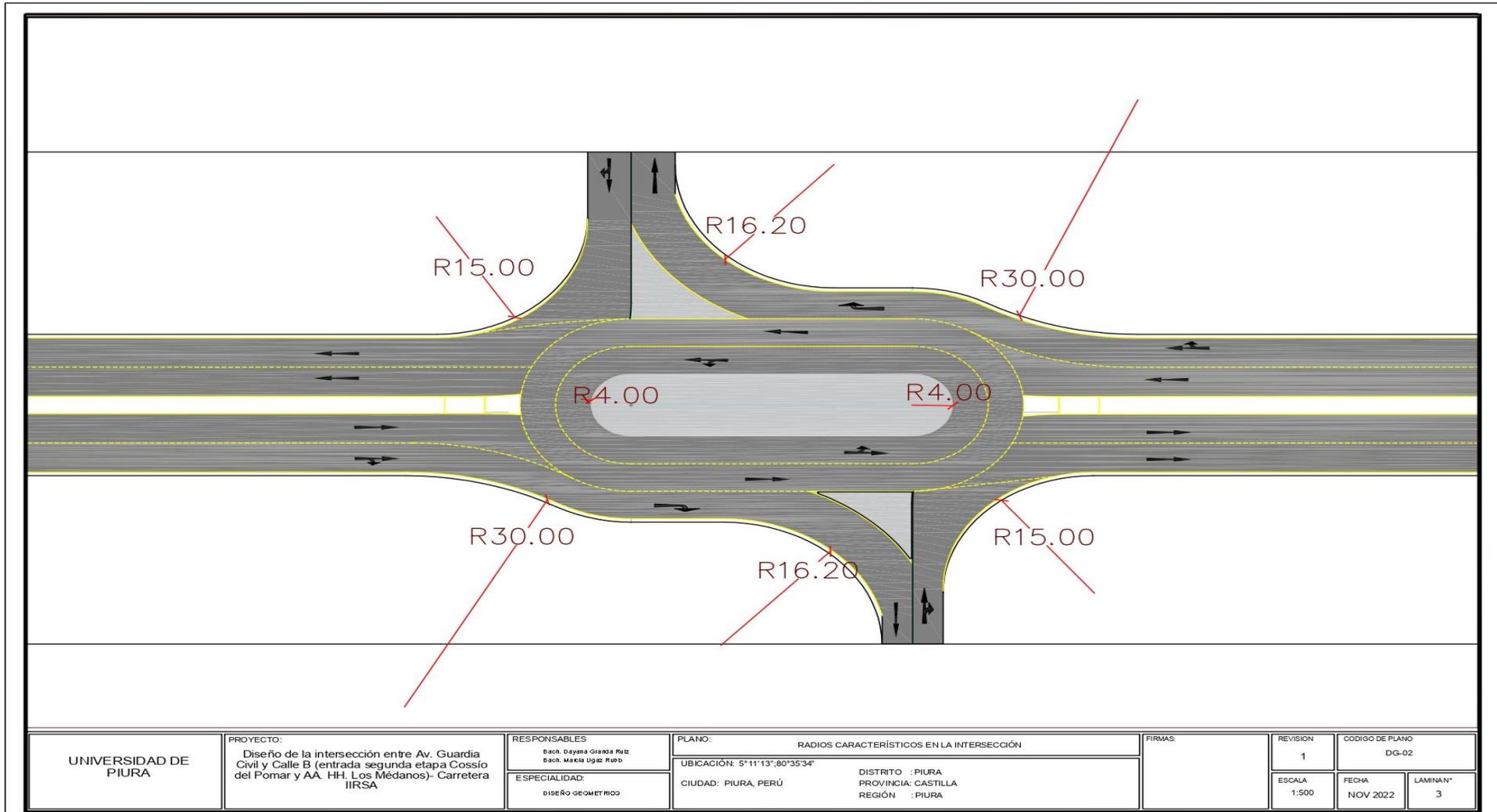
Localización de la intersección.



UNIVERSIDAD DE PIURA	PROYECTO:	RESPONSABLES	PLANO:	LOCALIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN	FIRMAS:	REVISIÓN	CODIGO DE PLANO	
	Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B (entrada segunda etapa Cossio del Pomar y AA. HH. Los Médanos)- Carretera IIRSA	Dra. D. Dayana Granda Ruiz Dra. M. María Ugaz Resto	UBICACIÓN: 5°11'13",80"35"34"	DISTRITO : PIURA PROVINCIA: CASTILLA REGIÓN : PIURA		1	L-01	
	ESPECIALIDAD:		CIUDAD: PIURA, PERÚ			ESCALA	FECHA	LAMINA N°
	DISEÑO GEOMÉTRICO						NOV 2022	1

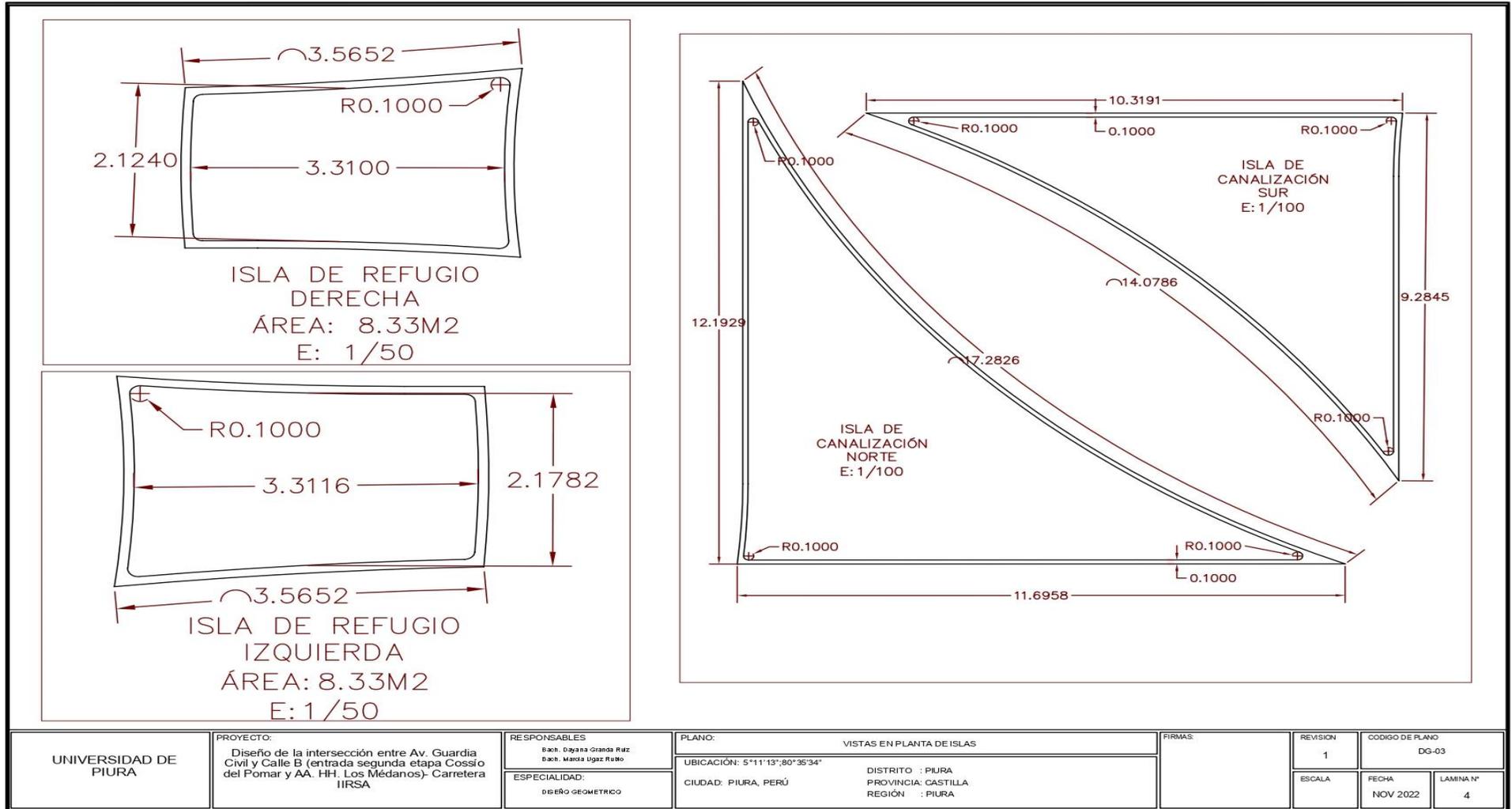
Plano C

Radios característicos en la intersección.



Plano D

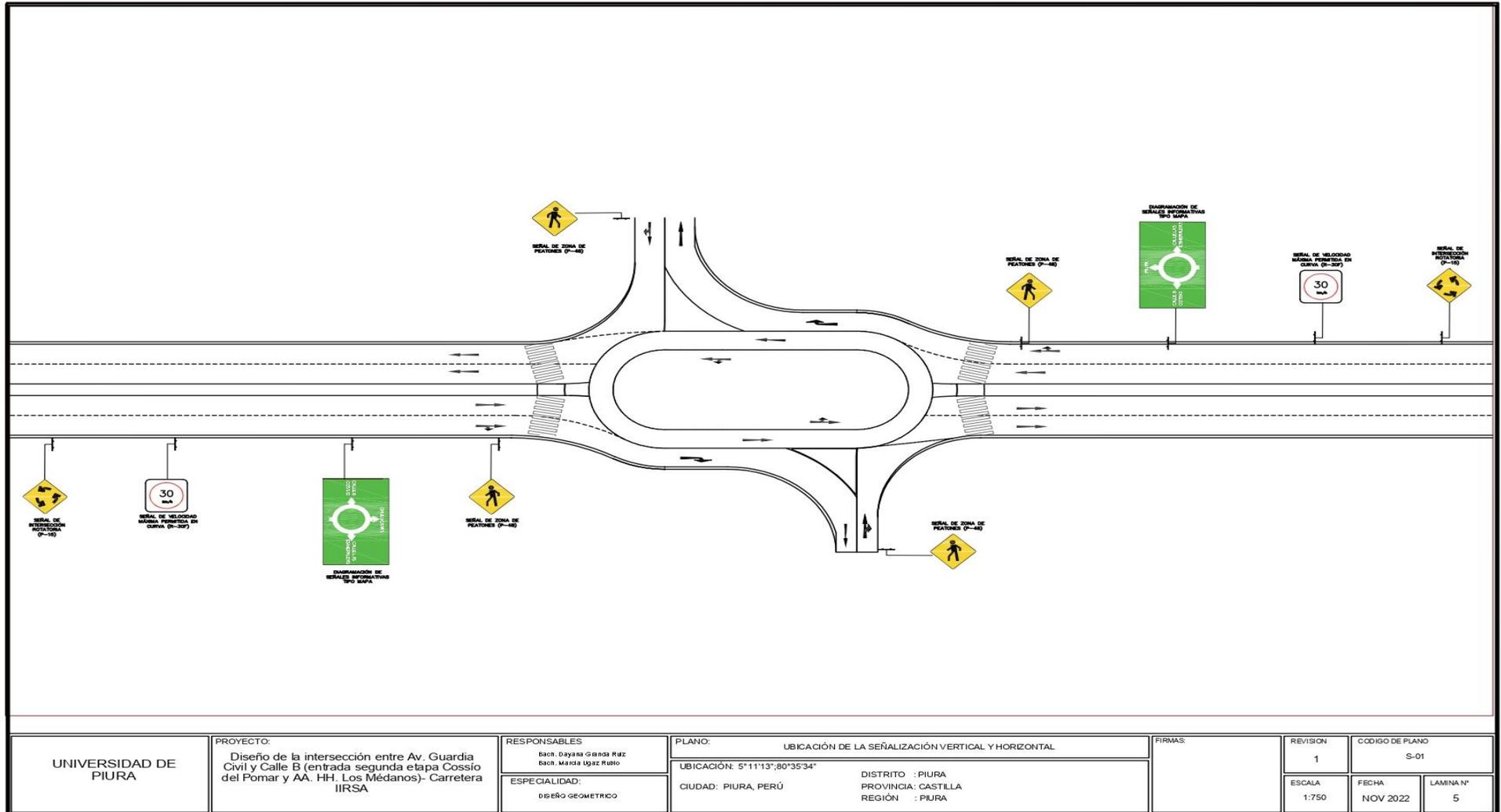
Vista en planta de islas.



UNIVERSIDAD DE PIURA	PROYECTO:	RESPONSABLES:	PLANO:	FIRMAS:	REVISION:	CODIGO DE PLANO:	
	Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B (entrada segunda etapa Cossio del Pomar y AA. HH. Los Médanos)- Carretera IIRSA	Bach. Deyana Granda Ruiz Bach. Macia Ugeux Rubio	VISTAS EN PLANTA DE ISLAS		1	DG-03	
	ESPECIALIDAD:		UBICACIÓN: 5°11'13",80"35'34"		ESCALA:	FECHA:	LAMINA N°:
	DISEÑO GEOMÉTRICO		CIUDAD: PIURA, PERÚ	DISTRITO : PIURA PROVINCIA: CASTILLA REGIÓN : PIURA		NOV 2022	4

Plano E

Ubicación de la señalización vertical y horizontal.



UNIVERSIDAD DE PIURA	PROYECTO: Diseño de la intersección entre Av. Guardia Civil y Calle B (entrada segunda etapa Cossio del Pomar y AA. Htt. Los Médanos)- Carretera IIRSA	RESPONSABLES: Bach. Dayana GARCÍA RUIZ Bach. Maíra UGAZ RUBIO	PLANO: UBICACIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL	FIRMAS:	REVISIÓN: 1	CODIGO DE PLANO: S-01
		ESPECIALIDAD: DISEÑO GEOMÉTRICO	UBICACIÓN: 5°11'13";80°35'34" CIUDAD: PIURA, PERÚ DISTRITO : PIURA PROVINCIA: CASTILLA REGIÓN : PIURA		ESCALA: 1:750	FECHA: NOV 2022