



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“SIMULACIÓN DE TRÁFICO CON EL SOFTWARE VISSIM Y
VISWALK PARA EL DISEÑO DE UN TRÉBOL DE
INTERCAMBIO VIAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA
CARRETERA PANAMERICANA SUR CON LA AVENIDA
ESTUDIANTE EN SALCEDO - PUNO -2020”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ZENaida VERONICA CHOQUE CARRASCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A DIOS, A MIS PADRES TOMAS Y VICTORIA,
FAMILIA Y AMIGOS.

Bach. Zenaida Veronica Choque Carrasco



AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la fuerza y la voluntad en todo momento en este camino del desarrollo de mi tesis.

Agradezco a mis padres Tomas y Victoria por ser fuente de apoyo incondicional.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura por haberme formado durante mi etapa como estudiante.

Agradezco a mi asesor de tesis el ing. Samuel Huaquisto Cáceres por brindarme su apoyo durante el desarrollo de tesis.

Agradecer a mis jurados, el Ing. Zenón Mellado Vargas, Ing. Jose Luis Cutipa Arapa, Ing. Silvia Leonor Ingaluque Arapa, por involucrar sus conocimientos para el término de la tesis.

Agradezco a mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura por ser una fuente de inspiración día a día.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema 13

1.2. Formulación del Problema 14

1.3. Justificación de la Investigación..... 15

1.4. Hipótesis de la investigación 16

1.5. Objetivos de la investigación..... 17

1.6. Operacionalización de variables..... 18

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación..... 19

2.2. Marco teórico..... 24

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de Investigación 75

3.2. Población y muestra de estudio para la investigación. 76



3.3. Muestreo	77
3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos de la investigación.....	79
3.5. Métodos de análisis	86

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados preliminares.....	93
4.2. Resultados del análisis del tráfico vehicular y peatonal en la rotonda para el 2022 y su proyección al año 2042.	98
4.3. Resultados del tráfico de un diseño de Trébol de intercambio vial.....	115
4.4. Resultados de la comparación del tráfico en la rotonda en el año 2022 y 2042, con el tráfico en el Trébol para el año 2042.	126
4.5. Discusión	128
V. CONCLUSIONES.....	133
VI. RECOMENDACIONES	135
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS.....	139

ÁREA: Transportes y gestión vial

TEMA: Diseño y simulación de tráfico

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 de diciembre del 2022



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables de investigación.....	18
Tabla 2. Tipos de vehículos estándar en el Perú.....	26
Tabla 3. Niveles de servicio para una intersección señalizada.....	34
Tabla 4. Velocidad de diseño.....	40
Tabla 5. Longitud mínima de secciones de entrecruzamiento.....	45
Tabla 6. Ancho de derecho de vía.....	49
Tabla 7. Ancho de calzada.....	50
Tabla 8. Anchos de berma.....	52
Tabla 9. Porcentaje de bombeo en calzada.....	53
Tabla 10. Valores mínimos de velocidades de diseño en ramales de enlace.....	55
Tabla 11. Longitud del carril de aceleración.....	56
Tabla 12. Pendientes en vía.....	57
Tabla 13. Radios mínimos en ramales de enlace.....	57
Tabla 14. Valores mínimos de velocidades de diseño en ramales de enlace.....	58
Tabla 15. Radios mínimos en unidades métricas.....	59
Tabla 16. Anchos de calzada para rampa.....	61
Tabla 17. Flujo de saturación base por carril.....	64
Tabla 18. Factor de ajuste por ancho de carril.....	64
Tabla 19. Factores de ajuste de utilización de carril.....	68
Tabla 20. Niveles de servicio de un carril en un cruce no semaforizada.....	71
Tabla 21. Aforo vehicular por día, durante una semana.....	95
Tabla 22. Aforo vehicular por hora durante una semana,2022.....	98
Tabla 23. Datos geométricos de los carriles en la rotonda existente.....	100
Tabla 24. Datos geométricos de la rotonda existente.....	100
Tabla 25. Tiempo semafórico por fase.....	102
Tabla 26. Cantidad de vehículos por tipo en la hora de mayor demanda,2022.....	103
Tabla 27. Volumen peatonal por ruta en la hora de mayor demanda,2022.....	104
Tabla 28. Velocidades de los vehículos por acceso.....	105
Tabla 29. Velocidades de los peatones por ruta peatonal.....	107
Tabla 30. Cuadro comparativo de calibración del software.....	107
Tabla 31. Tiempo de demora por ruta vehicular en la hora de mayor demanda.....	108
Tabla 32. Longitud de cola por rutas vehiculares y de la rotonda.....	109



Tabla 33. Niveles de servicio por ruta vehicular y de la rotonda.	109
Tabla 34. Volumen vehicular proyectado al 2042	111
Tabla 35. Aforo peatonal en la rotonda para el año 2042.....	112
Tabla 36 Tiempo de demora por ruta vehicular para el año 2042.	113
Tabla 37. Longitud de cola por rutas vehiculares y rotonda para el año 2042.	114
Tabla 38. Niveles de servicio por ruta vehicular para el año 2042.....	114
Tabla 39. IMDA en el año 2022 y el proyectado para el año 2042.	116
Tabla 40. Dimensiones geométricas de las vías principales del Trébol.	117
Tabla 41. Dimensiones geométricas de los enlaces del Trébol.	118
Tabla 42. Dimensiones geométricas de los Lazos del Trébol.....	119
Tabla 43. Volumen vehicular para la simulación del Trébol, en la hora de mayor demanda al 2042	122
Tabla 44. Tiempo de demora por ruta vehicular en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042	123
Tabla 45 Longitud de cola en las rutas vehiculares en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042	124
Tabla 46. Nivel de servicio de rutas vehiculares en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042	125
Tabla 47. Cuadro comparativo del tiempo de demora.....	126
Tabla 48. Cuadro comparativo de la longitud de cola.	127
Tabla 49. Cuadro comparativo del nivel de servicio	128



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de circulación en rotonda.....	25
Figura 2. Longitud de cola.....	28
Figura 3. Tipos de intercambios a desnivel	36
Figura 4. Intersección Trébol.....	37
Figura 5. Distancia de visibilidad de parada.....	42
Figura 6. Distancia de visibilidad de paso	43
Figura 7. Sección de entrecruzamiento en un Trébol.	44
Figura 8. Longitud de entrecruzamiento.....	45
Figura 9. Sección transversal para una calzada en zonas urbanas	48
Figura 10. Casos de bombeo en calzada.....	53
Figura 11. Pendiente transversal de bermas	54
Figura 12. Longitudes de carriles de desaceleración	57
Figura 13. Portada del programa Vissim	71
Figura 14. Modelo de fuerza social para peatones	73
Figura 15. Plano de ubicación del lugar de investigación	77
Figura 16. Zona de investigación de la intersección Panamericana Sur con Av. Estudiante.....	78
Figura 17. Ficha de registro del aforo vehicular por hora y día durante una semana.....	80
Figura 18. Recolección de datos de campo, realizando el aforo de vehículos.	81
Figura 19. Vista panorámica del lugar de investigación, tomada con dron.....	82
Figura 20. Ficha de registro de vehículos en una hora de mayor demanda.....	83
Figura 21. Ficha de recopilación de datos para peatones en una hora de mayor demanda.....	83
Figura 22. Ficha de entrada y salida de datos para el programa Vissim y Viswalk.	85
Figura 23. Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos y procesamiento de resultados de la investigación.	89
Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de simulación en el programa Vissim y Viswalk para la rotonda existente.....	90
Figura 25. Diagrama de flujo del proceso de simulación en el programa de Vissim y Viswalk para el Trébol.....	91
Figura 26. Vista satelital del lugar de estudio.....	94
Figura 27. Zona de investigación dentro de la red vial de Puno.....	94



Figura 28. Tipos de vehículos identificados en la intersección.	95
Figura 29. Aforo vehicular por día,2022	96
Figura30. Flujo vehicular por hora para una semana de registro, 2022	97
Figura 31. Rutas vehiculares identificadas en la rotonda existente	99
Figura 32. Medidas de los componentes de la rotonda existente.	100
Figura 33. Rutas peatonales identificadas en la rotonda existente	101
Figura 34. Ubicación de los semáforos en la rotonda existente	101
Figura 35. Volumen vehicular por ruta en la hora de mayor demanda,2022	102
Figura 36. Aforo peatonal por ruta en la hora de mayor demanda	104
Figura 37. Distancias y ubicación del lugar de registro para velocidades de vehículos.	105
Figura 38. Distancias y ubicación del lugar de registro para velocidades de peatones.	106
Figura 39. Tiempo de demora por ruta de vehicular en la hora de mayor demanda ..	108
Figura 40. Longitud cola por rutas vehiculares.	109
Figura 41. Nivel de servicio de la intersección según el programa Vissim.....	110
Figura 42. Volumen vehicular por ruta proyectado al año 2042.	110
Figura 43. Aforo peatonal por ruta peatonal para el año 2042.	112
Figura 44. Tiempo de demora por ruta vehicular proyectado al año 2042.....	113
Figura 45. Longitud de cola en la rotonda proyectado al año 2042	114
Figura 46. Nivel de servicio de la rotonda para el año 2042, con el programa Vissim.	115
Figura 47. IMDA del tráfico en el año 2022 y proyectado al 2042.....	116
Figura 48. Plano en planta del Trébol de intercambio Vial.	120
Figura 49. Imagen 3D del Trébol de intercambio vial.....	121
Figura 50. Volumen vehicular y peatonal por ruta, 2042	123
Figura 51. Demora por ruta vehicular en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042	124
Figura 52. Longitud de cola en las rutas vehiculares del Trébol en el 2042, con Vissim	125
Figura 53. Nivel de servicio del Trébol para el año 2042, con Vissim.	126
Figura 54. Comparación de los tiempos de demora.	127
Figura 55. Comparación de la longitud de cola.....	127
Figura 56. Comparación del Nivel de servicio.	128



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
DG	:	Diseño Geométrico
FHWA	:	Federal Highway Administration
IMDA	:	Índice Medio Diario Anual
PTV	:	Planung Transport Verkehr
HCM	:	Highway Capacity Manual
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
TRB	:	Transportation Research Board



RESUMEN

El tráfico es un problema del crecimiento de las ciudades en el Perú, por ello esta tesis titulada “SIMULACIÓN DE TRAFICO CON EL SOFTWARE VISSIM Y VISWALK PARA EL DISEÑO DE UN TRÉBOL DE INTERCAMBIO VIAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR CON LA AVENIDA ESTUDIANTE EN SALCEDO-PUNO - 2020”, tiene como objetivo principal mejorar las condiciones de circulación del tráfico vehicular y peatonal utilizando un programa de simulación como el Vissim y Viswalk , con la propuesta del diseño de un Trébol de intercambio vial. La metodología de la presente investigación es de tipo cuantitativo, de nivel descriptivo y con una finalidad aplicada y tecnológica, analizando primeramente la condición de tráfico actual de la intersección, de la carretera Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo – Puno, que es una rotonda y su condición de tráfico proyectada para el año 2042, proponiendo como una solución el diseño de una infraestructura en dos niveles – Trébol, obteniendo como resultado, un nivel de servicio 3 o C para el año 2022, E o 5, para el año 2042, y un nivel de servicio A con el Trébol. Los tiempos de demora fueron de 20.0 seg/veh, en la rotonda del año 2022, 91.17 seg/veh, para la rotonda en al año 2042 y 8.1 seg/veh para el Trébol. Las longitudes de cola fueron 71.44m, para la rotonda en el año 2022; para la rotonda en el año 2042 es de 217.26 m y 0.07m para el Trébol. Teniendo como conclusión que el tráfico en el año 2022 tiene un nivel de servicio regular; para el año 2042, el nivel de servicio es deficiente, y con la propuesta de la infraestructura en dos niveles tal como es un Trébol, mejora las condiciones de tráfico, llegando a ofrecer un nivel de servicio alto para el año 2042, reduciendo el tiempo de demora y longitudes de cola.

Palabras Clave: Simulación, Tráfico, Trébol, Vissim, Viswalk



ABSTRACT

Traffic is a problem of the growth of cities in Peru, for this reason this thesis entitled "TRAFFIC SIMULATION WITH VISSIM AND VISWALK SOFTWARE FOR THE DESIGN OF A ROAD INTERCHANGE CLOVERWAY AT THE INTERSECTION OF THE SOUTH PAN AMERICAN HIGHWAY WITH STUDENT AVENUE IN SALCEDO-PUNO - 2020", its main objective is to improve the circulation conditions of vehicular and pedestrian traffic using a simulation program such as Vissim and Viswalk, with the proposal of the design of a road interchange Clover. The methodology of the present investigation is of a quantitative type, of a descriptive level and with an applied and technological purpose, first analyzing the current traffic condition of the intersection, of the South Pan-American highway with the Student Avenue in Salcedo - Puno, which is a roundabout and its traffic condition projected for the year 2042, proposing as a solution the design of an infrastructure on two levels - Clover, obtaining as a result, a service level 3 or C for the year 2022, E or 5, for the year 2042, and a service level A with the Club. The delay times were 20.0 sec/veh, at the roundabout in the year 2022, 91.17 sec/veh, for the roundabout in the year 2042, and 8.1 sec/veh for the Clover. Queue lengths were 71.44m, for the roundabout in the year 2022; for the roundabout in the year 2042 it is 217.26 m and 0.07m for the Clover. Having as a conclusion that the traffic in the year 2022 has a regular service level; for the year 2042, the level of service is deficient, and with the proposal of the infrastructure in two levels such as a Clover, it improves the traffic conditions, coming to offer a high level of service for the year 2042, reducing the time delay and queue lengths.

Keywords: Simulation, Traffic, Clover, Vissim, Viswalk



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Thomson y Bull (2001), indica que a nivel mundial el problema de transporte vehicular y desplazamiento peatonal en las ciudades constituyen un problema en la fluidez del tránsito caracterizado por las demoras de los cruces, como también Aguilar (1973) señala que los problemas aparecen por el aumento del transporte privado tal como sucede en España. El creciente acceso a automóviles, el aumento del poder adquisitivo, y el mayor acceso al crédito, así como la reducción relativa de los costos de los automóviles incide en el problema de tránsito, debido a su incremento.

Según la Asociación Automotriz del Perú (AAP,2022), en el Perú, la industria automotriz creció un 3,91% en enero de 2022, debido a la creciente comercialización de vehículos pesados (camiones y tractocamiones) y ligeros (camionetas, furgonetas, todoterrenos, coches) por la gran demanda de los sectores económicos y por ende este crecimiento genera un alto tránsito de vehículos . Por otro lado el Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA,2010) señala que las infraestructuras asociadas a las redes de carreteras y a los aparcamientos que pueden provocar atascos y pérdidas económicas en términos de horas de trabajo y de ingresos de los hogares, son las que limitan el aumento del parque automovilístico.

En la ciudad de Puno, según Chique Calderón et al.(2020), el aumento de la población, del parque automovilístico, de la expansión de las zonas urbanas y del número de servicios de transporte de pasajeros contribuyen a la congestión del tráfico y a la demanda de pasajeros en horas punta, que provoca molestias y estrés tanto a los usuarios como a quienes prestan los servicios de transporte urbano y, lo que es más importante, exige mayores tiempos de viaje a los pasajeros. Para esta situación se necesita una

modificación de las rutas o una reestructuración de la redes viales actuales y paraderos, debiéndose tomar rutas alternativas para reducir la congestión en la zona urbana de la ciudad, porque si este problema persiste, se reducirá el nivel de servicio, generando un desorden de tráfico entre vehículos y peatones que circulan por la intersección por ser una zona de entrada a la ciudad de Puno desde otras provincias de la zona sur y de la localidad de Salcedo.

Por lo que se plantea para el problema, la búsqueda de una alternativa de solución para mejorar las condiciones de tránsito vehicular y desplazamiento peatonal en el cruce de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante en la Ciudad de Puno con la ayuda de los programas de VISSIM y VISWALK que permiten un análisis de vehículos, dentro del sistema actual y proyectado; proponiéndose sustentar los parámetros de circulación de un Trébol de intercambio vial que cumpla con solucionar el problema de tráfico en esta zona de la ciudad de Puno, como una solución a futuro.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Pregunta General

- ¿Cuál es la mejor alternativa para mejorar las condiciones de circulación del tráfico vehicular y desplazamiento peatonal en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, Salcedo-Puno 2022?

1.2.2. Preguntas Específicas

- ¿Cuál es la condición de tráfico vehicular y peatonal de la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiantes al 2022 y su proyección al 2042?
- ¿Cuál es la propuesta de diseño en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, que presenta la máxima eficiencia demostrada por medio de la simulación con los programas de VISSIM y VISWALK?



- ¿Cuál es la relación del tráfico actual y el deseable, obtenida mediante una simulación con los programas de VSSIM Y VISWALK?

1.3. Justificación de la Investigación

Debido a las extensas colas de vehículos que se acumulan en las principales calles de las ciudades del Perú, se manifiesta un problema en el transporte; en el caso de Puno, con 1,172 697 habitantes, es el noveno departamento más poblado del Perú y representa el 4,0% de la población del censo nacional con 29,381 884. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, [INEI] 2017); y en cuanto a su población el centro poblado de Salcedo, pasó de tener 350 habitantes en el año 1981, a 15,527 habitantes en el año 2018; por esto mismo tiene distintos equipamientos urbanos con infraestructuras como el SENATI, SENCICO, coliseo Cubierto Club del Pueblo, el Instituto Superior Tecnológico José Antonio Encinas IST «JAE», el Instituto Superior Pedagógico Puno y el Hospital Regional de EsSalud (Ccama,2021), que actualmente generan un gran movimiento de vehículos y peatones a estas instituciones. Por otro lado, basado en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno, aprobado por Ordenanza Municipal N°122-2022-C/MPP, y su plano catastral considera la creación de distintas edificaciones tales como: un mercado zonal, hospital, cementerio y estaciones de bomberos en el Centro Poblado de Salcedo, lo que involucrará mayor tránsito de vehículos y peatones (Municipalidad Provincial de Puno,[MPP] 2022), lo que nos hace ver que en esta intersección existe un creciente problema de tráfico vehicular, por lo que se proyecta una alternativa para mejorar la transitabilidad, basándose en los principios del diseño de carreteras, para que la calidad de circulación de todos los usuarios del cruce tengan un acceso más rápido a las regiones con mayor concentración de servicios fundamentales como: educación, sanidad, oportunidades de trabajo, etc., dado que el centro poblado de Salcedo en la ciudad de



Puno presenta gran crecimiento poblacional evidenciado como una zona de expansión urbana.

Por lo tanto, esta investigación se justifica porque el diseño de un Trébol implica la consideración de variables como capacidad de vía, longitud de cola, demora y calidad de servicio, las cuales permiten la simulación, considerando el diseño geométrico que debe tener, para poder estimar las demandas futuras que pueda resolver el problema de tráfico, en este caso se considera una demanda futura en 20 años, pues el crecimiento poblacional y el parque automovilístico de la ciudad es un factor decisivo en la propuesta, ya que según el plan de movilidad urbana de la (MPP, 2022b) el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Puno incrementó desde el 2005 al 2014 en un 6.8 %.

Como esta investigación abarca el uso de terrenos de la franja marginal del Lago Titicaca, en caso de ejecutarse primero se debe aprobar una ley que autorice el uso de estos terrenos, declarándolo de necesidad pública, para luego poder realizar los trámites administrativos ante las autoridades competente (ANA, Marina de Guerra, Municipio y terceros) a fin de lograr la ejecución de dicho proyecto.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis General

- La aplicación de una propuesta de diseño de un Trébol de intercambio vial usando los programas de VISSIM y VISWALK mejora significativamente las condiciones de circulación del tráfico vehicular y peatonal en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo-Puno.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- El tráfico vehicular y peatonal de la intersección de la carretera Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo - Puno, presenta un nivel de servicio medio



respecto al año 2022 y un nivel de servicio bajo respecto al 2042, con la simulación del software de VISSIM y VISWALK.

- El diseño de un Trébol en la intersección de la carretera Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo - Puno, usando los softwares de VISSIM y VISWALK, cumple con los parámetros de tráfico deseado para presentar un nivel de servicio alto.
- La propuesta del diseño de un Trébol mejora significativamente el tráfico de la rotonda existente con respecto al año 2042 de la intersección de la carretera Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo - Puno.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo General

- Mejorar las condiciones de circulación del tráfico vehicular y desplazamiento peatonal usando una simulación con los programas de VISSIM y VISWALK, con la propuesta de un diseño de Trébol de intercambio vial en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo -Puno.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar el tráfico vehicular y peatonal al 2022 y su proyección al 2042 de la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiantes en Salcedo - Puno, usando los programas de VISSIM y VISWALK.
- Proponer el diseño de un Trébol en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiantes usando los programas de VISSIM y VISWALK.
- Comparar mediante una simulación con los programas de VISSIM y VISWALK el tráfico en la rotonda existente, con el tráfico deseable del Trébol propuesto, respecto al año 2042 en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante.

1.6. Operacionalización de variables

Tabla 1.
Operacionalización de las variables de investigación.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	INSTRUMENTOS
VARIABLE 1: Tráfico	Es la representación actual de la realidad de la circulación de personas y vehículos con la herramienta de simulación del software Vissim y Viswalk.	Capacidad de carril	Geometría	m	Ficha de registro
			Tiempo semafórico	seg	
			Aforo vehicular y peatonal	veh	
			Velocidad de vehículos y peatones	km/h	
VARIABLE 2: Diseño de un Trébol de intercambio vial	Es el diseño geométrico de una infraestructura de dos niveles, conocido como un Trébol de 2 hojas o Trébol parcial.	Demora	Tiempo	seg	Fichas de entrada y salida
		Cola	Longitud	m	
		Servicio	Nivel de servicio	Escala	
VARIABLE INTERVINIENTE: Software Vissim y Viswalk	Es un programa de microsimulación de tráfico microscópico, estocástico, multipropósito y basado en el comportamiento útil para modelar proyectos de transportes.	Diseño geométrico	IMDA Medidas de diseño	veh/día m	Fichas de reporte de propuesta

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zapardiel y Quezada (2015); presenta la tesis titulada: “Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Amparo Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim”, a la Facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena, para optar el grado académico de ingeniería civil. Su **objetivo** fue utilizar el software PTV VISSIM para simular las circunstancias actuales y proyectadas del tránsito vehicular, con el fin de sugerir un enfoque diferente para elevar la calidad del servicio del sector, los autores utilizaron un **tipo de investigación** descriptiva y cuantitativa, para lo cual utilizaron los datos de campo y un análisis en el laboratorio, con base a la información desarrollada en campo y el software PTV VISSIM, como **resultado** se obtuvo longitudes de cola de 375m y 327.96m como máximo, generando un error de 14.34% de longitud de cola con respecto al obtenido en campo, por otro lado, la calidad de servicio fue clasificado por el aforo de vehículos por hora (veh/h), siendo un nivel de servicio F con un volumen de 1575 veh/h y con 1208 veh/h un nivel de servicio C. **Concluyendo** que los autobuses tienen un impacto en la velocidad del transporte público que se detenían en cualquier lugar de la carretera, incluso cuando la señal estaba en verde, provocando extensas filas y demoras que definen la intersección de La Plazuela SAO con un nivel de servicio F (pobre), que se representa en baja movilidad y tiempos de espera prolongados. También descubrieron que el comportamiento irresponsable de las motocicletas impedía el transporte de otros vehículos. La alternativa de solución fue realizar una simulación utilizando previsiones a 20 años, que produjeron los resultados menos favorables, indicando reducciones en la longitud de cola y los tiempos de espera, lo que llevó a niveles



de servicio más altos para esta intersección. El valor de este estudio es relativamente aceptable, puesto que el uso de las técnicas e instrumentos contruidos propios para este estudio son rescatables.

Acosta & Pardo (2016) en su tesis “Análisis de la influencia de la maniobra de trenzado sobre la capacidad y nivel de servicio en algunas rotondas en la ciudad de Bogotá D.C” Presentada a la Universidad de la Salle, para optar el título profesional de ingeniería civil, tiene como uno de sus **objetivos**: estudiar la capacidad de cada rotonda, el flujo de tráfico y el grado de servicio. La **metodología** consistió en realizar tres grabaciones de cada rotonda por un periodo de dos horas, de 8 a 10 de la mañana, incluyendo todas sus entradas y salidas, luego se realizó los aforos de los vehículos que se dividieron en vehículos ligeros y pesados, incluidos camiones y autobuses, y se clasificaron por maniobras (la trayectoria seguida en la glorieta) y el carril por el que cada vehículo entraba y salía de la glorieta, luego se empleó un tipo de metodología sugerida por el HCM 2010 para obtener el nivel de servicio, flujo vehicular y capacidad de las rotondas. Se tuvo los siguientes **resultados**: dado que la mayoría de los valores de control de demora están entre 0 y 10 seg/veh, la glorieta de la avenida Calle 63 y Carrera 50, que tiene tres brazos, pero no tiene semáforos, tiene un nivel de servicio en sus entradas calificado como A. Llegando a la **conclusión** que para todas las rotondas sin semáforo se reduce el tiempo de demora por omitir el tiempo que se gasta en las maniobras de trenzado, mejorando la calidad del servicio, ya que la reducción de los tiempos de viaje se traduce en una conducción más cómoda. Además, constata que incluso cuando se reduce el tiempo de retraso de los vehículos por las maniobras ilegales, el 53% de los vehículos en las rotondas con semáforos en el anillo de circulación siguen sin pasar la intersección. Este antecedente es importante para esta investigación porque permite conocer la capacidad operacional que tiene una rotonda semaforizada y no semaforizada.



2.1.2. Antecedentes Nacionales

Romero (2019), en su tesis titulada “Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las intersecciones a desnivel”, presentada a la Universidad de Piura, para optar el título profesional de ingeniería civil; tiene como **objetivo** el análisis y diseño según el manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, en lo que respecta intercambios a desnivel, tal como un Trébol de dos hojas. Para ello se procedió con la siguiente **metodología**: el intercambio vial de la Vía Panamericana Norte-Vía de Evitamiento Sur Piura fue diseñado en base a las normas del MTC, AASHTO y Austroads después de realizar un estudio de tráfico para conocer los volúmenes de demanda actuales; utilizando estos datos y la técnica del HCM 2010, se incluyó el análisis operativo, dando como **resultado** un nivel de servicio A para toda la infraestructura con un tiempo de demora de 9 segundos por vehículo y longitudes de cola entre 0.055 m y 0.093 m. Llegando a la **conclusión** de que es esencial tener en cuenta el funcionamiento y la seguridad durante el diseño. Este antecedente es necesario para comparar las dimensiones del intercambio vial que emplea esta investigación, además de ser fuente para el análisis del nivel de servicio del Trébol de dos hojas.

Para Alvarez (2017), en su tesis de grado, “Micro simulación intermodal en la Ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8”, a la Pontificia Universidad Católica del Perú, para optar el título profesional de ingeniería civil. Se tuvo como **objetivo**: crear un modelo microscópico para analizar y evaluar las circunstancias del tráfico intermodal en un cruce de Cusco. Dando como **resultado** que en hora punta, 32 automóviles se estacionan en el acceso de la avenida San Martín, creando una fila de 127 metros de largo y la avenida El Sol tiene la cola más corta, ya que sólo mide 16 metros y corresponde a unos 4 automóviles. En la intersección estudiada, la velocidad media de circulación era de 21 km/h por vehículo. Sin embargo, la velocidad media de



los usuarios peatonales fue de 2,5 km/h. y la demora media más importante fue de 35,62 segundos (desde la Av. El Sol hasta la Av. Tullumayo). Por lo que se **concluye** que, según el estudio el funcionamiento de la zona no es adecuado debido a la lentitud del movimiento de los vehículos que circulan por la intersección.

2.1.3. Antecedentes locales

Chura (2018), sustenta la tesis “Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los incas y Av. la Torre, Puno”; con la finalidad de optar el título profesional de ingeniero civil, cuyo **objetivo** fue: mejorar el estado de circulación para todos los usuarios, especialmente los peatones, en el cruce de las avenidas Oquendo, Tacna, Los Incas y La Torre, en Puno; con una **metodología** de enfoque cuantitativo, que inicia con una revisión literaria, recolección de datos y análisis de información que se desarrolla primero con la recopilación de datos de campo, que consta de técnicas manuales y filmaciones; extracción de la información de los videos, construcción de la red VISSIM y VISWALK, calibración y validación del modelo, corridas del modelo y finalmente con un análisis estadístico de resultados, de los parámetros vehiculares y peatonales en los jirones, Tacna, Oquendo, cuyos **resultados** es que en el jirón los Incas y Av. La Torre; las demoras obtenidas oscilan entre 15,59 y 20,49 segundos/veh, con una media de 18,33 segundos/veh. La velocidad media de los peatones es de 3,19 km/h, aunque puede oscilar entre 3,13 y 3,23 km/h. El recorrido de un peatón dura una media de 54,44 segundos y puede variar entre 53,56 y 55,82 segundos. La investigación **concluye** con la modificación de la geometría de la intersección, tal como, reducción del número y la anchura de los carriles, supresión de zonas de aparcamiento, ampliación de las aceras, reubicación o eliminación de obstáculos, reubicación de los pasos de peatones y de los bordes de las esquinas, implementación dos paraderos mediante canalización y protección: colocación de rejas y bolardos, con reparación de calzadas y veredas, rediseño



de rampas, restricción de flujo e implementación de señales de control. Este antecedente es importante para esta investigación porque también utiliza el mismo programa de VISSIM y VISWALK; con la misma metodología que utiliza esta investigación.

Mamani y Chura (2016), en su tesis “Diseño de intercambio vial a desnivel en las intersecciones de la carretera Panamericana Sur y la avenida Estudiante de la ciudad de Puno” presentada a la Universidad Nacional del Altiplano, para optar el título profesional de ingeniero Civil. Los autores presentaron como **objetivo** la creación de un intercambio en forma de trompeta para descongestionar el tráfico y dar seguridad y comodidad a los vehículos que utilizan el camino para llegar al Centro Poblado de Salcedo-Puno y la carretera Panamericana Sur. La **metodología** que usó se apoya al estudio topográfico y empleando los programas de cómputo se diseñó la geometría de las vías, diseño estructural del pavimento, estudio hidrológico y calculo estructural del puente, dando como **resultado** el diseño del intercambiador, que incluye un lazo, tres ramas de intercambio directo, una vía secundaria y una vía principal, cumpliendo con la norma del DG-2014, y que presenta las siguientes características geométricas: Para la vía principal (Desaguadero-carretera Puno) calzadas divididas de 7.20m, con un separador central de 1.0 m, bermas interiores de 0.50m y exteriores de 1.50 m, con un gálibo de 5.50m y en los ramales directos: una calzada de 4.30 m, con bermas de 0.50 m. y el ramal predominante a la entrada tiene una calzada de 4 m, y una berma de 1.20 m. la unión tiene una calzada de 4 m, con bermas de 1.20 m, y el puente presenta una sección de 9.50 m con dos carriles de 4.0 m cada uno y dos aceras de 0.75 m a ambos costados con barandas de 1.20 m. **Concluyendo** que con un flujo máximo de 172 vehículos mixtos por periodos de 15 min en el sentido Puno-Desaguadero, se seleccionó el tipo trompeta de entre todas las opciones propuestas en la DG-2014 para los cruces de paso elevado de tres ramales. Este tipo es más frecuente en la entrada y consta de tres ramales y un cruce. Este antecedente



es importante porque se ubica en el lugar de estudio de la presente investigación, proponiendo una solución del mismo nivel y utilizando de forma similar la metodología.

2.2. Marco teórico

2.2.1. De la variable 1: Tráfico

Es la circulación de personas en un sistema de un espacio público, que se manifiestan físicamente por medio de viajes con o sin vehículos que, según la calidad de esa circulación del transporte, se generarán impactos sobre los usuarios del sistema y sobre su entorno tal como indica (Fernández A, 2011).

También se denomina tráfico a los fenómenos producidos por la circulación de vehículos en una calle, carretera o autopista, por lo tanto, el tráfico estudia los tres factores principales que componen el flujo de vehículos, tales como flujo, velocidad y densidad, que representan las propiedades esenciales del flujo de vehículos, estos tres factores pueden utilizarse para determinar el nivel de servicio que reciben los clientes de cualquier sistema vial. (Mozo Sánchez, 2012).

2.2.2. Factor de Hora Pico (FHP)

Este factor debe tomarse durante un período de 15 min que ocurre dentro del período de 1 hora. Luego se aplica este factor individualmente a cada movimiento de tráfico, los valores de este factor suelen oscilar entre 0,80 a 0,95. Se usa principalmente para una planificación de análisis cuando se proporciona un volumen por hora de pronóstico con un análisis del pico y se busca un periodo de 15 min.

$$PHF = \frac{n_{60}}{4n_{15}} \quad (1)$$

Donde:

PHF: Factor de hora pico

n_{60} : Conteo de vehículos durante un periodo de 1 hora

n_{15} : Conteo de vehículos durante el periodo de 15 min pico

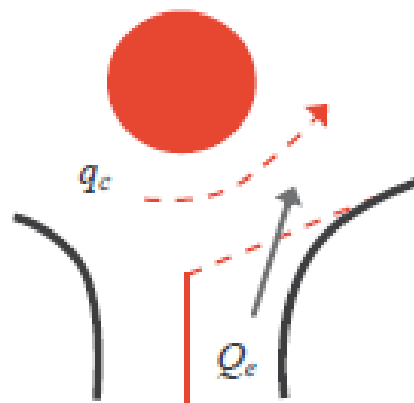
2.2.3. Capacidad de vía

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018), es el mayor número de vehículos que pueden circular por un tramo de carretera en un tiempo determinado, expresada como un volumen horario y cuyo valor es según las condiciones de tránsito que prevalezcan sobre la vía.

También puede describirse como el mayor número de coches que pueden pasar por un espacio determinado de la carretera en un tiempo establecido, dado el volumen de tráfico actual y según Fernández A, (2011), la capacidad de acceso de una glorieta dependerá únicamente del flujo que circule por delante de ella, denominado flujo circulante, que se ve en la Figura 1, en línea punteadas.

Figura 1.

Flujo de circulación en rotonda.



Nota: Adaptado de Capacidad de rotondas (p.88), por Fernández A, 2011.

Según (Transportation Research Board; National Academies of Sciences, Engineering [TRB], 2010). El TRB que en español significa Junta de Investigación de Transporte, menciona que la capacidad de vía de un acceso depende del nivel de saturación por grupo de carriles, duración de la luz verde para un grupo de carriles o un acceso y de la duración del tiempo total del ciclo semafórico.

El nivel de saturación base por grupo de carriles, el número de carriles en el grupo de carriles, el ajuste por la anchura del carril, el ajuste por los vehículos pesados, el ajuste

por la pendiente del carril, el ajuste por la presencia de un carril de estacionamiento y las actividades de estacionamiento junto al grupo de carriles, el ajuste por el bloqueo de autobuses, el ajuste por el tipo de zona, el ajuste por la presencia de vehículos que giran a la derecha e izquierda en el grupo de carriles, el ajuste por la presencia de peatones y bicicletas que giran a la derecha e izquierda y el ajuste por la presión del tráfico afectan al nivel de saturación del acceso o grupo de carriles.(TRB, 2010)

a) Grado de Saturación:

Según Fernández A, (2011), es la relación que existe entre el flujo vehicular, que es la demanda de tráfico, y la capacidad de vía, que vendría a ser la oferta.

Cuanto mayor sea el valor el grado de saturación, más congestionado estará la vía y mayores serán las longitudes de cola y demoras para los vehículos, cuya clasificación en el Perú pueden ser vehículos ligeros y vehículos pesados o de carga, tal como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2.
Tipos de vehículos estándar en el Perú

Tipo	Características	Descripción
Vehículo Ligero	Auto	Automóvil
	Station Wagon	Station Wagon (colectivos)
	Pick up	Camioneta 4 x 4 con tolva para carga
	Camioneta panel	SUV (camionetas carradas 4 x 4)
	Camioneta rural	Combi
	Microbús	Coster y Micro livianos
Vehículo Pasado o de Carga	Bus	Buses de 2 y 3 ejes
	C2	Camión de 2 ejes (2 ejes simples)
	C3	Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble)
	C4	Camión de 4 ejes (1 eje simple y 1 eje triple)
	8 x 4	Camión de 2 ejes (2 ejes dobles)
	T2S1 (2S1)	Semi tráiler (3 ejes simples)
	T2S2 (2S2)	Semi tráiler (3 ejes, 2 simples y 1 eje doble)
	T2S3 (2S3)	Semi tráiler (3 ejes, 2 simples y 1 eje triple)
	T3S2 (3S2)	Semi tráiler (3 ejes, 1 simples y 2 ejes dobles)
	T3S3 (3S3)	Semi tráiler (3 ejes, 1 simple, 1 eje doble y 1 eje triple)
C2R2 (2T2)	Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes simples)	



Tipo	Características	Descripción
	C3R3 (2T3)	Tráiler (Camión C2 + carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble)
	C3R2 (3T2)	Tráiler (Camión C3 + carreta de 2 ejes simples)
	C3R3 (3T3)	Tráiler (Camión C3 + carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble)

Fuente: MTC (2003)

2.2.4. Demora

Es la cantidad de tiempo que un vehículo tarda en ir de un lugar a otro cuando hay mucho tráfico, lo que puede ocurrir en una intersección o debido a una congestión. Estos dos tipos de demora representan un tiempo perdido o no productivo, convirtiéndose en una pérdida monetaria. (Zapardiel & Quezada ,2015)

Demoras por Congestionamiento: Cuando un vehículo viaja por debajo de la velocidad crucial, pierde tiempo adicional. Esto se debe a los coches aparcados, a las vías extremadamente congestionadas y al tráfico intenso. (Zapardiel & Quezada ,2015)

Demoras por Intersección: A menudo se evalúa para valorar diversas consecuencias, como: Diseño geométrico de los cruces y tipos de control por el tiempo perdido debido al retraso producido por todas las aproximaciones a un cruce específico.(Zapardiel & Quezada ,2015)

2.2.5. Cola

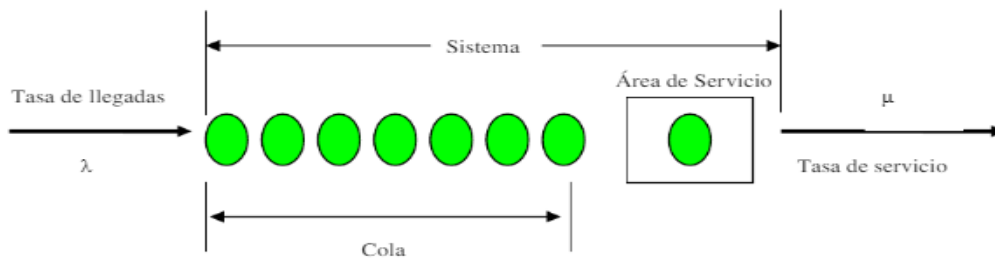
Las colas son un fenómeno asociado a un problema de tránsito, que se presenta en rampas de ingreso hacia autopistas, acceso a intersecciones señalizadas o no señalizadas, en zona de incidencias o cierres eventuales de un carril o calzada, etc. (Pesántez Jiménez, 2014)

Según Timana (2002), En la zona conocida como "área de servicio", se forma una cola a medida que los elementos llegan para esperar un servicio. Este servicio puede consistir en presentarse en un hueco o intervalo libre adecuado para entrar en un flujo mayor de coches, esperar el turno de pago de la estación de peaje, esperar para entrar en

una plaza de aparcamiento de pago, etc. Este servicio puede ofrecerse en un carril o en varios. La longitud de cola se analiza al describirse total y detalladamente y pueda medirse, puede ser de vehículos y/o personas, tal como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2.

Longitud de cola



Nota: Adaptado de Colas infinitas (p.06), por Timana, 2002.

2.2.6. Nivel de servicio

Según el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG,2005) en diseño de vías urbanas, el nivel de servicio se considera una variable cualitativa que refleja cómo perciben los usuarios la carretera y cómo funciona el flujo de vehículos en esas condiciones. Tanto los factores internos como los externos pueden influir en el nivel de servicio; las consideraciones internas incluyen cambios en la velocidad, el volumen, la distribución del tráfico, los intercambios, los movimientos direccionales, etc. Las cualidades externas, como el ancho de los carriles, el espacio libre lateral, el ancho de los arcenes, las pendientes, etc., son ejemplos de influencias externas.

Desde la más alta categoría de servicio hasta la más baja, esta medida cualitativa se califica en una escala de la A a la F, correspondiendo a cada nivel las siguientes características principales de funcionamiento:

NIVEL A: Cumple los requisitos de la libre circulación de vehículos. Los movimientos de los vehículos son independientes unos de otros y están únicamente influidos por la geometría de la carretera y las elecciones que toma el conductor. En esta calidad de servicio, el conductor goza de comodidad física y mental. Las interrupciones



son lo suficientemente pequeñas, así como para no realizar la alteración en la velocidad del tráfico. (MTC, 2018).

NIVEL B: Indica buenas condiciones de tráfico, aunque el tráfico más lento puede ralentizar el tráfico más rápido. Aunque los conductores tienen menos espacio para moverse, la velocidad media de circulación sigue siendo la misma que en el nivel A. Existen soluciones más sencillas para las perturbaciones menores (MTC, 2018).

NIVEL C: En este nivel, el ajuste de la velocidad viene determinado por el impacto de la concentración del tráfico en la circulación de vehículos. La presencia de grupos de automóviles restringe la movilidad y las posibilidades de adelantamiento. La libre circulación se verá reducida en las carreteras de varios carriles con un tráfico que se desplaza por encima de los 80 km/h sin detenerse por completo. Los pequeños contratiempos podrían dar lugar a una disminución local de la calidad del servicio, mientras que los grandes atascos darían por resultado esperas de los vehículos (MTC, 2018).

NIVEL D: La congestión del tráfico limita gravemente la capacidad de maniobra y puede provocar la paralización del tráfico. Debido al aumento de la densidad de vehículos, se forman colas que dificultan el paso de otros vehículos, reduciendo la velocidad de desplazamiento. Sólo las pequeñas interrupciones pueden arreglarse sin crear colas ni degradar el servicio (MTC, 2018).

NIVEL E: La cantidad de tráfico en la carretera está casi en su máxima intensidad. Para mantener una velocidad de circulación constante, los vehículos se mueven con un espacio mínimo entre ellos. Cuando las interrupciones no terminan enseguida y provocan regularmente colas, el nivel de servicio desciende al nivel F. Los vehículos desarrollan velocidades más bajas e imprevisibles en las carreteras de diversos carriles con velocidades de flujo libre entre 70 y 100 Km/h (MTC, 2018).

NIVEL F: En este punto, el tráfico es forzado y extremadamente concurrido, y la demanda de vehículos en movimiento supera la capacidad de la carretera. Cuando esto ocurre, se forman colas mientras se mueve lentamente durante un rato antes de detenerse. Cabe destacar que el nivel F describe tanto el punto de desplome como las circunstancias de funcionamiento de la cola (MTC, 2018).

2.2.7. Capacidad Operacional de la Rotonda

La capacidad operacional determina el desempeño de una rotonda y según lo expuesto por Reyes & Cárdenas (1994) bajo las condiciones actuales de la infraestructura vial, el tránsito y los dispositivos de control, es el mayor número de vehículos que puede esperarse razonablemente que pasen por un lugar uniforme o parte de un carril o vía durante un determinado intervalo de tiempo. El estudio de la capacidad permite medir la eficacia del funcionamiento y determinar la calidad de servicio (LOS).

La capacidad operacional de una rotonda semaforizada se construye de la siguiente manera:

2.2.7.1. Tiempo de ciclos de semáforo

Del TRB (2010), se trata de tomar los periodos de ciclo de los semáforos que se encuentran en las rotondas y separar los tiempos de los semáforos en rojo y en verde, así como el total de ambos.

2.2.7.2. Longitud de ciclos y cantidad de verdes

Del TRB (2010), “Consiste en obtener la longitud total de cada ciclo del semáforo”, por tanto se emplea la siguiente ecuación:

$$C = r + V \quad (2)$$

Donde

C= Longitud de ciclo o tiempo (seg)

r= Tiempo de luz roja (seg)

V= Tiempo de verde efectivo (seg)

2.2.7.3. Aforo de vehículos en un ciclo de verde efectivo

Del TRB (2010), consiste en un conteo de vehículos livianos y pesados que pasan por un carril en un tiempo de verde efectivo.

2.2.7.4. Ajuste de tasas de flujos para vehículos pesados

Del TRB (2010), la tasa de flujo por movimiento es ajustada para generar una equivalencia entre vehículos, porque los vehículos pesados tienen características diferentes a los vehículos livianos, el factor de ajuste es de la siguiente forma:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + (E_T - 1)} \quad (3)$$

Donde:

f_{HV} : Factor de vehículo pesado ajustado

P_T : Proporción de volumen de demanda que consiste en vehículos pesados.

E_T : Vehículos livianos equivalente a vehículos pesados

2.2.7.5. Flujo de saturación ideal

Del TRB (2010), El flujo de saturación, es el flujo ideal que se produce durante una hora de conteo, ya que el flujo óptimo es de 1800 vehículos livianos por hora de luz verde, la cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Veh/h}{seg} \quad (4)$$

Donde:

S= Saturación veh/ seg.

Veh/h = Ideal de vehículos en una hora (1800 veh/h).

Seg = 3600 segundos en una hora.

2.2.7.6. Tasa media de llegadas

Del TRB (2010), es el número máximo de vehículos que pasan durante una hora verde efectiva, para lo cual se utiliza la ecuación:

$$\gamma = \frac{veh_{carril}}{seg} \quad (5)$$

Donde:

γ = Tasa media de llegadas (veh/ seg).

veh_{carril} = Vehículos que pasan en una hora de verde efectivo.

Seg = 3600 segundos en una hora.

2.2.7.7. Intensidad del transito

Del TRB (2010), es la relación que existe entre la tasa media de llegada y el flujo de saturación.

$$\rho = \frac{\gamma}{s} \quad (6)$$

Donde:

ρ = Intensidad del tráfico

γ = Tasa media de llegada (veh/seg)

S= Flujo de Saturación

2.2.7.8. Longitud máxima de cola

Del TRB (2010), es la longitud de cola máxima que se produce cuando culmina el tiempo en luz roja, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Qm = \gamma r \quad (7)$$

Donde:

Qm = Longitud máxima de cola (veh)

γ = Tasa media de llegada (veh/seg)

r = Tiempo del ciclo en rojo (seg)

2.2.7.9. Demora

Del TRB (2010), la demora permitirá clasificar la intersección según un nivel de servicio, y obtiene con la siguiente ecuación:

$$d = \frac{r^2}{2c(1 - \rho)} \quad (8)$$

Donde:

d = Demora (s/veh)

r = Tiempo del ciclo en rojo (seg)

ρ = Intensidad del tráfico

C = Duración de ciclo (seg)

2.2.7.10. Capacidad ideal efectiva

Del TRB (2010), la capacidad ideal efectiva es la relación que existe entre tiempo verde efectivo y con el flujo de saturación ideal considerando este como 2 segundos por vehículo en atravesar el punto de semáforo, Obteniéndose de la siguiente manera:

$$C_{ideal} = \frac{V}{2} \quad (9)$$

Donde:

C_{ideal} = Capacidad ideal efectiva (veh/seg)

2.2.7.11. Relación volumen - capacidad

Del TRB (2010), es la relación de los vehículos por carril que circula en un tiempo de verde efectivo dividido por la capacidad ideal:

$$v/c = \frac{veh_{carril}}{C_{ideal}} \quad (10)$$

Donde:

v/c = Relación volumen – capacidad.

C_{ideal} = Capacidad ideal (veh/ seg).

veh_{carril} = Vehículos por carril (veh/seg)

Luego de obtener el valor de demora y la relación de volumen – capacidad se obtiene el nivel de servicio de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3.

Niveles de servicio para una intersección señalizada.

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

Fuente: TRB (2010)

2.2.8. De la Variable 2: Diseño Geométrico del Trébol

Según Cárdenas (2013), el diseño geométrico consiste en la elaboración y propuesta de alternativas para solucionar el problema de tráfico, es la configuración geométrica tridimensional de una vía, Debe ser práctico, seguro, acogedor, visualmente bello, barato y respetuoso con el medio ambiente.

Funciona de acuerdo con el tipo, las características geométricas y los volúmenes de tráfico de tal manera que proporciona una movilidad suficiente a través de una velocidad de funcionamiento aceptable.

La vía es segura cuando su diseño geométrico es simple, uniforme y consistente.

Al adaptar las curvaturas y transiciones de la geometría a las velocidades de funcionamiento que los conductores eligen en las partes rectas, la carretera se hace cómoda hasta el punto de disminuir las aceleraciones del vehículo.

La vía es estética si al adaptarla al paisaje, permite generar una vista agradable.

Cuando una carretera satisface los objetivos mencionados y ofrece el menor coste potencial tanto de construcción como de mantenimiento, se considera que es económica.



También es respetuoso con el medio ambiente, cuando se adapta a la topografía, los usos del suelo y el valor de la tierra de la zona y trabaja para disminuir o compensar cualquier efecto negativo sobre el medio ambiente.

Según Bañón y Beví (2000), las vías urbanas se interconectan mediante enlaces o cruces, ya sea al mismo nivel o a niveles distintos, para formar un sistema. La región que comparten las vías se denomina intersección cuando el cruce se produce al mismo nivel, mientras que se produce un intercambio cuando lo hace a un nivel diferente.

Según el MTC (2018), un intercambio vial de carreteras es un diseño geométrico que permite el cruce de dos o más carreteras, vías férreas o vías ciclistas, permitiendo que los coches realicen todos los movimientos posibles para pasar de una ruta a otra con el menor número de puntos conflictivos. Para ampliar la capacidad o el nivel de servicio en cruces muy transitados y con poca seguridad vial, se construyen pasos elevados.

2.2.8.1. Clasificación y tipo de intersecciones a desnivel

En el Perú, el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, norma que fue aprobada con la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14 del 30 de enero de 2018, regula el diseño geométrico de las vías rurales y urbanas para el tránsito vehicular y según el DG- 2018 los intercambios a desnivel se clasifican en intercambios de tres y cuatro ramas, tal como se desarrolla en la Figura 3.

Figura 3.
Tipos de intercambios a desnivel

DE CUATRO RAMAS				DE TRES RAMAS	
DE LIBRE CIRCULACION		CON CONDICIÓN PARADA		DIRECCIONAL	TROMPETA
OTROS	TRÉBOL COMPLETO	DIAMANTES	TRÉBOL PARCIAL		

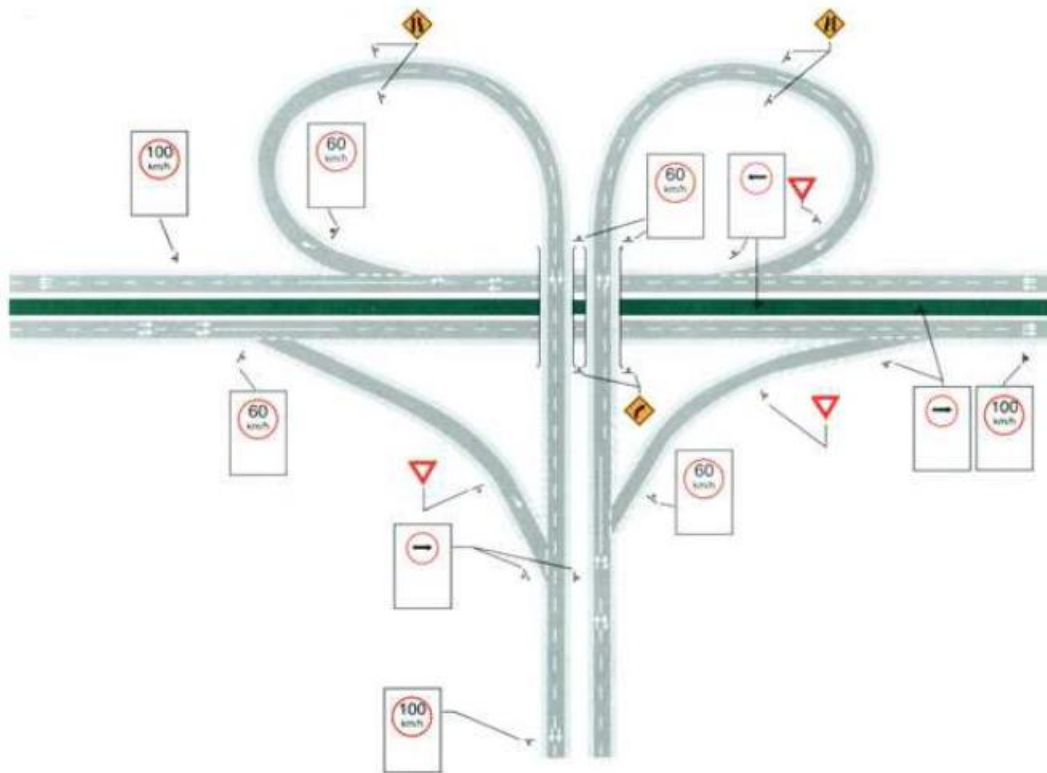
Nota: Adaptado de Tipos de intersecciones a desnivel (p.247), por MTC ,2018

Intercambios de Tres ramas: cuando una carretera se une a otra, perdiendo la continuidad a partir de entonces, puede desarrollarse un intercambio de tres ramales. Algunos ejemplos son los de tipo "T" de trompeta, las intersecciones direccionales "T" y las intersecciones direccionales "Y" (MTC,2018).

- Intercambios de 04 Ramas con condición de parada: tipo Diamante - Clásico, Partido y Trébol Parcial (2 cuadrantes) (MTC,2018).
- Intercambios de 04 Ramas de Libre Circulación: Tipo Trébol Completo (4 cuadrantes), Rotatorios, omnidireccionales, Turbina y de más de Cuatro Ramas (MTC,2018).

Según el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor en Calles y Carreteras, para intersecciones Trébol, considera sus respectivos dispositivos de control de tránsito, por motivos de señalización y seguridad vial, en el intercambio vial tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.
Intersección Trébol



Nota: Adaptado de Dispositivos en intersecciones Trébol (p.603), por MTC , 2000.

El diseño de intercambios a desnivel se desarrolla en el capítulo 5, Sección 503. del DG – 2018, lo cual se realiza a partir de los estudios de tráfico.

2.2.8.2. Índice Medio Diario Anual - IMDA

Según el MTC (2018), El Índice Medio Diario Anual (IMDA), que se obtiene a partir de los recuentos volumétricos, la clasificación de los vehículos en el campo a lo largo de una semana y un factor de corrección que aproxima el comportamiento anualizado del tráfico de pasajeros y de mercancías, es una medida de la cantidad de tráfico de vehículos en un tramo determinado de la red de carreteras en un año.

El IMDA se obtiene de la multiplicación del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y el Factor de Corrección Estacional (FC).

$$IMDA = IMDS \times FC \quad (11)$$

Donde:



IMDS: Índice Medio Diario Semanal o Promedio de Tráfico Diario Semanal.

FC: Factor de Corrección Estacional.

El Índice Medio Diario Semanal (IMDS) se obtiene a partir del volumen de tráfico diario registrado por tipo de vehículo en un tramo de la red vial durante 7 días.

$$IMDS = \frac{\sum V_i}{7} \quad (12)$$

Donde:

V_i : Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días de conteo volumétrico.

2.2.8.3. Diseño de Vías Principales

2.2.8.3.1. Clasificación de la vía

A. Clasificación por demanda

Autopistas de Primera Clase: Las carreteras en cuestión deben tener un IMDA (Índice Medio Diario Anual) de al menos 6.000 vehículos al día, estar divididas en tramos por un separador central de al menos 6,00 m, tener dos o más carriles de al menos 3,60 m de ancho, tener un control total sobre las entradas y salidas que proporcionen flujos vehiculares continuos, estar desprovistas de cruces o pasos a nivel y tener puentes peatonales en las zonas urbanas (MTC, 2018).

Autopistas de Segunda Clase: Son vías con una IMDA de entre 6.000 y 4.001 vehículos diarios, con calzadas divididas por un separador central que puede oscilar entre 6,00 m y 1,00 m, en cuyo caso se instalará un sistema de contención de vehículos; cada una de las calzadas debe tener dos o más carriles de al menos 3,60 m de ancho, con control parcial de accesos (entradas y salidas) que proporcionen flujos vehiculares continuos; pueden tener cruces o pasos vehiculares a nivel y puente peatonal (MTC, 2018).

Carreteras de Primera Clase: Son vías con una IMDA de 4.001 a 2.001 vehículos diarios con una calzada mínima de dos carriles y 3,60 m de ancho. Pueden tener cruces vehiculares o a nivel, y se recomienda en las áreas metropolitanas contar con puentes



peatonales o, en su defecto, con sistemas de seguridad vial que permitan velocidades de operación más rápidas (MTC, 2018).

Carreteras de Segunda Clase: Son vías de dos carriles con una anchura mínima de 3,30 metros y un IMDA de entre 2.000 y 400 vehículos diarios. Pueden tener cruces vehiculares a nivel, y se recomienda en las áreas metropolitanas contar con puentes peatonales o, en su defecto, sistemas de seguridad vial que permitan velocidades de operación más rápidas (MTC, 2018).

Carreteras de Tercera Clase: Se trata de carreteras de dos carriles con una IMDA de no más de 400 vehículos al día y una anchura mínima de tres metros. En raras ocasiones, estas carreteras pueden tener carriles de hasta 2,50 m de ancho con la asistencia técnica necesaria. Estas carreteras pueden utilizarse sin superficies pavimentadas o con alternativas sencillas y rentables como la aplicación de estabilizadores de suelo, emulsiones asfálticas y/o micropavimentos. Deben cumplir los requisitos geométricos establecidos para las carreteras de segunda clase si están pavimentadas (MTC, 2018).

Trochas Carrozables: Se trata de vías utilizables sin las características geométricas de una carretera, y su IMDA suele ser inferior a 200 vehículos al día. Sus calzadas deben tener una anchura mínima de 4,00 metros, y deben construirse ensanchamientos conocidos como plataformas de cruce al menos cada 500 metros. La superficie de la carretera puede estar pavimentada o sin pavimentar (MTC, 2018).

B. Clasificación por orografía

Terreno plano (tipo 1): No presenta problemas de diseño significativos porque sus pendientes longitudinales suelen ser inferiores al tres por ciento (3%), y sus pendientes transversales al eje de la carretera son inferiores o iguales al diez por ciento (10%) (MTC, 2018).

Terreno ondulado (tipo 2): Requiere un movimiento de tierras moderado y tiene pendientes transversales entre el 11% y el 50% con respecto al eje de la carretera y pendientes longitudinales entre el 3% y el 6%, lo que permite realizar alineaciones más o menos rectas sin grandes problemas de diseño (MTC, 2018).

Terreno accidentado (tipo 3): Constituye un problema de planificación, ya que requiere grandes movimientos de tierra y tiene pendientes transversales de entre el 51% y el 100% con respecto al eje de la carretera. Sus pendientes longitudinales típicas están entre el 6% y el 8% (MTC, 2018).

Terreno escarpado (tipo 4): Es la que requiere un mayor movimiento de tierras debido a sus inusuales pendientes longitudinales, superiores al 8%, y a sus pendientes transversales al eje de la carretera, superiores al 100%. Por este motivo, plantea importantes retos de trazado (MTC, 2018).

2.2.8.3.2. *Velocidad de diseño*

La velocidad seleccionada para el diseño, que es la velocidad máxima que se puede mantener de forma cómoda y segura en un determinado tramo de carretera cuando las condiciones son ideales para que el diseño se cumpla (MTC, 2018).

Su valor se obtiene a partir de la clasificación por orografía y demanda que presenta la vía, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Velocidad de diseño

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	Velocidad de diseño de un tramo homogéneo											
		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	Plano												
	Ondulado												



CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	Velocidad de diseño de un tramo homogéneo										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
primera clase	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de tercera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

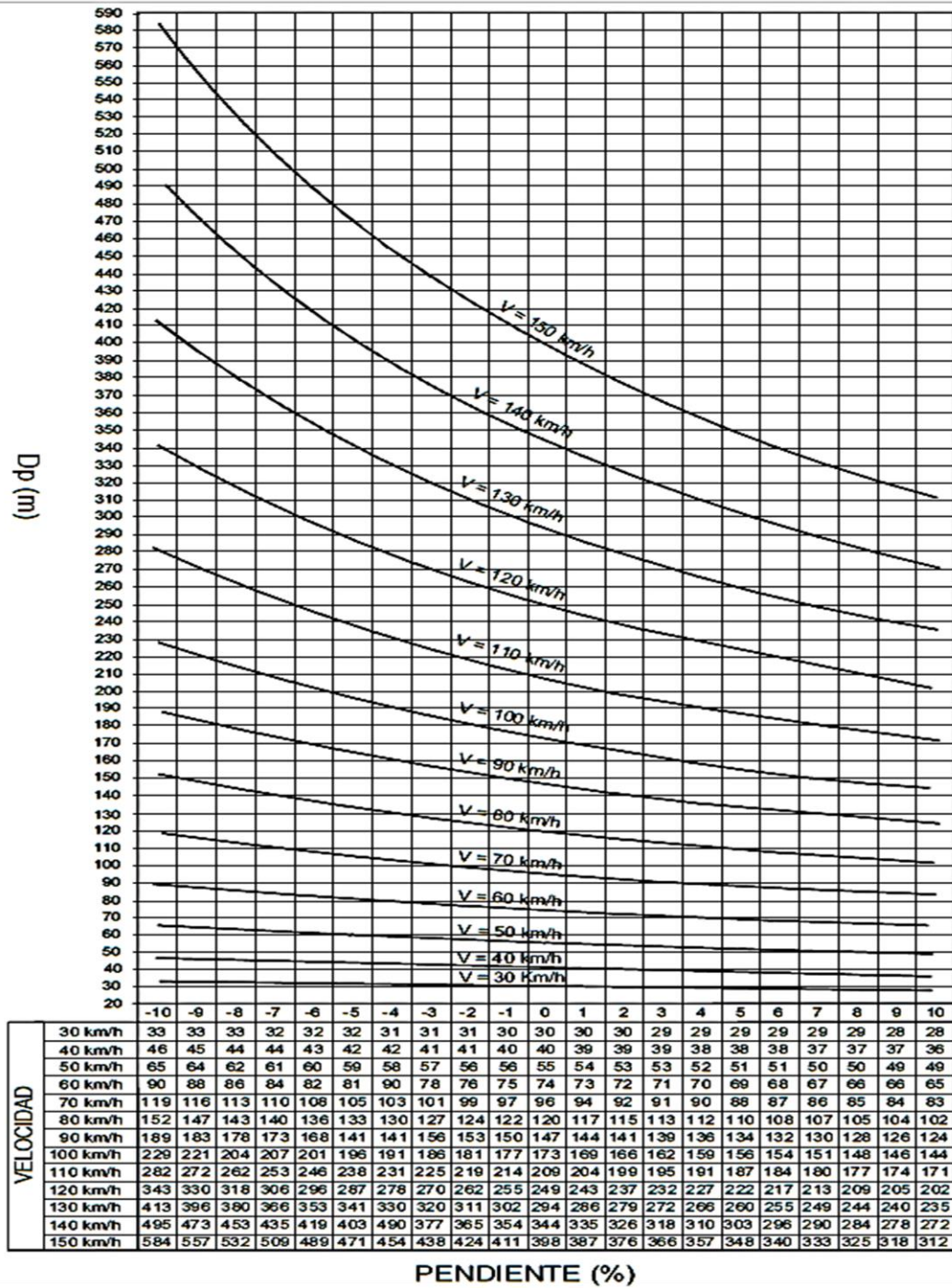
Fuente: MTC (2018), en su manual de Diseño Geométrico de carreteras.

2.2.8.3.3. *Diseño en planta y perfil*

A. *Distancia de visibilidad de paso y parada*

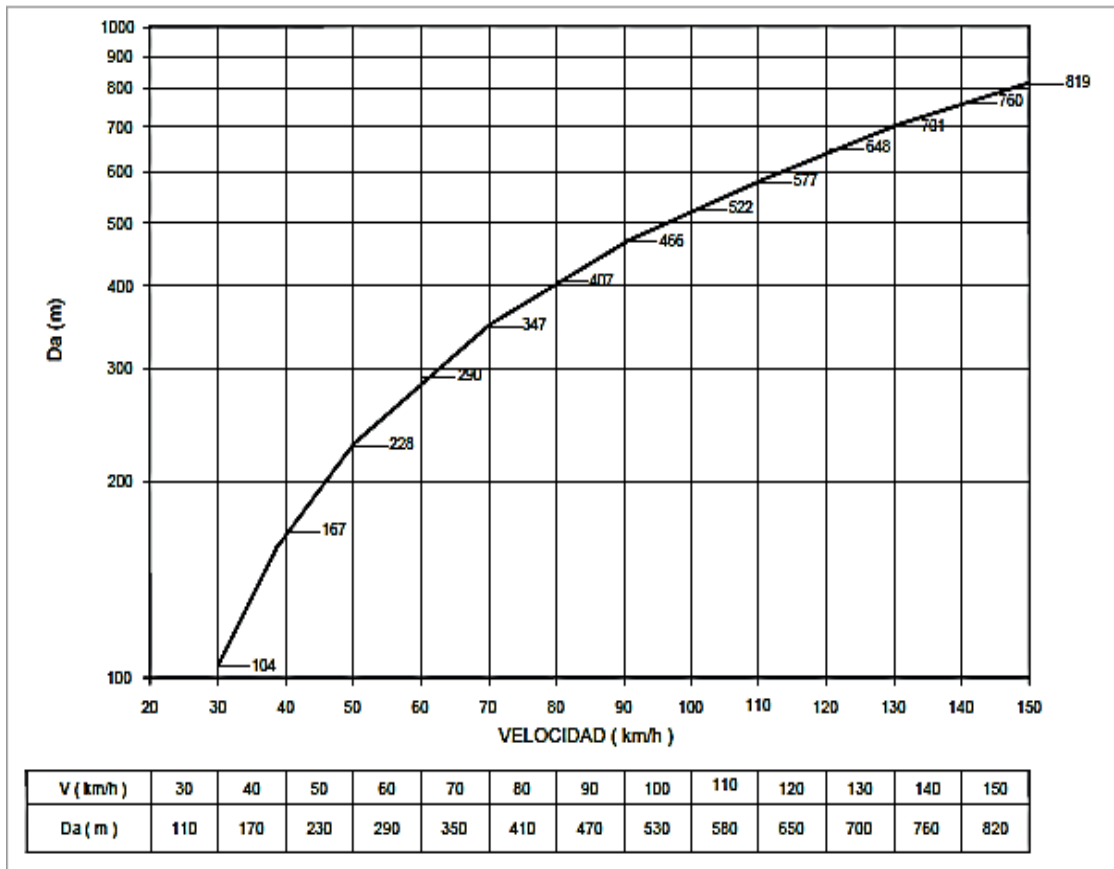
Según el MTC (2018) es la longitud continua de la carretera que puede ver el conductor que avanza mientras realiza diferentes movimientos. Se tienen en cuenta las distancias de visibilidad de parada, de paso y de cruce. Las dos primeras influyen en la construcción de la carretera en campo abierto, los valores se obtienen de las Figuras 5 y 6.

Figura 5.
Distancia de visibilidad de parada.



Nota: Adaptado de Distancia de visibilidad de parada (p.106), por MTC , 2018.

Figura 6.
Distancia de visibilidad de paso



Nota: Adaptado de Distancia de visibilidad de paso (p.111), por MTC , 2018.

B. Sección de entrecruzamiento

Según el MTC (2018) es la sección transversal, que incluye el número mínimo de carriles necesarios y la longitud mínima de la sección transversal, es donde se cruzan o convergen los flujos de vehículos que van en el mismo sentido de circulación. La sección de entrecruzamiento en un Trébol se muestra en la Figura 7.

Figura 7.
Sección de entrecruzamiento en un Trébol.



Nota: Adaptado de Sección de entrecruzamiento en un Trébol (p.107), por Romero Rojas, 2019.

Del MTC (2018), el número mínimo de carriles de entrecruzamiento se determina de acuerdo a la fórmula de la Ecuación 13.

$$N = \frac{(W_1 + K * W_2 + F_1 + F_2)}{C} \quad (13)$$

N : Número de carriles de entrecruzamiento.

W_1 : Mayor volumen vehicular que se entrecruza.

K : Factor de entrecruzamiento con valor (1 a 3).

W_2 : Menor Volumen vehicular que se entrecruza.

F_1, F_2 : Flujos exteriores que no se entrecruzan.

C : Capacidad normal del carril de la vía principal.

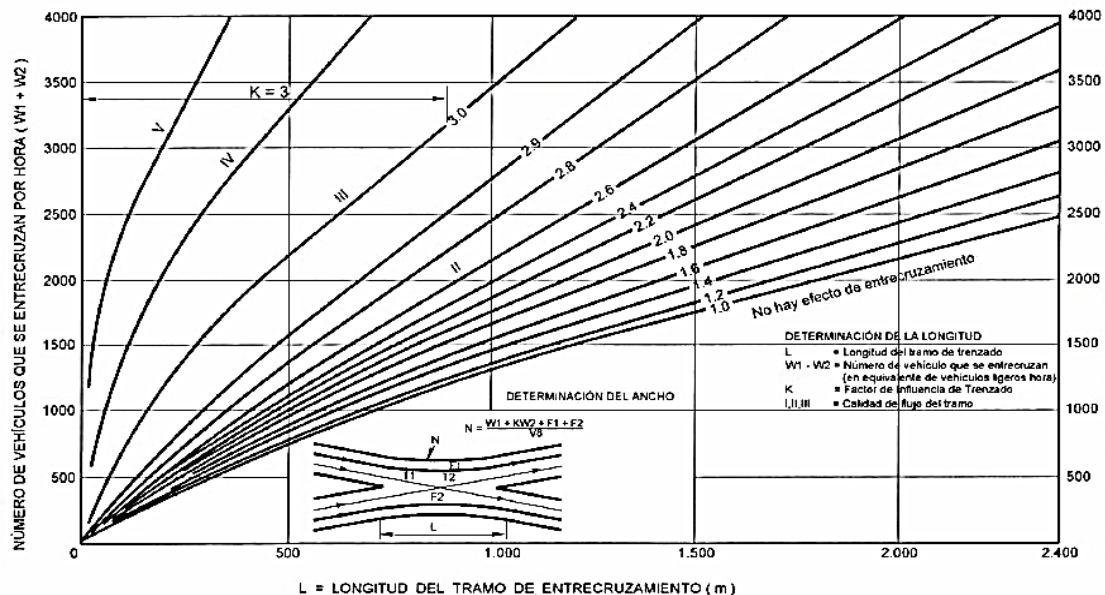
Las longitudes mínimas de una sección de entrecruzamiento, se dan según el volumen de vehículos que se entrecruzan en una hora y que cumpla con: $V=50$ km/h, $C=1700$ y $K=3$, los valores se aprecian en la Tabla 5.

Tabla 5.
Longitud mínima de secciones de entrecruzamiento.

Volumen de entrecruzamiento (veh/h)	Longitud mínima de la sección de entrecruzamiento (m)
1000	75
1500	120
2000	200
2500	290
3000	410
3500	565

Fuente: MTC (2018).

Figura 8.
Longitud de entrecruzamiento.



Nota: Adaptado de Longitudes mayores de entrecruzamiento (p.258), por MTC , 2018.

Es posible dar longitudes superiores a las mínimas indicadas en la Tabla 5. En estas circunstancias, el número de carriles puede corregirse modificando el valor de K al valor equivalente de la Figura 8.

Al examinar las secciones de entrecruzamiento, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Debe suministrarse un carril adicional para el flujo exterior cuando N es inferior a 3, para un volumen total con un volumen exterior superior a 600 vehículos/hora (MTC,2018).



- Cuando N es inferior a 4, para un volumen total con dos volúmenes exteriores superiores a 600 vehículos/hora (cada uno), se debe proporcionar un carril adicional a cada uno (MTC,2018).
- Si la distancia en metros entre los carriles de entrada y salida es igual o superior a 0,8 veces el volumen horario que se cruza, el cruce no se tendrá en cuenta (MTC,2018).
- La anchura de la calzada principal no debe reducirse en más de un carril más allá del punto de salida (MTC,2018).

C. Balance de carriles

Debe realizarse un balance de carriles, que cumpla con lo siguiente:

- “La distancia mínima entre puntos consecutivos de entrada y salida debe ser 180 m” (MTC,2018).
- “El ángulo deseable entre la vía de enlace o secundaria y la calzada de la vía principal debe estar entre 4° y 5°” (MTC,2018).
- Los carriles de cambio de velocidad no deben colocarse en las alineaciones curvas de la calzada principal, sino que deben situarse en tramos tangentes con altos estándares de alineación longitudinal y visibilidad (MTC,2018).

D. Pendientes

- **Pendiente mínima**

Resulta práctico proporcionar una pendiente mínima del 5% para garantizar un drenaje superficial de agua en cada punto a lo largo de la calzada (MTC,2018).

- **Pendiente máxima**

De MTC (2018), es práctico tener en cuenta las pendientes máximas en las siguientes situaciones específicas: Los valores máximos para terrenos abruptos o escarpados se reducen en un 1% en regiones por encima de los 3.000 metros sobre el nivel

del mar. En las autopistas, las pendientes de bajada pueden ser hasta un 2% superiores a las máximas.

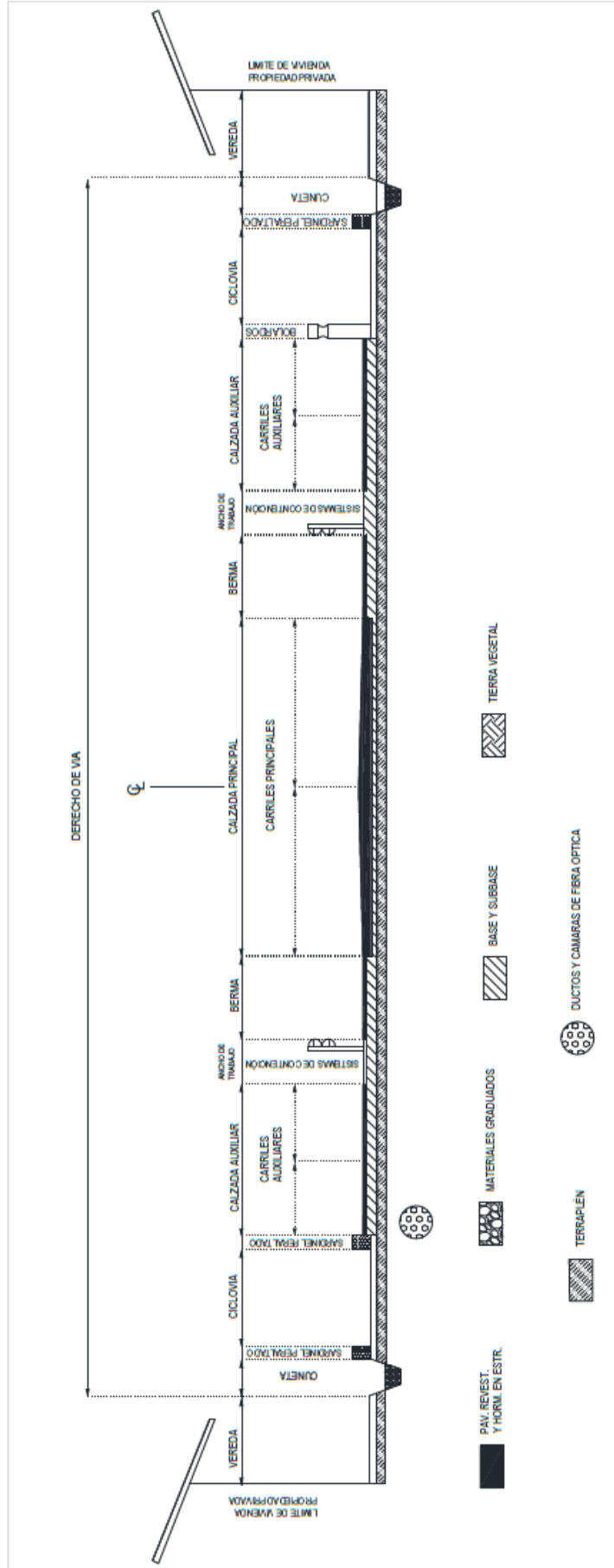
2.2.8.3.4. *Diseño de sección transversal*

Es la representación de un segmento de la carretera en el derecho de la vía que es transversal al eje y a las distancias prescritas, nombrando y dimensionando los componentes de la carretera (MTC,2018). Las secciones transversales se clasifican en:

Sección Transversal General: Está formado por los distintos componentes de la carretera, como los carriles, las bermas, los taludes y el sistema de drenaje, que incluye cunetas, alcantarillas, zanjas de coronación, badenes y otras estructuras como son muros, conductos y cámaras para la fibra óptica, elementos del sistema de señalización, seguridad vial e infraestructura para los dispositivos inteligentes de control del tráfico y otros (MTC,2018).

Sección Transversal Especial: Corresponde a segmentos de carretera que requieren soluciones integrales para circunstancias inusuales, tales como: zonas densamente pobladas, zonas comerciales, tráfico de vehículos de transporte local, conexiones con la red local de carreteras, puentes, túneles y otros. Vías auxiliares vehiculares o peatonales, ciclovías, aceras, instalaciones para uso de discapacitados, intersecciones vehiculares a nivel o en desnivel, puentes peatonales, pasos a desnivel para vehículos pequeños y/o animales, estaciones de peaje y pesaje, ensanchamiento de plataforma, y otros elementos de la misma conforman la Sección Transversal General (MTC,2018).

Figura 9.
Sección transversal para una calzada en zonas urbanas



Nota: Adaptado de Sección transversal típica para carreteras con una calzada de dos carriles, en zona urbana (p.189), por MTC , 2018.

A. Faja de dominio

Es la franja de terreno de anchura variable que contiene la carretera, los proyectos de construcción relacionados, los servicios públicos, los lugares designados para los próximos proyectos de ampliación o mejora y las zonas de seguridad de los usuarios (MTC,2018).

La Tabla 6, indica las anchuras mínimas requeridas para el derecho de vía en función de la demanda y la clasificación orográfica de la carretera.

Tabla 6.

Ancho de derecho de vía

Clasificación	Anchos mínimos (m)
Autopista de Primera clase	40
Autopista de Segunda clase	30
Carretera de Primera clase	25
Carretera de Segunda clase	20
Carretera de Tercera clase	16

Fuente: MTC (2018).

B. Ancho de calzada

Es la sección de la carretera con uno o más carriles designados para el tráfico de vehículos, pero sin la berma. La carretera está separada en carriles que están diseñados para permitir la circulación de una línea de vehículos que viajan en la misma dirección. (MTC,2018), por lo tanto, según lo mostrado en la Tabla 7, el ancho de calzada varía según la velocidad de diseño y clasificación de la vía.

Tabla 7.
Ancho de calzada.

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera											
	> 6.000				6.000 – 4001				2.000-400				< 400							
Tráfico vehículos/día																				
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Primera Clase				Segunda Clase							
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
V. diseño: 30 km/h																				
40 km/h																				
50 km/h								7.2				7.2				6.6				6.6
60 km/h																				
70 km/h																				
80 km/h																				
90 km/h																				
100 km/h																				
110 km/h																				
120 km/h																				
130 km/h																				

Fuente: MTC (2018).



C. Separador central

Según el MTC (2018), el separador central es la franja de terreno paralela al eje de la carretera que divide los carriles de tráfico que circulan en el mismo sentido o en sentidos opuestos. El separador central cumple su función principal de separar el tráfico de la calzada al estar situado entre las cunetas o bermas interiores de ambos carriles. El separador también sirve como espacio de emergencia en caso de error o para disminuir cualquier interferencia, como el deslumbramiento por la noche.

El separador central debe tener una anchura mínima de 6 metros en las autopistas de primera clase, y puede tener una anchura de entre 6 y 1 metros en las de segunda clase, en cuyo caso se instalará un sistema de contención de vehículos. En general, los separadores laterales deben ser más estrechos que los centrales (MTC,2018).

D. Ancho de bermas

El MTC (2018), la define como la franja longitudinal paralela y contigua a la superficie de la carretera o camino que sirve para contener la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para el estacionamiento de vehículos en caso de emergencias o averías se denomina anchura de la berma. Según la evaluación técnica y económica del proyecto, la berma está formada por materiales comparables al soporte de la carretera y debe, en general, mantener el mismo nivel e inclinación (peralte) que el soporte de la carretera o calzada. En cada carril de las autopistas habrá una berma interior y otra exterior, siendo la primera más estrecha. Según la Tabla 8, las longitudes entre las bermas variarán en función de la velocidad de diseño y del tipo de carretera.

Tabla 8.
Anchos de berma

Clasificación	Autopista				Carretera				Carretera							
	Primera Clase	Segunda Clase	Segunda Clase	Primera Clase	Segunda Clase	Segunda Clase	Primera Clase	Primera Clase	Segunda Clase	Segunda Clase	Primera Clase	Primera Clase				
Tráfico	6.000 – 4001				4.000-2.001				2.000-400							
vehículos/día	> 6.000								400							
Tipo	Primera Clase				Segunda Clase				Segunda Clase							
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
V. diseño: 30 km/h																
40 km/h																
50 km/h																
60 km/h																
70 km/h																
80 km/h																
90 km/h																
100 km/h																
110 km/h																
120 km/h																
130 km/h																

Fuente: MTC (2018).

E. Bombeo de calzada

Según el MTC (2018), es la pendiente transversal mínima que necesitan las carreteras para drenar las aguas superficiales. Las cifras del bombeo se han tomado de la Tabla 9, que dependen del tipo de superficie de la carretera y de las cantidades de precipitación locales.

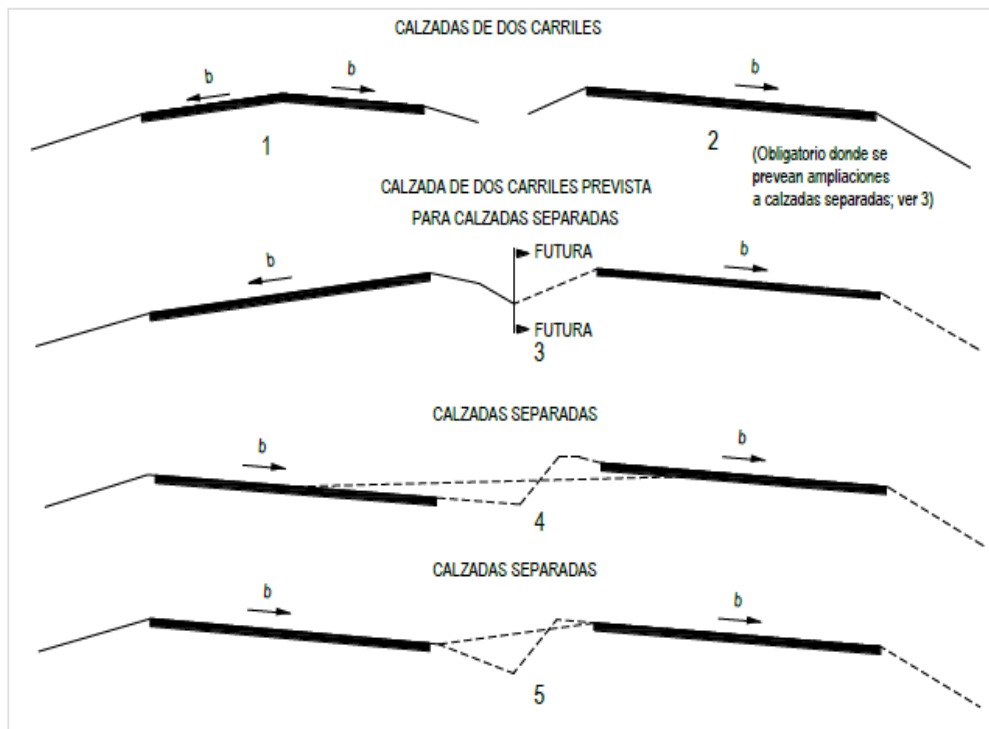
Tabla 9.
Porcentaje de bombeo en calzada

Tipos de superficie	Bombeo %	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación < 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2	2.5
Tratamiento superficial	2.5	2.5 - 3.0
Afirmado	3.0 - 3.5	3.0 - 4.0

Fuente. MTC (2018).

Los tipos de bombeo se dan con los siguientes casos:

Figura 10.
Casos de bombeo en calzada.



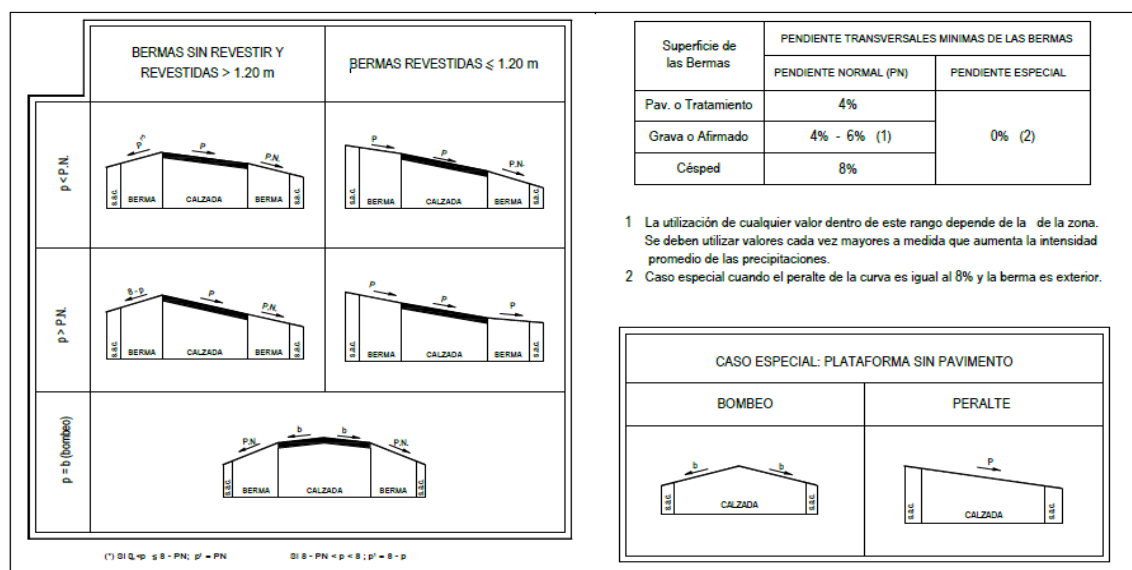
Nota: Adaptado de casos de bombeo (p.196), por MTC, 2018.

F. *Inclinación transversal de bermas*

Del MTC (2018), en vías con pavimento superior, la inclinación de las bermas, se rige según la figura. En caso de que la berma sea pavimentada, será necesario añadir lateralmente una banda de 0.5 m de ancho sin pavimentar. A esta banda se le denomina sobrecancho de compactación y puede permitir la localización de señalización y defensa.

Para las carreteras de poco tráfico, las bermas deben tener una inclinación del 4% hacia el exterior de la plataforma en las partes tangentes. Cuando el valor del peralte es superior al 4%, la berma de la parte inferior del peralte debe coincidir con la inclinación del peralte. En caso contrario, la pendiente de la berma debe ser equivalente al 4%. En la medida de lo posible, la berma de la parte superior del peralte debe tener una pendiente del 4% en sentido contrario al peralte para que desemboque en la zanja (MTC,2018),.

Figura 11.
Pendiente transversal de bermas



Nota: Adaptado de pendiente transversal de bermas (p.195), por MTC, 2018.

G. *Gálbo.*

Según el MTC (2018), es la altura libre entre la superficie de rodadura y la parte inferior de una superestructura, ferrocarril o puente peatonal. El gálbo libre mínimo para las carreteras debe ser de 5,50 metros. La altura libre para los puentes que cruzan cursos

de agua debe ser de al menos 2,50 metros y se decidirá según el diseño específico de cada proyecto.

2.2.8.4. Diseño de ramales

2.2.8.4.1. Velocidad de diseño

Las velocidades mínimas de diseño (V. D.) en las carreteras de enlace figuran en la tabla 10. Las velocidades de diseño de los enlaces que figuran en la tabla son las velocidades más bajas aceptables; disminuyen en 5 km/h cada vez, hasta un mínimo de 25 km/h, y son aplicables desde 40 km/h hasta cualquier velocidad de diseño de la carretera destino.

Tabla 10.

Valores mínimos de velocidades de diseño en ramales de enlace

		Enlaces directos entre autopistas											
		Enlaces directos				Enlaces semidirectos				Lazos			
		Velocidad de Diseño de la Carretera de Destino (km/h)											
		80	100	40	60	80	100	0	0	80	100	40-80	100-120
V. D. carretera de origen (km/h)	40				30	30	35		30	30	35	25	30
	60			30	35	40	45	30	35	40	45	35	
	80	60	65	45	50	55	60	45	50	35			
	100	70	80	60	40								
	0	80	90	80	70	50							

Fuente: MTC (2018).

2.2.8.4.2. Diseño de planta y perfil

A. Carriles de cambio de velocidad

- Carriles de aceleración:

Según la tabla 11 la longitud de aceleración para una carretera con $V = 60\text{km/h}$ y un ramal con $V = 40\text{km/h}$, tendremos un valor:

$$L_T = L_A + L_C$$

Donde:

L_T = Longitud total del carril de aceleración, no debe sobrepasar los 300 m.

L_A = Largo de la zona de aceleración

L_C = Longitud de zona de transición o cuña.

La Tabla 11 presenta los valores de L_T , en función de la velocidad de diseño del ramal V_r y la de la carretera V_C , y los valores de L_C . Estos valores son apropiados para pendientes inferiores al 3%, lo que se ajusta al enlace que se está diseñando.

Tabla 11.

Longitud del carril de aceleración

V_C (km/h)	L_C (m)	$V_r=0$ (km/h)	$V_r=30$ (km/h)	$V_r=40$ (km/h)	$V_r=50$ (km/h)	$V_r=60$ (km/h)	$V_r=70$ (km/h)	$V_r=80$ (km/h)	$V_r=90$ (km/h)
60	50	100	75	50					
70	50	150	120	100					
80	50	240	200	180	140	100			
90	75	300	275	250	220	170	140		
100	75	300	300	300	275	250	225	200	
110	75	300	300	300	300	300	250	250	250
>120	75	300	300	300	300	300	300	300	300

Nota. MTC (2018)

- **Carriles de desaceleración:**

Este carril es paralelo al carril de origen o principal y permite la salida de la vía principal. Los carriles de desaceleración se hallan mediante la ecuación:

$$L_T = L_D + L_C$$

Donde:

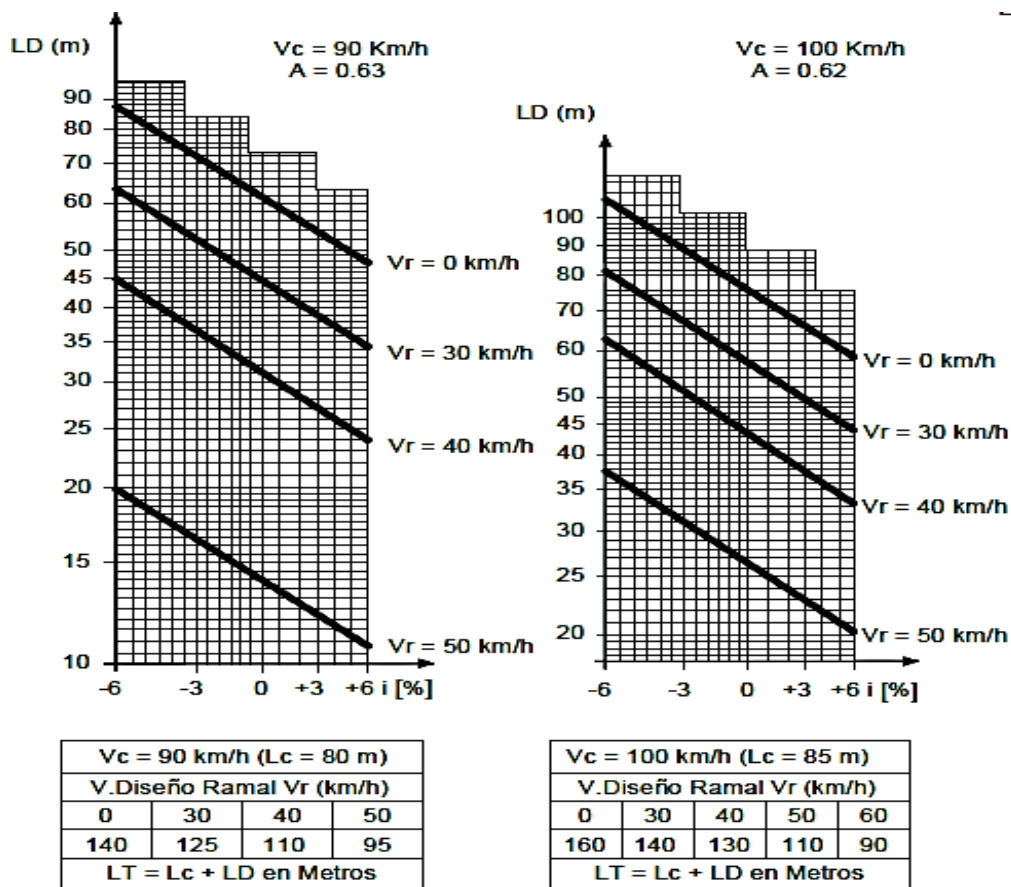
L_T = Longitud total del carril de desaceleración, no debe sobrepasar los 300 m.

L_A = Largo de la zona de aceleración

L_C = longitud de zona de transición o cuña.

La Figura 12, presenta valores de longitud de desaceleración (L_D) y la longitud total (L_T), en función de Velocidad del ramal (V_r), la velocidad de la carretera (V_C) y la pendiente de los ramales; así como los valores de longitud de cuña (L_C) fijos.

Figura 12.
Longitudes de carriles de desaceleración



Nota: Adaptado de Longitudes de carriles de deceleración (p.237), MTC, 2018.

B. Pendiente

Tabla 12.
Pendientes en vía

Critero	Pendiente
Normal	< 5%
	8% tránsito liviano
Máxima	5% mayor porcentaje de tránsito pesado

Fuente: MTC (2018)

C. Radios mínimos

Según el MTC (2018), Los valores de los radios mínimos (R_{min}) y los peraltes máximos ($pm_{\acute{a}x}$) de los ramales de conexión se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13.
Radios mínimos en ramales de enlace

Descripción	Radios mínimos en ramales de enlace (m)											
V. D. Ramal (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90

Descripción	Radios mínimos en ramales de enlace (m)												
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7.5	7	6.5
p máx.%	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7.5	7	6.5
R mín. adoptado	15	20	30	40	55	76	90	120	140	170	240	330	

Fuente: MTC (2018)

2.2.8.4.3. *Diseño de sección transversal*

A. *Ancho de bermas*

Según el MTC (2018), las que se refieren a las carreteras principales no serán relevantes, y la anchura de la calzada sólo será de 4,50 metros para radios inferiores a 30 metros.

B. *Ancho de calzada*

Según el MTC (2018), al menos 4 metros. El trazado debería ser 7,20 metros, si el volumen de tráfico exige la construcción de una carretera de conexión de dos carriles. metros.

2.2.8.5. *Diseño de Rampas*

2.2.8.5.1. *Velocidad de diseño*

Según (American Association of State Highway and Transportation Officials, [AASHTO], 2011), la AASHTO que en español significa Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, menciona que, las velocidades de diseño de las rampas pueden ser menores o aproximarse a las velocidades de las carreteras que se cruzan, pero estas velocidades no deben ser menores a las que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14.

Valores mínimos de velocidades de diseño en ramales de enlace

Velocidad de diseño de autopista (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Velocidad de diseño de rampa (km/h)								
Rango superior (85%)	40	50	60	70	80	90	100	110
Rango medio (70%)	30	40	50	60	60	70	80	90
Rango inferior (50%)	20	30	40	40	50	50	60	70

Fuente: AASHTO (2011)

2.2.8.5.2. *Diseño de planta y perfil*

A. *Pendiente*

Según el MTC (2018), la pendiente normal debe ser menor al 5% y la máxima , 8% para el tránsito liviano y 5% para el tránsito pesado.

B. *Peralte*

Según el MTC (2018), es la inclinación transversal diseñada para contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo en los tramos de curva.

C. *Radios mínimos*

Según la AASHTO (2011), el radio minino se designa de acuerdo a la velocidad de diseño y peralte tal como se muestra en la Tabla 15:

Tabla 15.
Radios mínimos en unidades métricas

Vel. de diseño (Km/h)	Máximo e (%)	Máximo f	Total (e/100 + f)	Radio calcula - do (m)	Radio Redondea - do (m)	Vel. de diseño (Km/h)	Máximo e (%)	Máximo f	Total (e/100 + f)	Radio calcula - do (m)	Radio redon - deado (m)
15	4.0	0.40	0.44	4.00	4	10	4.0	0.38	0.42	15.9	16
20	4.0	0.35	0.39	8.10	8	15	4.0	0.32	0.36	41.7	42
30	4.0	0.28	0.32	22.10	22	20	4.0	0.27	0.31	86.0	86
40	4.0	0.23	0.27	46.70	47	25	4.0	0.23	0.27	154.3	154
50	4.0	0.19	0.23	85.60	86	30	4.0	0.2	0.24	250.0	250
60	4.0	0.17	0.21	135.00	135	35	4.0	0.18	0.22	371.2	371
70	4.0	0.15	0.19	203.10	203	40	4.0	0.16	0.2	533.3	533
80	4.0	0.14	0.18	280.00	280	45	4.0	0.15	0.19	710.5	711
90	4.0	0.13	0.17	375.20	375	50	4.0	0.14	0.18	925.9	926
100	4.0	0.12	0.16	492.10	492	55	4.0	0.13	0.17	1186.3	1186
						60	4.0	0.12	0.16	1500.0	1500
15	6.0	0.40	0.46	3.9	4	10	6.0	0.38	0.44	15.2	15
20	6.0	0.35	0.41	7.7	8	15	6.0	0.32	0.38	39.5	39
30	6.0	0.28	0.34	20.8	21	20	6.0	0.27	0.33	80.8	81
40	6.0	0.23	0.29	43.4	43	25	6.0	0.23	0.29	143.7	144
50	6.0	0.19	0.25	78.7	79	30	6.0	0.20	0.26	230.8	231
60	6.0	0.17	0.23	123.2	123	35	6.0	0.18	0.24	340.3	340
70	6.0	0.15	0.21	183.7	184	40	6.0	0.16	0.22	484.8	485
80	6.0	0.14	0.20	252.0	252	45	6.0	0.15	0.21	642.9	643
90	6.0	0.13	0.19	335.7	336	50	6.0	0.14	0.20	833.3	833
100	6.0	0.12	0.18	437.4	437	55	6.0	0.13	0.19	1061.4	1060
110	6.0	0.11	0.17	560.4	560	60	6.0	0.12	0.18	1333.3	1330
120	6.0	0.09	0.15	755.9	756	65	6.0	0.11	0.17	1656.9	1060
130	6.0	0.08	0.14	950.5	951	70	6.0	0.10	0.16	2041.7	2040
						75	6.0	0.09	0.15	2500.0	2500
						80	6.0	0.08	0.14	3047.6	3050
15	8.0	0.40	0.48	3.7	4	10	8.0	0.38	0.46	14.5	14
20	8.0	0.35	0.43	7.3	7	15	8.0	0.32	0.4	37.5	38
30	8.0	0.28	0.36	19.7	20	20	8.0	0.27	0.35	76.2	76
40	8.0	0.23	0.31	40.6	41	25	8.0	0.23	0.31	134.4	134
50	8.0	0.19	0.27	72.9	73	30	8.0	0.20	0.28	214.3	214
60	8.0	0.17	0.25	113.4	113	35	8.0	0.18	0.26	314.1	314
70	8.0	0.15	0.23	167.8	168	40	8.0	0.16	0.24	444.4	444
80	8.0	0.14	0.22	229.1	229	45	8.0	0.15	0.23	587	587

Vel. de diseño (Km/h)	Máximo e (%)	Máximo f	Total (e/100 + f)	Radio calculado (m)	Radio Redondeado (m)	Vel. de diseño (Km/h)	Máximo e (%)	Máximo f	Total (e/100 + f)	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
90	8.0	0.13	0.21	303.7	304	50	8.0	0.14	0.22	757.6	758
100	8.0	0.12	0.2	393.7	394	55	8.0	0.13	0.21	960.3	960
110	8.0	0.11	0.19	501.5	501	60	8.0	0.12	0.2	1200	1200
120	8.0	0.09	0.17	667.0	667	65	8.0	0.11	0.19	1482.5	1480
130	8.0	0.08	0.16	831.7	832	70	8.0	0.10	0.18	1814.8	1810
						75	8.0	0.09	0.17	2205.9	2210
						80	8.0	0.08	0.16	2666.7	2670
15	10.0	0.40	0.5	3.5	4	10	10.0	0.38	0.48	13.9	14
20	10.0	0.35	0.45	7.0	7	15	10.0	0.32	0.42	35.7	36
30	10.0	0.28	0.38	18.6	19	20	10.0	0.27	0.37	72.1	72
40	10.0	0.23	0.33	38.2	38	25	10.0	0.23	0.33	126.3	126
50	10.0	0.19	0.29	67.9	68	30	10.0	0.20	0.30	200	200
60	10.0	0.17	0.27	105.0	105	35	10.0	0.18	0.28	291.7	292
70	10.0	0.15	0.25	154.3	154	40	10.0	0.16	0.26	410.3	410
80	10.0	0.14	0.24	210.0	210	45	10.0	0.15	0.25	540	540
90	10.0	0.13	0.23	277.3	277	50	10.0	0.14	0.24	694.4	694
100	10.0	0.12	0.22	357.9	358	55	10.0	0.13	0.23	876.8	877
110	10.0	0.11	0.21	453.7	454	60	10.0	0.12	0.22	1090.9	1090
120	10.0	0.09	0.19	596.8	597	65	10.0	0.11	0.21	1341.3	1340
130	10.0	0.08	0.18	739.3	739	70	10.0	0.10	0.20	1633.3	1630
						75	10.0	0.09	0.19	1973.7	1970
						80	10.0	0.08	0.18	2370.4	2370
15	12.0	0.40	0.52	3.4	3	10	12.0	0.38	0.5	13.3	13
20	12.0	0.35	0.47	6.7	7	15	12.0	0.32	0.44	34.1	34
30	12.0	0.28	0.4	17.7	18	20	12.0	0.27	0.39	68.4	68
40	12.0	0.23	0.35	36.0	36	25	12.0	0.23	0.35	119.0	119
50	12.0	0.19	0.31	63.5	64	30	12.0	0.20	0.32	187.5	188
60	12.0	0.17	0.29	97.7	98	35	12.0	0.18	0.3	272.2	272
70	12.0	0.15	0.27	142.9	143	40	12.0	0.16	0.28	381.0	381
80	12.0	0.14	0.26	193.8	194	45	12.0	0.15	0.27	500.0	500
90	12.0	0.13	0.25	255.1	255	50	12.0	0.14	0.26	641.0	641
100	12.0	0.12	0.24	328.1	328	55	12.0	0.13	0.25	806.7	807
110	12.0	0.11	0.23	414.2	414	60	12.0	0.12	0.24	1000.0	1000
120	12.0	0.09	0.21	539.9	540	65	12.0	0.11	0.23	1224.6	1220
130	12.0	0.08	0.2	665.4	665	70	12.0	0.10	0.22	1484.8	1480
						75	12.0	0.09	0.21	1785.7	1790
						80	12.0	0.08	0.2	2133.3	2130

Fuente: Según AASHTO (2011)

2.2.8.5.3. *Diseño de sección transversal*

A. *Ancho de rampa*

Según AASHTO (2011) los anchos de rampa dependen del tipo de operación, curvatura, volumen y tipo de tráfico. La anchura de la calzada de giro se compone tanto de la anchura real de la calzada como de la anchura de la berma. En la Tabla 16 que aparece a continuación, se muestran los anchos de diseño.

Tabla 16.
Anchos de calzada para rampa

Radio interior de calzada (m)	Ancho de pavimento (m)								
	Caso I			Caso II			Caso III		
	Condiciones de diseño de tráfico								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.4	5.5	7.0	6.0	7.8	9.2	9.4	11.0	13.6
25	4.8	5.0	5.8	5.6	6.9	7.9	8.6	9.7	11.1
30	4.5	4.9	5.5	5.5	6.7	7.6	8.4	9.4	10.6
50	4.2	4.6	5.0	5.3	6.3	7.0	7.9	8.8	9.5
75	3.9	4.5	4.8	5.2	6.1	6.7	7.7	8.5	8.9
100	3.9	4.5	4.8	5.2	5.9	6.5	7.6	8.3	8.7
125	3.9	4.5	4.8	5.1	5.9	6.4	7.6	8.2	8.5
150	3.6	4.5	4.5	5.1	5.8	6.4	7.5	8.2	8.4
Tangente	3.6	4.2	4.2	5.0	5.5	6.1	7.3	7.9	7.9
Modificación de ancho por condiciones de borde									
Bordillo vertical en un lado	Agregar 0.30 m			No corresponde			Agregar 0.30 m		
Bordillo vertical en ambos lados	Agregar 0.60 m			Agregar 0.30 m			Agregar 0.60 m		

Fuente: MTC (2018)

Las cifras de la tabla anterior se basan en las siguientes condiciones típicas para el diseño del tráfico:

Tres casos se consideran comúnmente en el diseño:

- Caso I. Se trata de diseñar un carril único sin tener en cuenta el paso de un vehículo detenido. Este tipo de trazado es adecuado para volúmenes de giro bajos o moderados y para lugares en los que la distancia de conexión es corta; sin embargo, lo ideal es que uno de los bordes de la vía transitada tenga un bordillo inclinado o sea paralelo a la berma para proporcionar espacio libre en caso de avería de un vehículo (MTC,2018).
- Caso II. Considere un carril único, en este caso, los vehículos deben ir a baja velocidad y con espacio suficiente para que otros vehículos puedan pasar a un vehículo parado. La circulación del tráfico puede mantenerse durante una avería a una velocidad ligeramente inferior. Esta categoría incluye muchas rampas y conectores en intersecciones canalizadas (MTC,2018).



- Caso III. Cuando la operación necesita dos carriles para acomodar el volumen de tráfico, hay que pensar en el diseño de dos carriles, ya sea de un solo sentido o de dos (MTC,2018).

Además, están en función de tres condiciones generales de diseño de tráfico, de la siguiente manera:

- Condición del tráfico A. Principalmente teniendo en cuenta los vehículos de pasajeros, pero ocasionalmente teniendo en cuenta un número limitado de camiones o sólo un camión (MTC,2018).
- Condición de tráfico B. Tiene una cantidad moderada de camiones, entre el 5 y el 10% del tráfico total, pero tiene en cuenta los vehículos de remolque (MTC,2018).
- Condición de tráfico C. Hay suficientes camiones y autobuses combinados para dictar el diseño. Hay más camiones y más grandes en esta situación (MTC,2018).

2.2.9. Capacidad operacional del Trébol

Para hacer una evaluación del funcionamiento operacional de un Trébol de intercambio vial a desnivel será necesario analizar la capacidad de la intersección y el nivel de servicio, por demoras y colas. Para este caso se utilizó el Highway Capacity Manual (HCM 2010), donde el capítulo 22 se analiza intercambios viales.

2.2.9.1. Estimación de la capacidad

Según el TRB (2010), por grupo de carriles, se proporciona la capacidad de la intersección y se expresa de la siguiente forma:

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C} \quad (14)$$

Donde:

c_i : Capacidad del grupo de carriles i (veh / h)



s_i : Flujo de saturación para el grupo de carriles i (veh / h)

g_i : Luz verde efectiva para el grupo de carriles i (s)

C : Duración del ciclo (s)

El flujo máximo que puede pasar por la intersección desde una aproximación o grupo de carriles en las circunstancias actuales de tráfico mientras se dispone de todo el tiempo efectivo de luz verde se denomina flujo de saturación, caso contrario si el intercambio no es semaforizado g_i y C es igual a 1. Por otro lado, para determinar el flujo de saturación del acceso o conjunto de carriles se utiliza la siguiente ecuación.:

$$s_i = s_0 N f_W f_{HW} f_g f_p f_{bb} f_a f_{RT} f_{LT} f_{Lpb} f_{Rp} f_{LU} f_v \quad (15)$$

Donde

s_i : Flujo de saturación ajustada (veh / h/carril)

s_0 : Flujo de saturación base por carril (veh / h / carril)

N : Número de carriles en el grupo de carril

f_W : Factor de ajuste de la anchura del carril

f_{HW} : Factor de ajuste para el flujo de vehículos pesados dentro del tráfico

f_g : Factor de ajuste por pendiente en el grupo de carriles.

f_p : Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento y la actividad de estacionamiento adyacente al grupo de carriles.

f_{bb} : Factor de ajuste para el efecto de bloqueo de los autobuses locales que se detienen dentro de zona de la intersección

f_a : Factor de ajuste por tipo de zona

f_{RT} : Factor de ajuste por la presencia del vehículo girando a la derecha en el grupo de carriles

f_{LT} : Factor de ajuste por la presencia del vehículo girando a la izquierda en el grupo de carriles

f_{Lpb} : Factor de ajuste para peatones y bicicletas en los grupos de giro a la izquierda.

f_{Rpb} : Factor de ajuste para peatones y bicicletas en los grupos de giro a la derecha.

f_{LU} : Factor de ajuste por la utilización del carril

f_v : Factor de ajuste por presión de tráfico

En los siguientes ítems se desarrolla cada factor que interviene en la ecuación anterior:

2.2.9.1.1. Tasa de flujo de saturación base por carril

Del TRB (2010), es la tasa de flujo promedio previsto para un carril de tránsito, esta tasa base representa a todas las cruces en el área dentro del cual se sitúa la intersección de estudio. Los valores tipos se determinan según la Tabla 17:

Tabla 17.
Flujo de saturación base por carril

Tipo de área	Tasa de flujo de saturación base
Área urbana con población $\geq 250,000$ hab.	1,900 veh / h / carril
Otro tipo de área	1,750 veh / h / carril

Fuente: TRB (2010)

2.2.9.1.2. Ajuste por ancho de carril

Este factor de ajuste tiene por objetivo ajustar el flujo de saturación, esto depende del ancho de cada carril, si es menor al ancho estándar de 3.6 m, el factor de ajuste disminuye, caso contrario aumenta, tal como se muestra en la Tabla 18:

Tabla 18.
Factor de ajuste por ancho de carril.

Ancho promedio de carril (metros)	Factor de ajuste (f_w)
< 3.1	0.96
$\geq 3.1 - 3.9$	1.00
> 3.9	1.04

Fuente: TRB (2010)

2.2.9.1.3. *Ajuste por vehículos pesados*

Del TRB (2010), el factor de ajuste para vehículos pesados f_{HV} tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados y la diferencia de sus capacidades operativas, comparados con los vehículos de pasajeros. Este factor no considera los autobuses locales que se detienen en la zona del cruce. Este valor se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV} (E_T - 1)} \quad (16)$$

Donde:

P_{HV} : Porcentaje de vehículos pesados en el grupo de carriles correspondiente (%)

E_T : Número equivalente de vehículos de pasajeros para cada vehículo pesado es igual a 2.

2.2.9.1.4. *Ajuste por pendiente*

Del TRB (2010), este factor de ajuste determina los efectos de la pendiente de la entrada o conjunto de carriles en el rendimiento que presenta el vehículo. Se calcula de la siguiente forma:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (17)$$

Donde:

P_g = Pendiente, que toma valores entre -6.0 % a 10.0 %

2.2.9.1.5. *Ajuste por estacionamiento*

Del TRB (2010), el factor de ajuste por estacionamiento se aplica a un conjunto de carriles adyacentes al estacionamiento. Pues los estacionamientos afectan negativamente a un conjunto de carril adyacente al estacionamiento. La no existencia de estacionamientos este factor toma el valor de 1.0.

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (1)$$

Dónde

N_m : Índice de maniobras de estacionamiento adyacente al grupo de carriles (maniobras/h).

N : Número de carriles en el grupo de carril.

2.2.9.1.6. Ajuste por bloqueo de bus

Del TRB (2010), este factor de ajuste por bloqueo de autobuses, manifiesta el impacto de los autobuses en la circulación en el momento de recoger así como descargar pasajeros en las paradas de autobuses que se encuentran a 76.20 m de la línea de parada. Este factor se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N} \geq 0.05 \quad (19)$$

Donde:

N = Numero de carriles en el acceso

N_b = Tasa de paradas de autobuses en el acceso (buses /h)

2.2.9.1.7. Ajuste por tipo de zona

Del TRB (2010), este factor de ajuste relaciona la ineficiencia de los intercambios en la Central Bussines District - CBD en comparación con los de otros lugares. El valor que toma es de 0.90, si cumple con lo planteado anteriormente.

2.2.9.1.8. Ajuste para giro a la derecha

Del TRB (2010), el factor de ajuste por giros a la derecha f_{RT} tiene como objetivo central reflejar el efecto de la geometría del desvío a la derecha en el flujo de saturación. Este valor se calcula con la ecuación:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad (20)$$

Donde:

E_R = Numero equivalente de vehículos de pasajeros para un vehículo que gira a la derecha en un carril exclusivo, siendo este 1.18.

2.2.9.1.9. Ajuste para giro a la izquierda

Del TRB (2010), el factor de ajuste de giro a la izquierda determina el efecto de la geometría que presenta la trayectoria de giro a la izquierda sobre el flujo de saturación. El valor de este ajuste se calcula con la ecuación:

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad (21)$$

Donde:

E_L = Numero equivalente de vehículos de pasajeros para un vehículo que gira a la izquierda en un carril exclusivo, siendo este 1.05

2.2.9.1.10. Ajuste para peatones y bicicletas

El ajuste por bloqueo para peatones y bicicletas consisten en calcular el volumen de peatones y bicicletas en una zona de ocupación en el cruce, al igual que la proporción de tránsito que existe en las fases de verde en el cruce.

2.2.9.1.11. Ajuste para la utilización de carril

De TRB (2010), el factor de ajuste por el uso de carriles de entrada se emplea para estimar el nivel de flujo de saturación para un conjunto de carriles con más de un carril exclusivo. Si el conjunto de carriles posee un carril compartido o un carril único, este factor es 1,0. El factor de ajuste se basa en el flujo del carril que presenta un mayor volumen. Se calcula con la ecuación:

$$f_{LU} = \frac{1}{\%V_{Lmax} \times N} \quad (22)$$

Dónde

f_{LU} : Factor de ajuste para la utilización del carril.

V_{Lmax} : Porcentaje del flujo total en el carril con el volumen más alto.

N : Número de carriles en el acceso o grupo de carriles

$$\%V_{L1} = \frac{1}{2} + 0.387X \left(\frac{v_l}{v_l + v_R + v_T} \right) - 0.344x \left(\frac{v_R}{v_L + v_R + v_T} \right) \quad (23)$$

$$\%V_{L2} = 1 - \%V_{L1} \quad (24)$$

Donde:

v_L : Flujo de demanda Origen -Destino para el giro a la izquierda (veh / h)

v_R : Flujo de demanda Origen -Destino para el giro a la derecha (veh / h)

v_T : Flujo de demanda Origen -Destino para el movimiento de frente (veh / h)

Para entradas restantes, de la vía principal a la vía secundaria se deben emplear factores de uso de carril apoyados en datos de campo o en valores de la Tabla 19.

Tabla 19.
Factores de ajuste de utilización de carril

Movimiento del grupo de carriles	Número de carriles en el grupo de carriles	Tráfico en el carril con volumen más alto (%)	Factor de ajuste f_{LV}
De frente	1	100.0	1.000
	2	52.5	0.952
Giro a la izquierda	1	100	1.000
	2	51.5	0.971
Giro a la derecha	1	100.0	1.000
	2	56.5	0.885

Fuente: TRB (2010)

2.2.9.1.12. Ajuste por la presión del tráfico

Del TRB (2010), este factor refleja el impacto negativo que tienen el estado de tránsito de mayor demanda, o cuando la vía ha llegado a su máxima capacidad. La presión de tráfico para movimientos de giro a la izquierda es más afectada que los movimientos de giro a la derecha o de frente. Para este caso las velocidades de flujo de saturación en los grupos de carriles se ajustan con el factor de presión de tráfico. Las ecuaciones se calculan según el giro:

Giro a la izquierda

$$f_v = \frac{1}{1.07 - 0.00672v_i} \quad (25)$$

Giro a la derecha o de frente

$$f_v = \frac{1}{1.07 - 0.00486v_i} \quad (26)$$

Donde:

f_v = Factor de ajuste para la presión de tráfico.

v_i = Índice de flujo de demanda por ciclo por carril (veh/ciclo/carril)

2.2.9.2. Relación volumen - capacidad

Del TRB (2010), es la relación de la demanda, tasa de flujo, del ramal o conjunto de carriles con la capacidad del mismo, esto nos das como resultado una evaluación directa de la eficacia del diseño. Esta relación se calcula como se muestra en la ecuación:

$$X_i = \left(\frac{v_i}{c_i} \right) = \frac{v_i}{s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)} = \frac{v_i C}{s_i g_i} \quad (27)$$

Donde

X_i : Relación entre el volumen y la capacidad para un grupo de carriles i

v_i : Demanda real o prevista del grupo de carriles i (veh / h)

c_i : Capacidad del grupo de carriles i (veh / h)

s_i : Flujo de saturación para el grupo de carriles i (veh / h)

g_i : Tiempo de luz verde efectiva para el grupo de carriles i (s)

C : Duración total del ciclo (s)

2.2.9.3. Demora

Del TRB (2010), el retraso que se calcula representa la demora media de control experimentado por todos los vehículos que llegan a lo largo del período de análisis. Se incluye cualquier retraso en el que incurren estos vehículos que todavía están en la cola después del período de análisis. El retraso de control para un conjunto de carriles determinado se calcula mediante la ecuación 28.

$$d_i = \frac{3600}{c_i} + 900T \left[\frac{v_i}{c_i} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_i}{c_i} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_i}\right)\left(\frac{v_i}{c_i}\right)}{450T}} \right] + 5 \quad (28)$$

Donde:

d_i : Demora para un grupo de carriles i (s / veh)

v_i : Demanda real o prevista del grupo de carriles i (veh / h)

c_i : Capacidad del grupo de carriles i (veh / h)

T : Periodo de análisis (h). Para un periodo de 15 minutos es igual a 0.25.

2.2.9.4. Cola

Del TRB (2010), la ecuación se usa para medir el largo (longitud) de la cola del percentil 95 para todo tipo de carril durante un periodo máximo de 150 min en un intercambio de Trébol parcial o de dos hojas.

$$Q_{95} = 900T \left[\frac{v_i}{c_i} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_i}{c_i} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_i}\right)\left(\frac{v_i}{c_i}\right)}{150T}} \right] \left(\frac{c_i}{3600}\right) \quad (29)$$

Donde

Q_{95} : Cola del percentil 95 (veh)

v_i : Demanda real o prevista del grupo de carriles (veh / h)

c_i : Capacidad del grupo de carriles i (veh / h)

T : Periodo de análisis (h). Para un periodo de 15 minutos es igual a 0.25.

2.2.9.5. Nivel de servicio

Del TRB (2010), los valores de control de demora de la Tabla 20, son para intersecciones señalizadas, para intersecciones señalizadas es necesario aumentar los valores por un factor de 1.5

Tabla 20.

Niveles de servicio de un carril en un cruce no semaforizada

Demora (s/veh)	Nivel de servicio por ratio v/c	
	≤ 1.0	≥ 1.0
≤ 15	A	F
$> 15 - 30$	B	F
$> 30 - 55$	C	F
$> 55 - 85$	D	F
$> 85 - 120$	E	F
> 120	F	F

Fuente: TRB (2010)

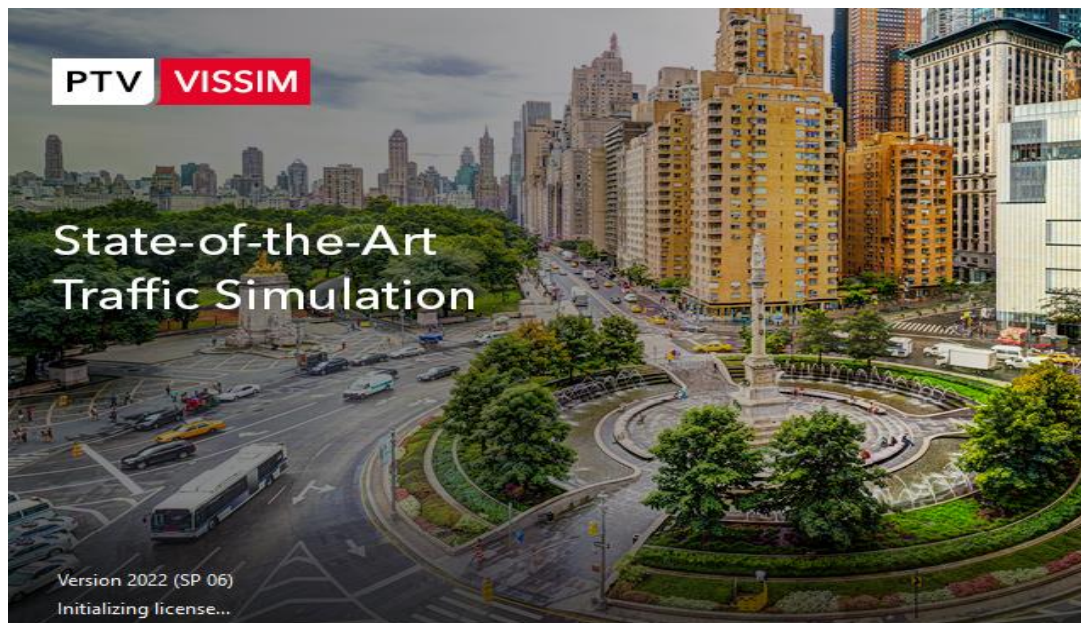
2.2.10. De la variable Interviniente: Software VISSIM – VISWALK

2.2.10.1. Software Vissim

PTV Vissim es un programa utilizado para realizar simulaciones microscópicas basado en modelos de comportamiento de los vehículos que permiten describir el movimiento de los vehículos ligeros, pesados, de transporte público, las bicicletas, los peatones y entre otros. Por último, es importante evaluar cómo se comporta el tráfico en diversas circunstancias (Vozzi, 2019)

Figura 13.

Portada del programa Vissim



Nota: Adaptado de PTV VISSIM, por PTV GROUP ,2021,
(<https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim-nuevo/>)



El modelo microscópico que desarrolla el programa PTV VISSIM, usa las teorías sobre vehículos y cambios de carril para representar las interacciones entre cada vehículo como una entidad y permitir un amplio análisis de escenarios. Además, cabe mencionar que, dado que los modelos de microsimulación son esencialmente aleatorios, deben examinarse con frecuencia hasta obtener conclusiones con un nivel suficiente de credibilidad. El modelo desarrollado debe reflejar lo que realmente se observa. (Cabrera, 2015)

2.2.10.2. Software Viswalk

Viswalk es un programa que trabaja conjuntamente con Vissim para proporcionar una simulación peatonal completa, reproduciendo la dinámica y el comportamiento de los peatones en un mundo virtual. Se puede recrear las interacciones de los peatones en multitudes densas, en diversas infraestructuras, e incluso entre peatones y sus interacciones con diversos tipos de transporte. (PTV GROUP, 2016).

El modelo de fuerza social, fue propuesto por el Profesor Dirk Helbing, en el que analiza cómo los factores sociales de atracción y repulsión influyen en el comportamiento de los peatones. Estas fuerzas entran en funcionamiento cuando un peatón interactúa con su entorno y con otro. El modelo de fuerza social incorpora los siguientes fundamentos: los peatones quieren llegar a su destino con la mayor comodidad posible; un peatón puede sentir la fuerza de atracción de otros peatones o de determinadas zonas, y los peatones mantienen una distancia de seguridad con los bordes o las barreras. (Israel Cabrera, 2012 pp. 33–34)

Cuatro vectores de fuerza componen la fuerza social resultante: la fuerza motriz (que dirige al peatón hacia su objetivo), la fuerza social (que repele a otros peatones), la fuerza de la pared (que repele los obstáculos de la vía) y la fuerza del ruido (componente

estocástico). En seguida se muestra el modelo representado en la Figura 14 y la ecuación de la fuerza social resultante.

$$\bar{F} = \bar{F}driving + \bar{F}social + \bar{F}wall + \bar{F}noise$$

Figura 14.

Modelo de fuerza social para peatones



Nota: Adaptado de ¿Cómo funciona PTV Viswalk?[fotografía], por PTV GROUP, 2016, (<https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-viswalk/>)

2.2.10.3. Calibración y Validación

Según Beeston et al.,(2021), la expresión estadística GEH es una medida estándar entre flujos observados y modelados. A diferencia de comparar flujos usando porcentaje, se comparan dos conjuntos de volúmenes de tráfico de vehículos, usando la fórmula estadística GEH.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Donde:

M: Volumen de tráfico por hora del modelo de tráfico

C: Conteo en el mundo real



Para el trabajo de modelización del tráfico, el objetivo es llegar a los valores de GEH inferiores a cinco. Sin embargo, los valores de GEH de menos de tres son altamente recomendado para todos los enlaces importantes y críticos dentro del modelo área.



CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología de Investigación

3.1.1. Tipo de investigación

En esta investigación el enfoque es de tipo cuantitativa, pues se basa en la medición numérica y en la estimación por medio de la simulación, que utiliza proyecciones estadísticas del tráfico existente en el cruce de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, para analizar la situación actual en el año 2022 y proyectada al año 2042. Como menciona Abdellah, F. G. & Levine, E. (1994), citado por Gallardo (2017), la investigación que recoge y analiza datos cuantitativos se denomina investigación cuantitativa; además examina la conexión o relación entre variables que pueden medirse., que en este caso sería el estudio de la variable tráfico.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptiva, porque como indica Arias (2012), su objetivo central, es obtener una mejor comprensión de la complejidad del problema, lo que en esta investigación, el problema es el tráfico, en el cruce de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, en lo que respecta su capacidad operacional.

3.1.3. Diseño de la investigación:

La finalidad del estudio es observacional, porque se apoya en la observación de la realidad, sin poder manipular las variables que intervienen en el tráfico, recolectándolas, organizándolas para explicar la realidad, según el tratamiento de datos es cuasi experimental, por lo mismo que utiliza una cantidad variables limitadas, para obtener una simulación capaz de explicar la realidad y preveer sus cambios en el futuro.



Según su finalidad es aplicada y tecnológica, pues se aplicó la teoría del diseño geométrico y evaluación de la capacidad operacional actual y el deseado y se utilizara un software para observar el comportamiento del tráfico a nivel visual y resolver el problema del tráfico en la ciudad de Puno, elevando el nivel de vida de sus habitantes.(Sánchez Carlessi et al., 2018). Según el tiempo que comprende esta investigación es sincrónica o transversal, porque estudia la realidad en un momento determinado, según las mediciones que se hacen es de carácter prospectivo, porque utiliza datos del momento en que se hace la observación, para que con esto se obtenga resultados prospectivos. Por la fuente de información es del tipo de información primaria, porque los datos han sido recogidos por la misma investigadora. Por el ámbito de estudio es de tipo documental y de campo, porque se observa el problema en su propia realidad, y es de carácter especializado porque versa sobre los problemas del diseño de infraestructura para el transporte, como un ámbito exclusivo de la ingeniería civil.

3.2. Población y muestra de estudio para la investigación.

3.2.1. Población de la investigación

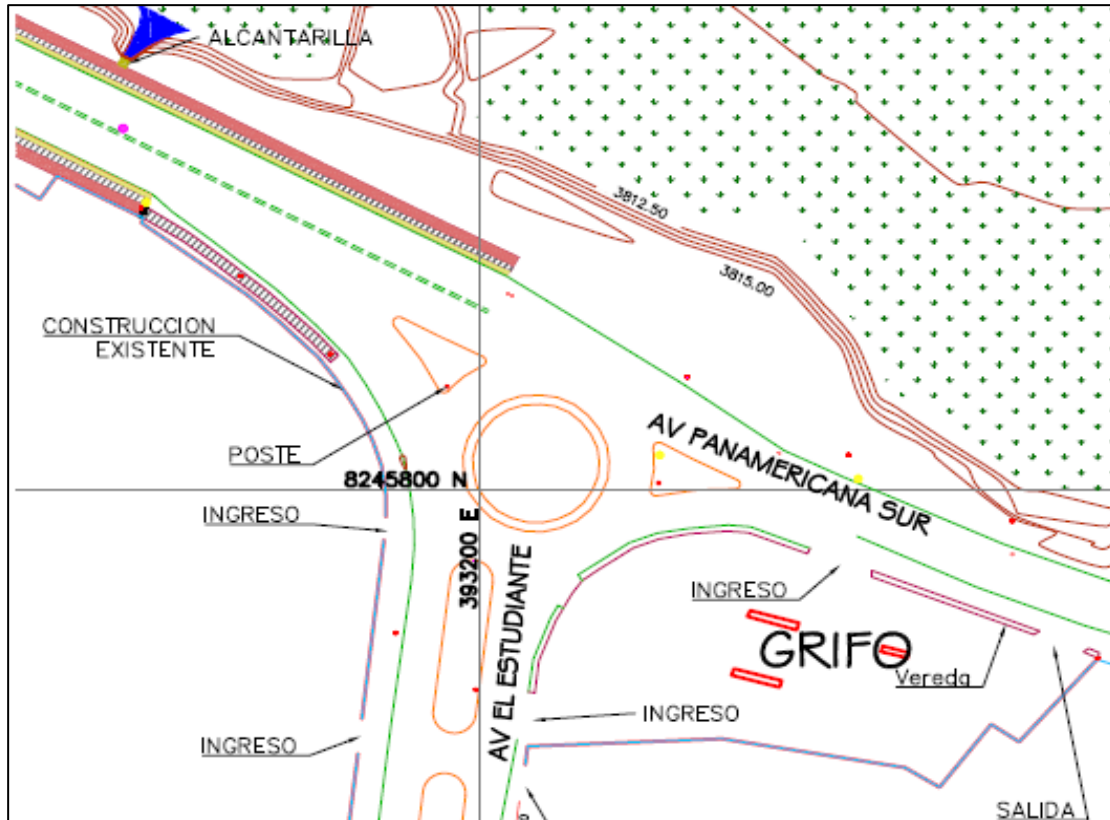
La población de la presente investigación que según su finalidad es aplicada y tecnológica, usa el estudio de un caso que aplica la teoría del diseño geométrico y evaluación de la capacidad operacional actual, en el que se usa el programa de Vissim y Viswalk, y dado que el Trébol de intercambio vial es de características singulares no presenta una población en particular, pues se trata de un diseño única para la zona en investigación.

3.2.2. Muestra para la investigación

La muestra consta de una unidad de estudio que es el cruce de la Panamericana Sur con la Av. Estudiante en Salcedo - Puno, que es una rotonda, sobre el cual se evalúa su nivel de servicio existente y se propone un Trébol de intercambio vial como alternativa

de solución obtenida de un diseño geométrico y de la simulación de tráfico con los programas de Vissim y Viswalk. En la Figura 15 se observa la zona de investigación, ubicada con coordenadas 8245800 N, 393200 E

Figura 15.
Plano de ubicación del lugar de investigación



Nota: Adaptado de Plano de topográfico, por MPP, 2022

3.3. Muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, que según Sánchez Carlessi et al.(2018), define que el muestreo en este caso se apoya en el criterio e intención del investigador, porque no se utilizan procesos aleatorios para elegir las unidades de muestreo. Para el caso del diseño geométrico del intercambio vial se utiliza un muestreo casual o accidental, en cambio para ver la capacidad operacional de la intersección se utiliza un muestreo intencional, por defecto del primer tipo de muestreo.

3.3.1. Población y muestreo para la obtención de datos actuales de la rotonda

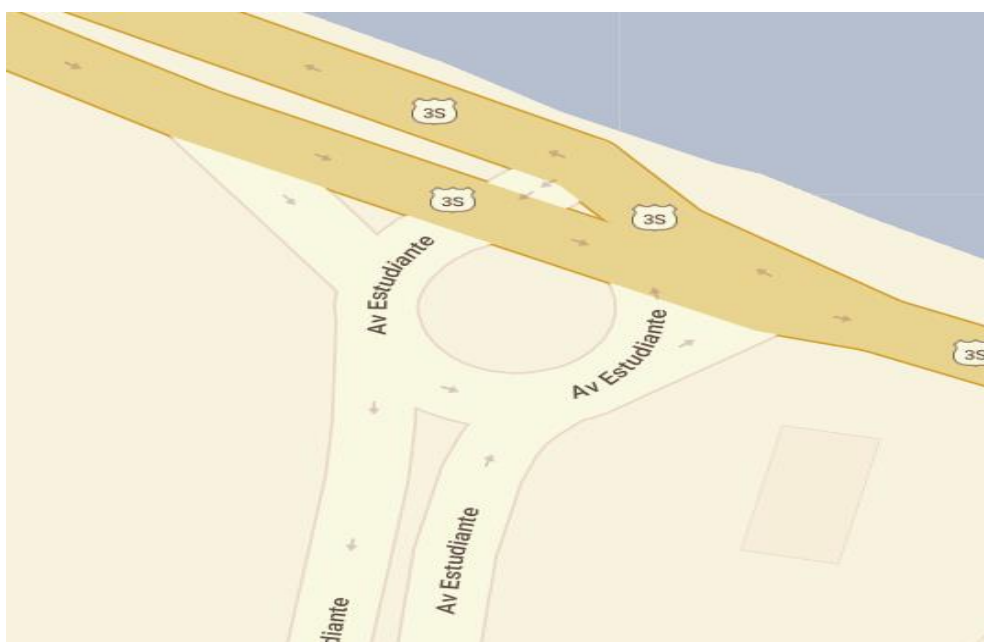
Para el proceso de evaluación del estado actual de la rotonda y su proyección hasta el año 2042 se usa como población los vehículos y peatones correspondientes al IMDA 2022, para su obtención se delimita en la observación de 7 días durante 24 horas, los cuales fueron tomados el 28 de febrero hasta el 6 de marzo de 2022 (muestreo para el diseño geométrico), para seguidamente escoger la hora de máxima demanda, que es el día jueves 3 de marzo de 8: 00 am a 9: 00 am; y es en esta hora que nuevamente se tomaran los datos de campo con una videograbación con dron.

3.3.1.1. Muestreo para el diseño geométrico

Según el MTC (2018) la muestra para realizar el diseño geométrico del Trébol a desnivel son todos los tipos y cantidad de vehículos que circulan en la zona, por cada acceso, durante las 24 horas de los 07 días de la semana a partir del día lunes 28 de febrero al domingo 6 de marzo del 2022, tal como se indicó anteriormente. La Figura 16 muestra la zona de investigación, denominada: Intersección Panamericana sur con la Av. Estudiante, Salcedo – Puno.

Figura 16.

Zona de investigación de la intersección Panamericana Sur con Av. Estudiante



Nota: Adaptado de Google maps, (<https://www.google.com/maps/@-15.8638935,-69.9966754,18z>)



3.3.1.2. Muestreo para capacidad operacional

Después de haber hecho el muestreo y procesamiento de los datos que se obtiene durante 24 horas por 7 días como se menciona en los ítems anteriores, se toma en cuenta el muestreo de la hora de mayor demanda, que resulta el día jueves 15 de julio del 2022, el cual es un dato que se usa en el programa de simulación Vissim y Viswalk, pero antes se le aplica el Factor de Hora de Pico, al aforo de campo obtenido, donde se considera los vehículos motorizados y también la cantidad de bicicletas, motos lineales y peatones, que transitan por la intersección de Panamericana y la avenida Estudiante en Salcedo-Puno.

3.4. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos de la investigación

3.4.1. Técnica: observación directa

En la presente investigación se aplica la técnica de observación, en el que se usa instrumentos para registrar los fenómenos que suceden en la realidad, en este caso en el tráfico actual del cruce de la Panamericana Sur con la Av. Estudiante, correspondientes a los datos que serán de utilidad para la determinación del diseño geométrico y la capacidad operacional.

El instrumento a utilizar es fichas de observación que permite recolectar información de manera sistemática y es imprescindible para desarrollar el modelo de tráfico de la intersección, asimismo el diseño geométrico del Trébol como propuesta de solución a largo plazo, pues la simulación requiere de los datos de entrada tales como la geometría del cruce, las demandas que existen, las señales de tránsito y los datos de calibración y validación (FHWA, 2004).

3.4.1.1. Instrumentos de recopilación de datos

3.4.1.1.1. Ficha de registro

Es la ficha de recopilación de datos, tal como se muestra en la Figura 17 y Figura 18, la ficha contiene los siguientes ítems:

- Nombre del proyecto
- Ubicación
- Nombre de la estación
- Fecha de aforo
- Tipos de vehículo
- Horas de aforo

Figura 17.

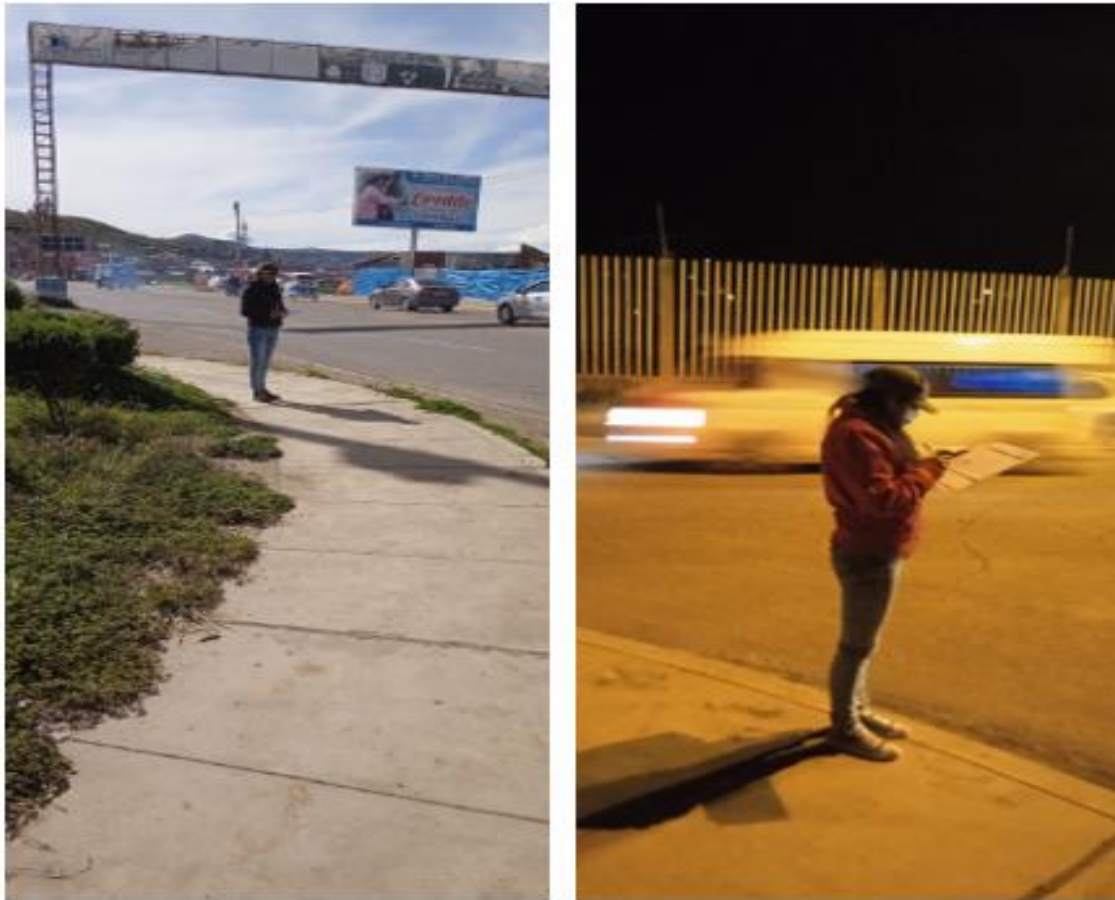
Ficha de registro del aforo vehicular por hora y día durante una semana

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL																		
PROYECTO		AFORO VEHICULAR																
UBICACION		INTERSECCIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR CON LA AVENIDA ESTUDIANTE EN SALCEDO - PUNO																
Nº DE ESTACION																		
FECHA(D/M/A)																		
HORA	SENTIDO	AUTO	CAMIONETAS			BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
			PICKUP	RURAL Combi	MICRO	2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3
DIAGRA.	VEH.																	
4 a.m	5 a.m																	
5 hrs	6 hrs																	
6 hrs	7 hrs																	
7 hrs	8 hrs																	
8 hrs	9 hrs																	
9 hrs	10 hrs																	
10 hrs	11 hrs																	
11 hrs	12 hrs																	
12 hrs	13 hrs																	
13 hrs	14 hrs																	
14 hrs	15 hrs																	
15 hrs	16 hrs																	
16 hrs	17 hrs																	
17 hrs	18 hrs																	
18 hrs	19 hrs																	
19 hrs	20 hrs																	
20 hrs	21 hrs																	
21 hrs	22 hrs																	
22 hrs	23 hrs																	
23 hrs	0 hrs																	
0 hrs	1 hrs																	
1 hrs	2 hrs																	
2 hrs	3 hrs																	
3 hrs	4 hrs																	

Fuente: Elaboración propia

Figura 18.

Recolección de datos de campo, realizando el aforo de vehículos.



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.2. Ficha de videograbación

La ficha de videograbación es un registro visual de un video grabado con dron durante una hora de la hora de mayor demanda, que fue obtenida del procesamiento de datos de la ficha de registro de aforo vehicular realizado durante la semana, que se muestra en el ítem anterior; luego de la visualización de este video se procede al registro de la cantidad de vehículos, peatones, sus velocidades respectivas y longitudes de cola de cada acceso.

Figura 19.

Vista panorámica del lugar de investigación, tomada con dron



Fuente: Elaboración propia

La ficha de recolección de datos de la videograbación, tanto para vehículos y peatones son el resultado del registro de la visualización de la videograbación, estas fichas tal como se muestran en la Figura 20 y Figura 21, consta de los siguientes ítems:

- Nombre del proyecto
- Ubicación
- Nombre de la estación
- Fecha de aforo de 01 hora
- Tipos de vehículo
- Hora de aforo

Figura 20.

Ficha de registro de vehículos en una hora de mayor demanda

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL								
PROYECTO:								
UBICACIÓN:								
ESTACION:								
FECHA:								
Tabla N°01 : Flujo vehicular acceso Este en la direccion Desaguadero - Puno								
Tipo de vehiculo Hora	Automovil+ camioneta pick up	Combi	Bus	Camion+Volquete	Trailer+cisterna	Mototaxi	Moto	Bicicleta
08:00 am - 09:00 am								
Total								

Fuente: Elaboración propia

Figura 21.

Ficha de recopilación de datos para peatones en una hora de mayor demanda

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		
PROYECTO:		
UBICACIÓN:		
ESTACION:		
FECHA:		
Periodo	Destino	
	Av. Estudiante (Curva)	Parque
08:00 am-09:00 am		
Total		

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Técnica: Simulación

La técnica de simulación es el proceso de diseño computarizado en donde se manipulan determinadas variables por medio de un modelo que trata de explicar la realidad.

3.4.2.1. Instrumentos de investigación para la simulación

3.4.2.1.1. Ficha de entrada para la simulación para la rotonda o el Trébol

La ficha de entrada para la simulación en esta investigación consiste en un conjunto de datos sistematizado que representa las condiciones necesarias para el proceso de simulación de tráfico en programa Vissim y Viswalk por la cual se evalúa la

infraestructura actual y proyectada. Por lo que a continuación se presentan los datos de entrada al programa:

- Imagen a escala de la zona de estudio
- Número y ancho de carriles de rutas vehiculares
- Número y ancho de carriles de rutas peatonales
- Tipos de vehículos
- Aforo de vehículos por acceso
- Aforo de peatones por ruta
- Aforo de vehículos por ruta
- Tiempo semafórico
- Velocidad de vehículos
- Velocidad de peatones

3.4.2.1.2. Ficha de resultados de la simulación

La ficha de resultados es una exposición de la estimación de la realidad del tráfico actual en la rotonda y también nos expone una estimación como pronóstico del comportamiento del tráfico de la rotonda en el año 2042 y en el Trébol, que es presentada como alternativa de solución, cuyos datos de salida son: Cola, demora y nivel de servicio. En la Figura 22 se aprecia la ficha de entrada y salida utilizada para ejecutar la técnica de simulación en la investigación.

Figura22.
Ficha de entrada y salida de datos para el programa Vissim y Viswalk.

N°

FICHA DE ENTRADA Y SALIDA DE DATOS PARA EL PROGRAMA DE SIMULACION VISSIM Y VISWALK

PROYECTO: SIMULACIÓN DE TRÁFICO CON EL SOFTWARE VISSIM Y VISWALK PARA EL DISEÑO DE UN TREBOL DE INTERCAMBIO VIAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR CON LA AVENIDA ESTUDIANTE EN SALCEDO - PUÑO - 2020

AUTOR: ZENAIDA VERÓNICA CHOQUE CARRASCO

Ítem	Esquema	DESCRIPCIÓN: REGISTROS PROYECTADO CON LOS DATOS DEL AÑO	VARIABLE DE ENTRADA
1	V1 D1 - Capacidad de carril	Geometría- Rutas vehiculares	
		Geometría- Rutas peatonales	
		Tiempo semaforico	
		Aforo vehicular	
		Aforo peatonal	
		Velocidad de vehiculos	
		Velocidad de Peatones	
2	V1 D2 - Demora		VARIABLE DE SALIDA
3	V1 D3 - Cola		VARIABLE DE SALIDA
4	V1D4: Nivel de Servicio		VARIABLE DE SALIDA

Fuente: Elaboración propia

3.5. Métodos de análisis

Según Lopera et al.(2010), este método de análisis consiste en un método para llegar a un resultado, analizando un acontecimiento en función a sus componentes. Por lo tanto, esta investigación de tesis usa un método de análisis computacional, donde se utiliza la simulación de tráfico con el programa de Vissim y Viswalk, que se basa en la teoría del HCM – 2010 desarrollada en el marco teórico de esta investigación.

3.5.1. Procedimiento de recolección de datos y procesamiento de resultados

El procedimiento de la investigación, para la recolección de datos y procesamiento de resultados se realiza tal como se especifica en el diagrama de flujo, mostrado en la Figura 23, y cuyos procesos se describen a continuación:

PASO I: Se realiza el planteamiento del problema y se determina los objetivos que se quiere conseguir con la investigación.

PASO II: Se identifica la infraestructura existente en la zona de investigación, y se procede a recolectar los datos del tráfico vehicular y peatonal que transitan por la rotonda, durante 7 días de la semana en sus 24 horas.

PASO III: Se procesa la información recolectada de los 7 días, obteniendo el aforo vehicular actual que es por día y hora; identificando la hora donde existe mayor demanda de vehículos que se encontró durante la semana, para posteriormente volver a tener un registro de datos en ese día y hora en particular.

PASO IV: Se realiza el registro del tráfico en la hora identificada en el paso anterior.

PASO V: Se realiza la simulación de la rotonda empleando el programa Vissim y Viswalk utilizando los datos obtenidos del registro realizado en campo de la hora de mayor demanda vehicular, considerando el Factor de Hora Pico, y peatonal para el año



2022, que vendría ser el año actual y posteriormente se realiza una simulación de tráfico con los datos proyectados para el año 2042, también de la hora máxima.

PASO VI: Para el año 2022 y 2042, se analiza los resultados de las dimensiones de: capacidad de carril, demora, longitud de cola y nivel de servicio en la rotonda, comparados con los estándares que deben cumplir para tener una capacidad operacional óptima. En el análisis de resultados, si los parámetros cumplen con los estándares exigidos para el año 2042, entonces la rotonda podrá cumplir con la demanda de vehículos que transiten por la zona y no necesitaría la propuesta de una solución, y se llegaría a su culminación, caso contrario si los parámetros de evaluación no cumplen con los exigido por las normas, se plantea una alternativa de solución.

PASO VII: Para realizar el diseño de la alternativa de solución, se procede al cálculo del IMDA y la proyección a futuro al año 2042.

PASO VIII: La alternativa de solución planteada es una estructura a desnivel, un Trébol de dos hojas, diseñada con los parámetros exigidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante su Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018, que es su versión actual.

PASO IX: Luego de diseñar el Trébol, se simula la nueva infraestructura con el programa de Vissim y Viswalk, con los datos del tráfico proyectados al 2042.

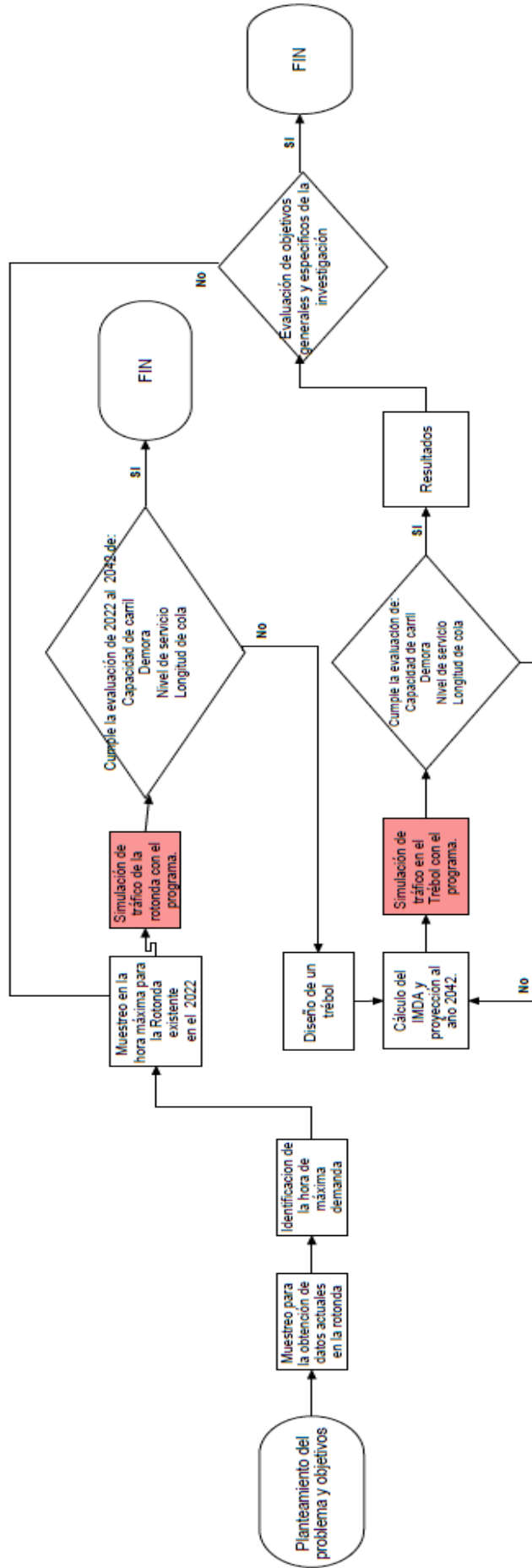
PASO X: Se obtiene las dimensiones de: capacidad de carril, demora, cola y nivel de servicio. Si las dimensiones cumplen con los estándares exigidos por la norma HCM - 2010, entonces la alternativa propuesta cumpliría con la solución del problema y juntamente con los objetivos, caso contrario se vuelve a verificar o hacer las modificaciones pertinentes en el diseño geométrico.



PASO XI: Se obtienen los resultados finales con las dimensiones definidas del diseño geométrico del Trébol y su verificación correcta de capacidad operacional en cuanto al tráfico.

PASO XII: El diseño geométrico y la capacidad operacional cumplen con las normas exigidas y con la solución al problema planteado y los objetivos del estudio, asimismo se da la conclusión a la presente investigación.

Figura 23.
Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos y procesamiento de resultados de la investigación.

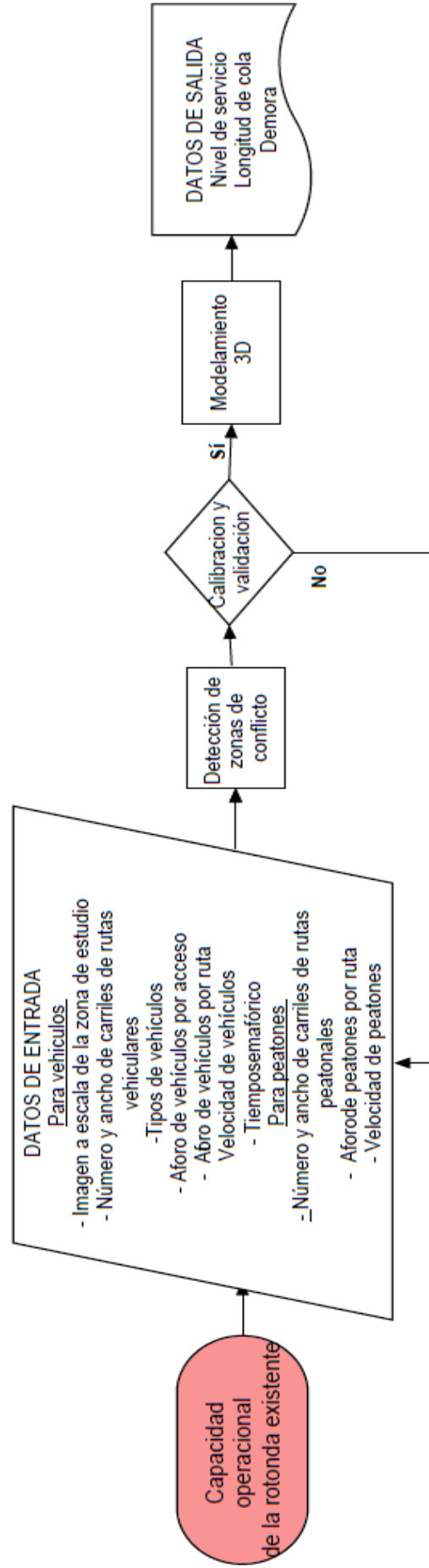


Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Proceso de simulación en el programa para la rotonda existente

Figura 24.

Diagrama de flujo del proceso de simulación en el programa *Vissim* y *Viswalk* para la rotonda existente.

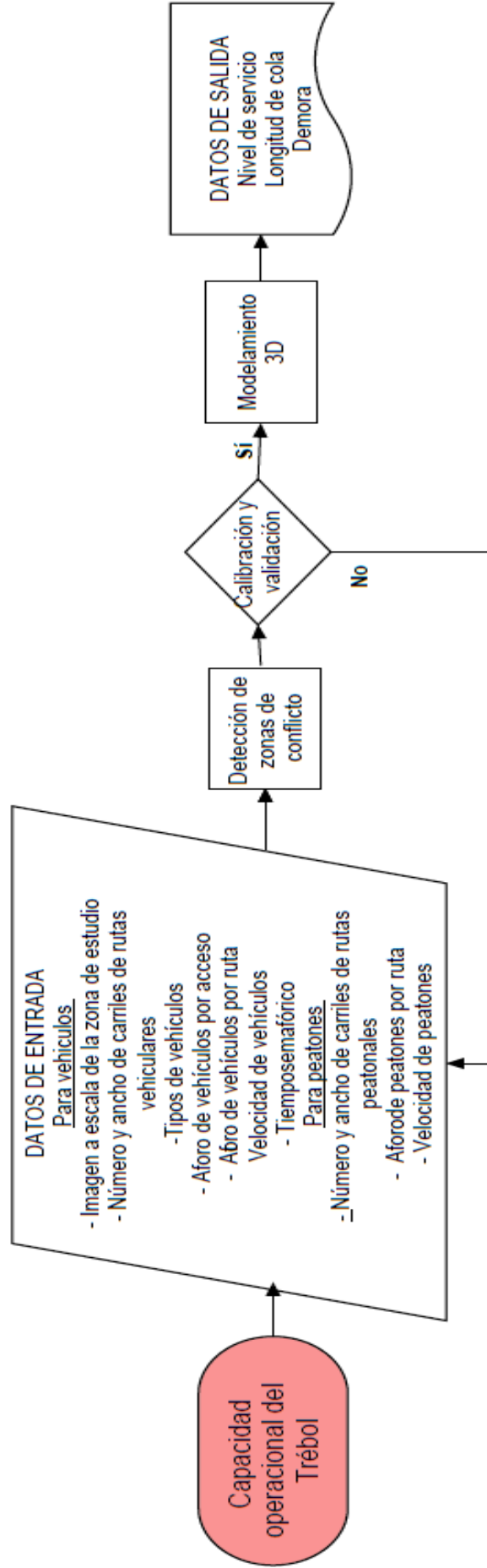


Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Proceso de simulación en el programa para el Trébol

Figura 25

Diagrama de flujo del proceso de simulación en el programa de Vissim y Viswalk para el Trébol.



Fuente: Elaboración propia

3.5.3.1. Simulación en el programa Vissim y Viswalk para los diseños de la investigación de rotonda y Trébol.

El proceso de simulación abarca con la introducción de datos de entrada y la obtención de datos de salida, tanto para la rotonda y el Trébol, es como se muestra en los diagramas de flujo de la Figura 24 y Figura 25 respectivamente y se describen a continuación:

PASO I: Se quiere verificar la capacidad de operación que tiene la rotonda.

PASO II: Ingresar los datos de entrada que exige el programa, tales como: Imagen de fondo, rutas vehiculares y peatonales, tipos de vehículos, aforo de vehículos y peatones por acceso, aforo de vehículos y peatones por ruta, ubicación y cantidad de dispositivos de control de tránsito.

PASO III: Cuando los datos de entrada sean ingresados se realiza la detección y corrección de las zonas de conflicto, con base a un orden de prioridad que se le pueda dar a los movimientos vehiculares y peatonales, sobre otros.

PASO IV: Resueltos los pasos anteriores, se realizó la calibración y validación de los datos, mediante la formula estadística GHE, comparando los datos de entrada del programa de Vissim y Viswalk con los obtenidos en campo, específicamente con el aforo vehicular, que presenta mayor representación. Si los datos están calibrados se puede pasar al siguiente paso, caso contrario es necesario verificar la correcta introducción de los datos del aforo vehicular, que en este caso resultaron estar dentro del rango.

PASO V: Se recrea un modelamiento 3D, para tener una mejor presentación, que es una de las bondades del programa que otros programas no ofrecen.

PASO VI: Se obtienen los resultados finales de: nivel de servicio, longitud de cola y tiempo de demora, que se considera como datos de salida.



CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados preliminares

4.1.1. Ubicación de la zona del estudio

REGIÓN	:	Puno
PROVINCIA	:	Puno
DISTRITO	:	Puno

4.1.2. Características generales de la zona de estudio

El lugar de estudio es el cruce de la avenida Estudiante y la Carretera Panamericana Sur Km. 1369+484 (Puno - Desaguadero), cuyos accesos son:

Por el Este, empalma con la carretera Desaguadero - Puno, una carretera pavimentada con un carril en cada dirección constituye la mayor parte de la carretera, el ancho de vía es de 3.60 metros cada uno.

Por el Oeste, empalma con la prolongación de la avenida Ejército, compuesto por una carretera asfaltada de dos carriles en cada dirección.

Por el Sur, empalma con la avenida Estudiante acceso al Centro Poblado de Salcedo, que tiene una carretera asfaltada con dos carriles en cada sentido, de 3.3 m de ancho cada uno, y un separador central de 6,00 m de ancho.

Actualmente la dirección 0+000 está en la Prolongación Av. Ejército, una carretera de dos carriles por sentido. A medida que avanza el Km. La rotonda se encuentra en el 0+815,25, que está en la carretera Puno - Desaguadero, una carretera de un solo carril por sentido. La rotonda posee componentes de distribución de tráfico en forma triangular, conformada por veredas en el perímetro. En la Figura 26, se aprecia una vista satelital del lugar de investigación.

Figura 26.
Vista satelital del lugar de estudio

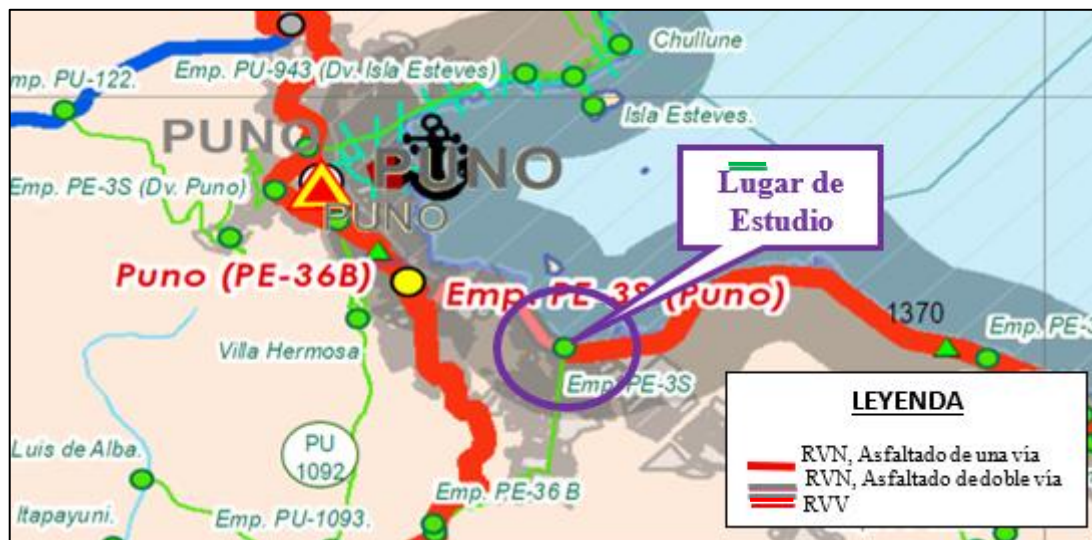


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Descripción vial de la zona de estudio

El lugar de estudio se encuentra sobre la Red Vial Nacional Sur y la Red Vial Vecinal, cuyo empalme se denomina “PE-3S”, se identifica con la letra “S” por ser parte de la zona sur del departamento de Puno (MTC-SINAC, 2016). Tal como se aprecia en la Figura 27.

Figura 27.
Zona de investigación dentro de la red vial de Puno



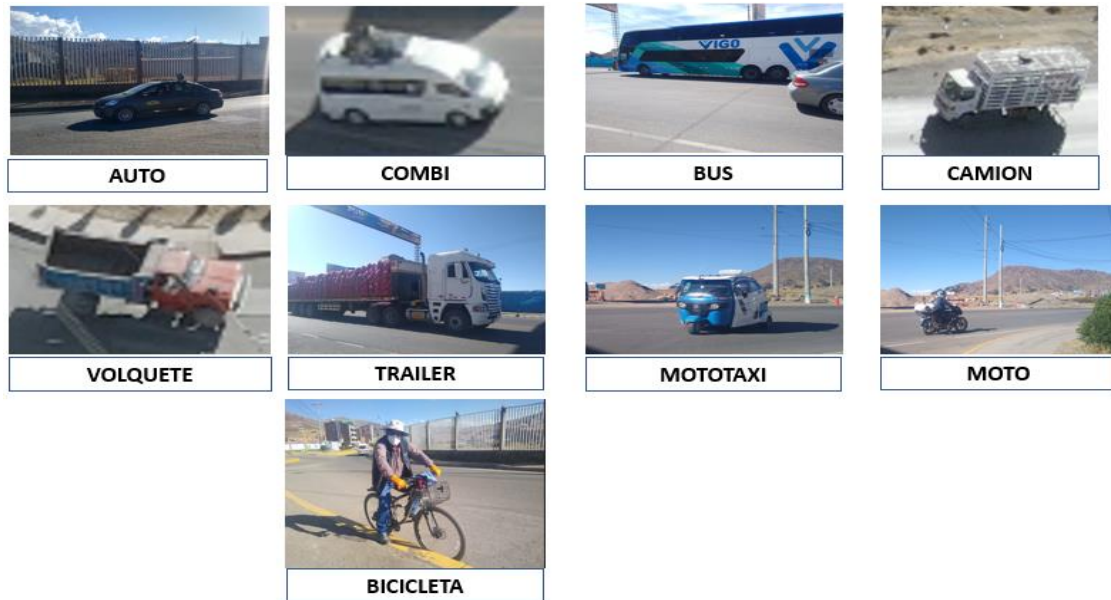
Fuente: MTC (2017)

4.1.4. Componentes vehiculares en la intersección.

Durante el aforo de vehículos, se encontró con los siguientes tipos de vehículos:

Figura 28.

Tipos de vehículos identificados en la intersección.



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Aforo vehicular durante la semana

De la Tabla 21 y Figura 29, se muestra que la cantidad de vehículos transitados durante la semana es de 120,100 vehículos, donde el acceso Oeste es el que posee la mayor cantidad de vehículos y el viernes es el día en el que circulan más vehículos. Los registros de campo y panel fotográfico se encuentran en el Anexo 1 y 2 respectivamente, para mas detalle del trabajo de campo recopilado y realizado.

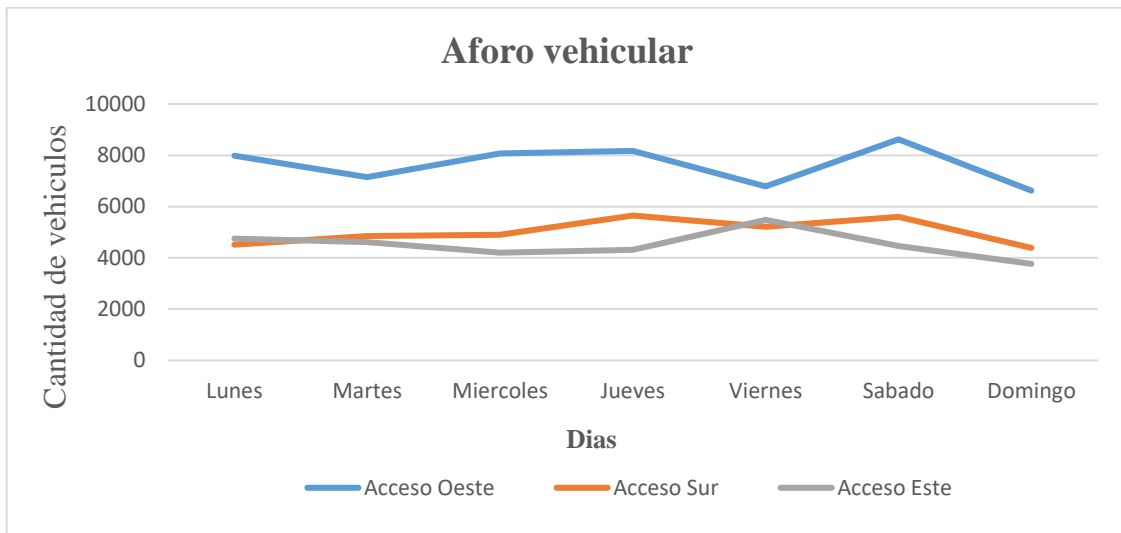
Tabla 21.

Aforo vehicular por día, durante una semana.

Acceso	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Acceso Oeste	7981	7154	8070	8175	6787	8623	6622
Acceso Sur	4509	4847	4902	5650	5210	5597	4386
Acceso Este	4745	4612	4205	4313	5480	4468	3764
Subtotal	17235	16613	17177	18138	17477	18688	14772
Total	120,100						

Fuente: Elaboración propia

Figura 29.
Aforo vehicular por día, 2022



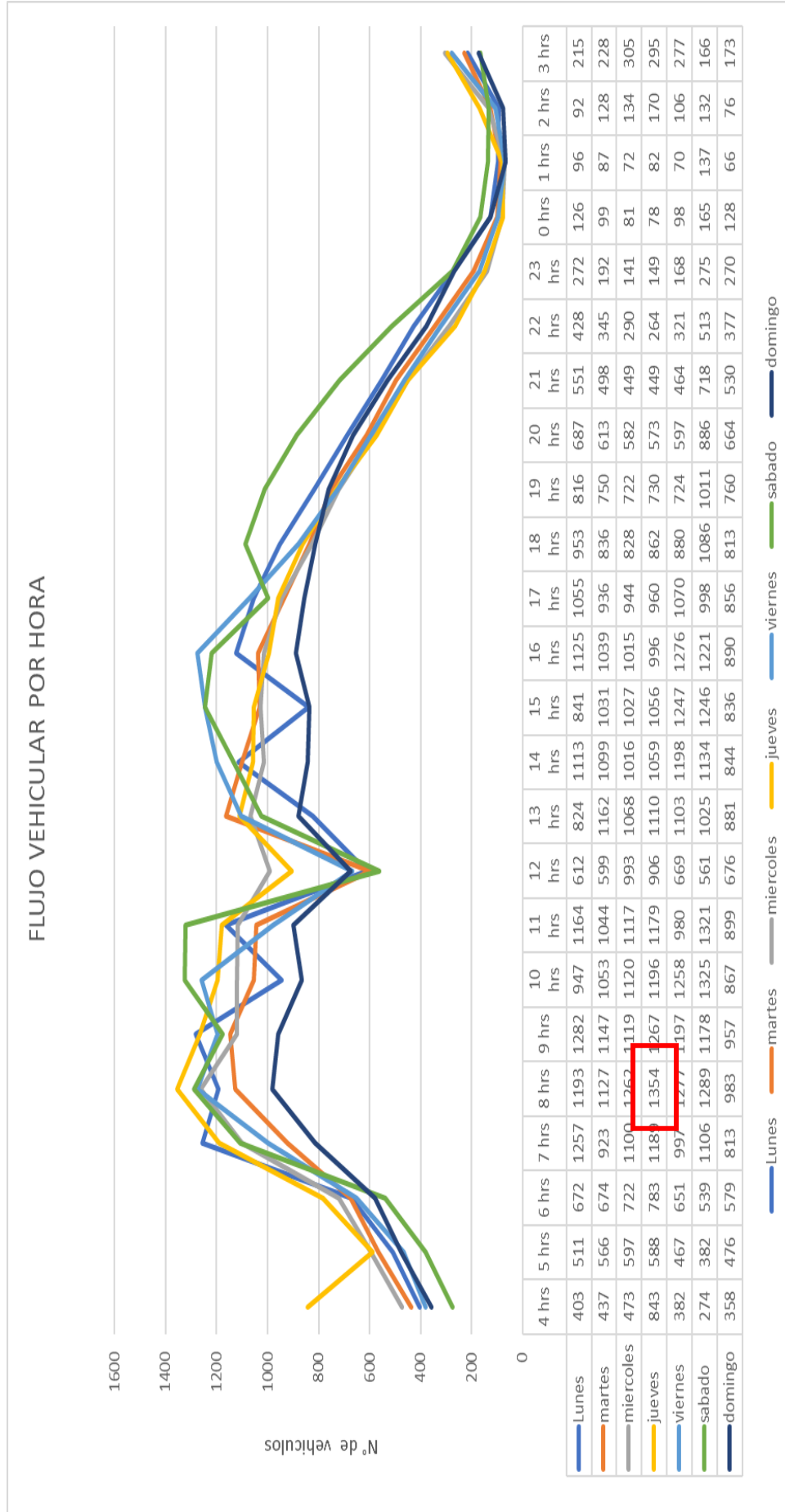
Fuente: Elaboración propia

El procesamiento de datos del aforo vehicular para la obtención de los resultados anteriores se desarrolla en el Anexo 3.

4.1.6. Hora de máxima demanda de la semana

La Tabla 22 y la Figura 30 muestra la cantidad de los vehículos que circularon por hora durante cada día de la semana del 28 de febrero al 06 de marzo y nos indica que el día jueves 03 de marzo del 2022, tiene el mayor registro de vehículos en las horas de 8:00 am a 9:00 am, donde se registra 1354 vehículos, pero teniendo en cuenta que más adelante se realiza nuevos aforos de vehículos y peatones, el día jueves 15 de julio del 2022 de 8:00 am a 9:00 am, y tener información requerida para la simulación con el programa de Vissim y Viswalk.

Figura30.
Flujo vehicular por hora para una semana de registro, 2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.*Aforo vehicular por hora durante una semana, 2022*

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
4 hrs	403	437	473	843	382	274	358
5 hrs	511	566	597	588	467	382	476
6 hrs	672	674	722	783	651	539	579
7 hrs	1257	923	1100	1189	997	1106	813
8 hrs	1193	1127	1262	1354	1277	1289	983
9 hrs	1282	1147	1119	1267	1197	1178	957
10 hrs	947	1053	1120	1196	1258	1325	867
11 hrs	1164	1044	1117	1179	980	1321	899
12 hrs	612	599	993	906	669	561	676
13 hrs	824	1162	1068	1110	1103	1025	881
14 hrs	1113	1099	1016	1059	1198	1134	844
15 hrs	841	1031	1027	1056	1247	1246	836
16 hrs	1125	1039	1015	996	1276	1221	890
17 hrs	1055	936	944	960	1070	998	856
18 hrs	953	836	828	862	880	1086	813
19 hrs	816	750	722	730	724	1011	760
20 hrs	687	613	582	573	597	886	664
21 hrs	551	498	449	449	464	718	530
22 hrs	428	345	290	264	321	513	377
23 hrs	272	192	141	149	168	275	270
0 hrs	126	99	81	78	98	165	128
1 hrs	96	87	72	82	70	137	66
2 hrs	92	128	134	170	106	132	76
3 hrs	215	228	305	295	277	166	173

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados del análisis del tráfico vehicular y peatonal en la rotonda para el 2022 y su proyección al año 2042.

Para cumplir este objetivo se usa las fichas “ER22, SR22, ER42 Y SR42” el desarrollo de las fichas se encuentra en el Anexo 4, junto al desarrollo paso a paso en el programa de Vissim y Viswalk, que está expuesto detalladamente en el Anexo 5. Estos resultados son los obtenidos del aforo de vehículos y peatones registrados de la videograbación con dron del día jueves 15 de julio del 2022 de 8: 00am a 9:00 am, que es la hora de máxima o mayor demanda, considerando el Factor de Hora Pico y que se

utilizará para la simulación del tráfico con los programas de Vissim y Viswalk, para este último procesamiento de datos se encuentra desarrollado en el Anexo 4.

4.2.1. Resultados obtenidos para la rotonda en el año 2022, en la hora de mayor

demanda

4.2.1.1. Capacidad de carril

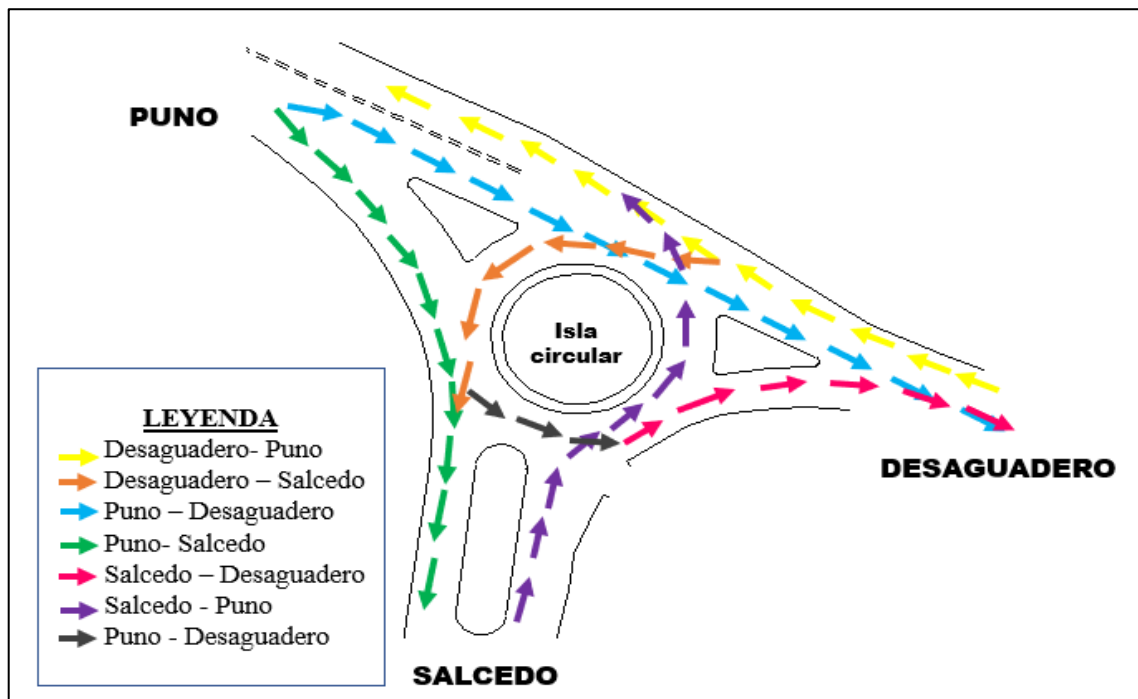
4.2.1.1.1. Geometría

A. Ancho de carril vehicular

De la Figura 31 y Tabla 23 se muestra la rotonda de estudio de la intersección de la Panamericana Sur con la Av. Estudiante, Salcedo- Puno, que posee 6 rutas vehiculares, cada color representa una ruta vehicular, tal como la ruta Desaguadero – Puno posee 1 solo carril de 3.60 m de ancho y su opuesto la ruta Puno – Desaguadero, tiene un carril de 3.60 m de ancho también.

Figura 31.

Rutas vehiculares identificadas en la rotonda existente



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Datos geométricos de los carriles en la rotonda existente

Rutas vehiculares	N° de carriles	Ancho del carril
ACCESO ESTE		
Carril de la ruta Desaguadero - Puno	1	3.60
Carril de la ruta Desaguadero- Salcedo	1	3.60
ACCESO SUR		
Carril de la ruta Salcedo – Desaguadero	1	3.3
Carril de la ruta Salcedo – Puno	2	3.3
ACCESO OESTE		
Carril de la ruta Puno – Salcedo	2	3.60
Carril de la ruta Puno – Desaguadero	2	3.60

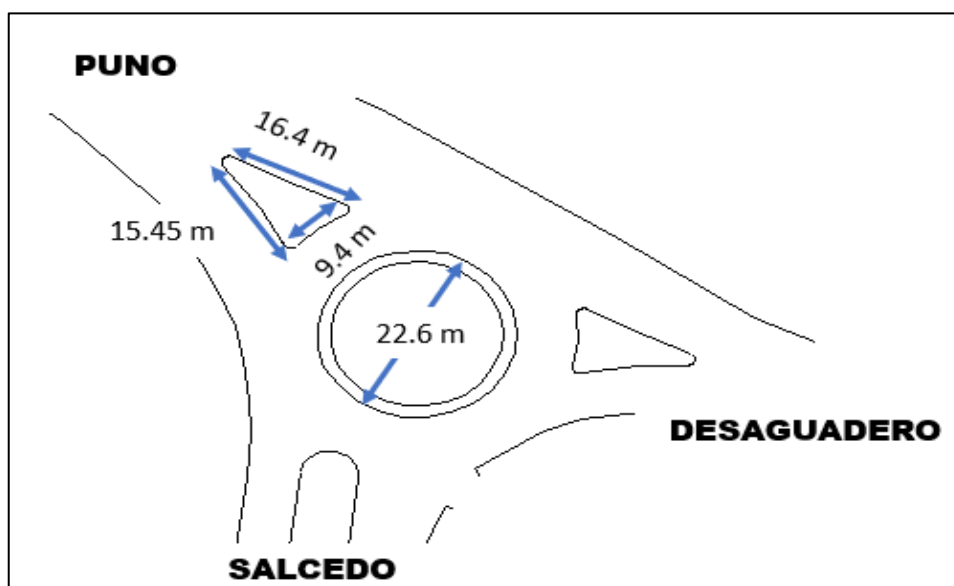
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 32 y Tabla 24, muestra las dimensiones del componente central y los

2 componentes laterales de la rotonda

Figura 32.

Medidas de los componentes de la rotonda existente.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

Datos geométricos de la rotonda existente.

Ubicación	Longitud	Observación
Isla central	22.6 m	Diámetro mayor
	20.6 m	Diámetro menor
Isla lateral	16.4 m	Lateral 1
	15.4 m	Lateral 2
	9.4 m	Lateral 3

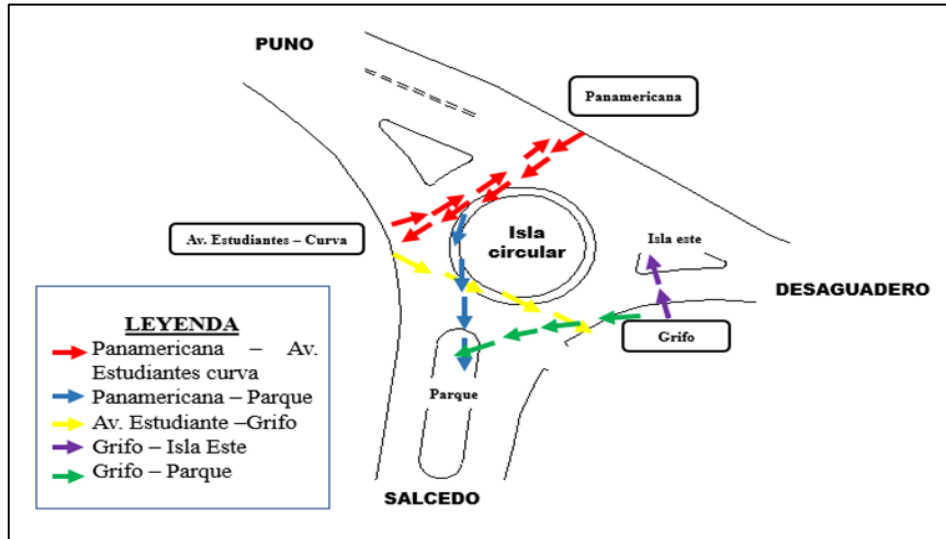
Fuente: Elaboración propia

B. Ancho de carril peatonal

De la Figura 33, se muestra 5 rutas que siguen los peatones, y en su camino ocupan un ancho de 1m para su desplazamiento.

Figura 33.

Rutas peatonales identificadas en la rotonda existente



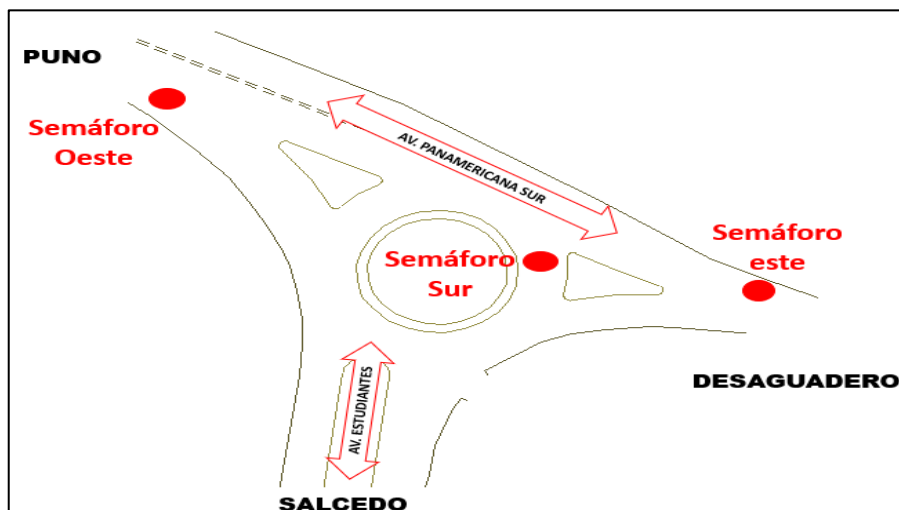
Fuente: Elaboración propia

C. Tiempo Semafórico

De la Figura 34 y Tabla 25, la intersección de lugar de estudio presenta tres semáforos que controlan la circulación vehicular. La duración de tiempo de los colores verde, ámbar y rojo, son de 45 seg. para el verde, rojo y de 3 seg. para el color amarillo.

Figura 34.

Ubicación de los semáforos en la rotonda existente



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25.
Tiempo semafórico por fase

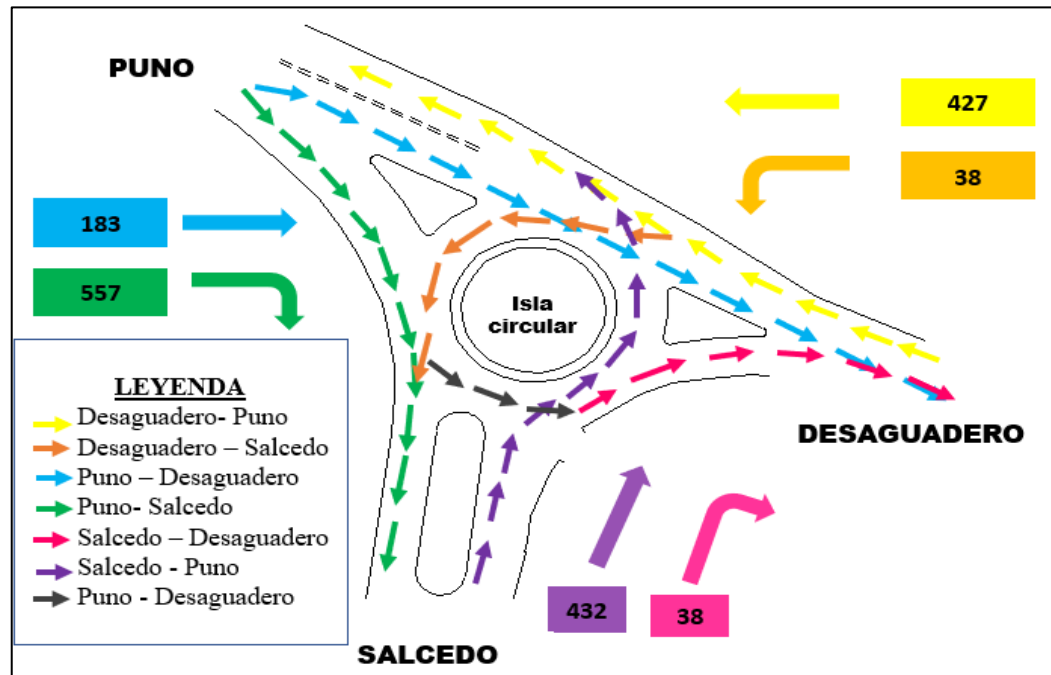
Semáforo	Fase	Tiempo (s)
ESTE	ROJO	45
	ÁMBAR	3
	VERDE	45
SUR	ROJO	45
	ÁMBAR	3
	VERDE	45
OESTE	ROJO	45
	ÁMBAR	3
	VERDE	45

Fuente: Elaboración propia

D. Aforo vehicular

De la Figura 35 y Tabla 26, se muestra el volumen vehicular por cada ruta vehicular, donde 557 vehículos, es la mayor cantidad, para la ruta Puno- Salcedo, en una hora. Para la rotonda, durante la hora se registró un total de 1673 vehículos en total, incluyendo las bicicletas.

Figura 35.
Volumen vehicular por ruta en la hora de mayor demanda,2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.
Cantidad de vehículos por tipo en la hora de mayor demanda, 2022

Acceso	Vehículo	Camioneta*	Combi	Bus	Camión **	Tráiler ***	Mototaxi	Moto	Bicicleta
ACCESO ESTE		243	118	2	38	3	21	38	2
Desaguadero – Puno		220	116	2	34	3	20	30	2
Desaguadero- Salcedo		23	2	0	4	0	1	8	0
ACCESO SUR		257	135	0	20	1	25	27	5
Salcedo – Desaguadero		20	7	0	5	0	1	4	1
Salcedo – Puno		237	128	0	15	1	24	23	4
ACCESO OESTE		413	216	2	28	3	23	48	7
Puno – Salcedo		311	167	0	18	2	17	35	7
Puno – Desaguadero		102	49	2	10	1	6	13	0
SUBTOTAL		913	469	4	86	7	69	113	14
TOTAL									1673

* Para este ítem se incluye los autos

** Para este ítem se incluye al volquete

*** Para este ítem se incluye a la cisterna

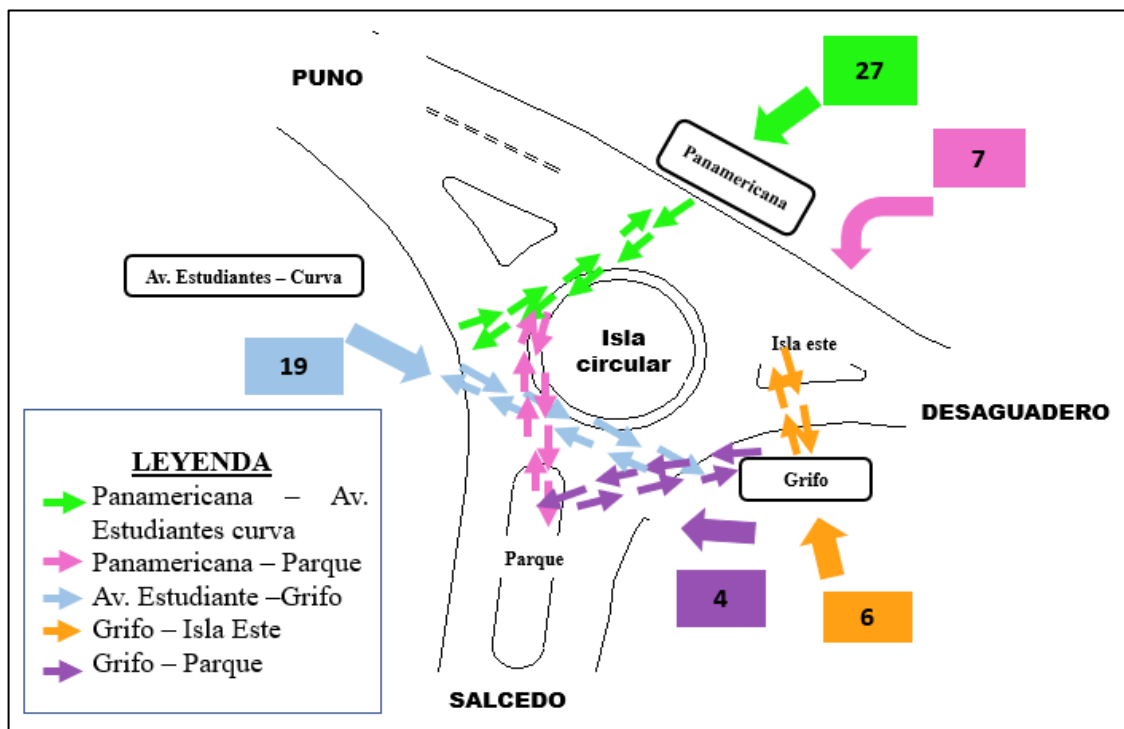
Fuente: Elaboración propia

E. Aforo peatonal:

Tal como se aprecia en la Figura 36 y la Tabla 27, en la hora de máxima demanda peatonal se tuvo 27 peatones que cruzaron desde la Panamericana Sur hasta la Av. Estudiante (curva), siendo este la mayor cantidad que las otras 4 rutas en las que los existe un reducido tránsito de peatones, por lo que durante la hora punta transitan 63 peatones en total, para el año 2022.

Figura 36.

Aforo peatonal por ruta en la hora de mayor demanda



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27.

Volumen peatonal por ruta en la hora de mayor demanda, 2022

Ruta peatonal	Total (personas)
Av. Panamericana - Av. Estudiante(curva)	27
Av. Panamericana – Parque	7
Av. Estudiantes – Grifo	19
Grifo - Isla este (Semáforo)	6
Grifo - Parque	4
Total	63

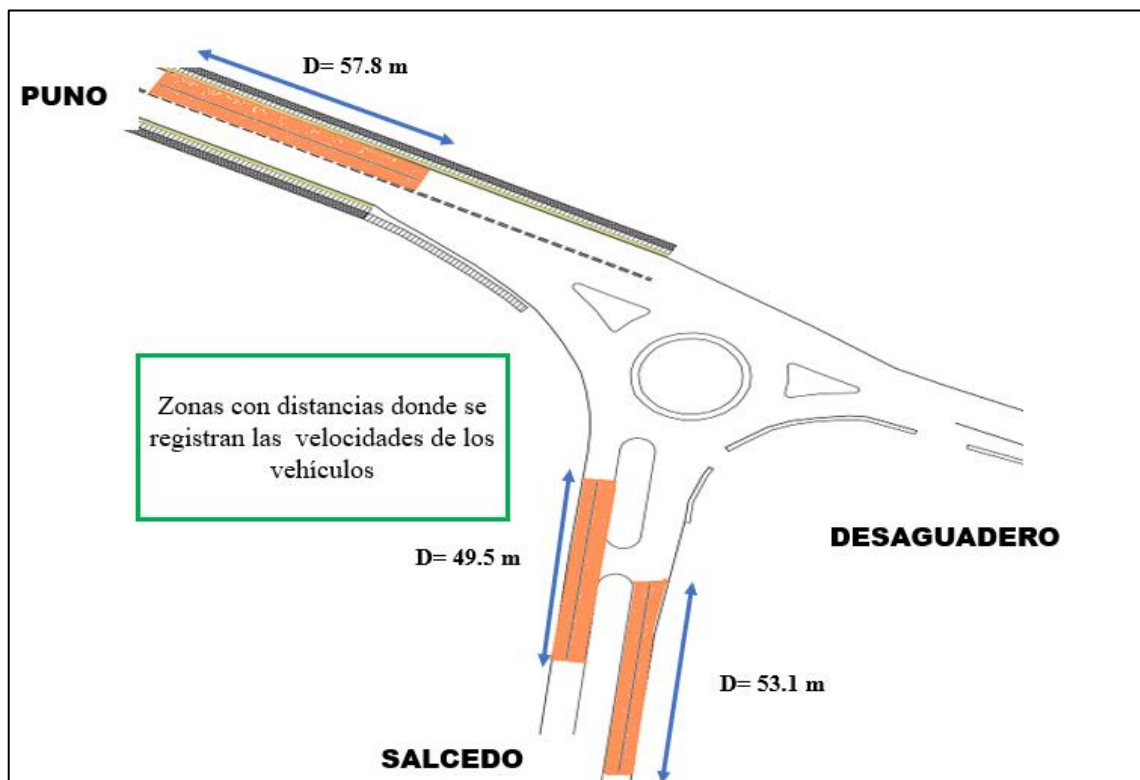
Fuente: Elaboración propia

F. Velocidades vehiculares

De la Figura 37 y Tabla 28, las zonas para estudio de velocidades fueron 3 con longitudes de 57.8 m, 49.5m y 53.1m, de los accesos Este, Oeste y Sur respectivamente, donde se obtuvo velocidades para todos los tipos de vehículos que cruzaron por esos puntos, donde las camionetas y autos circulan con velocidades más altas de hasta 50 km/h y las bicicletas circulan hasta con 12 km/h y es de las más bajas.

Figura 37.

Distancias y ubicación del lugar de registro para velocidades de vehículos.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.

Velocidades de los vehículos por acceso

Tipo de vehículo	Acceso este (km/h)	Acceso sur (km/h)	Acceso oeste (km/h)
Camioneta *	50	40	30
Combi	40	40	40
Bus	30	–	30
Camión**	30	30	30
Tráiler***	20	20	15
Mototaxi	30	30	40
Moto	40	40	40
Bicicleta	20	12	12

Tipo de vehículo	Acceso este (km/h)	Acceso sur (km/h)	Acceso oeste (km/h)
------------------	-----------------------	----------------------	------------------------

* Para este ítem se incluye los autos

** Para este ítem se incluye al volquete

*** Para este ítem se incluye a la cisterna

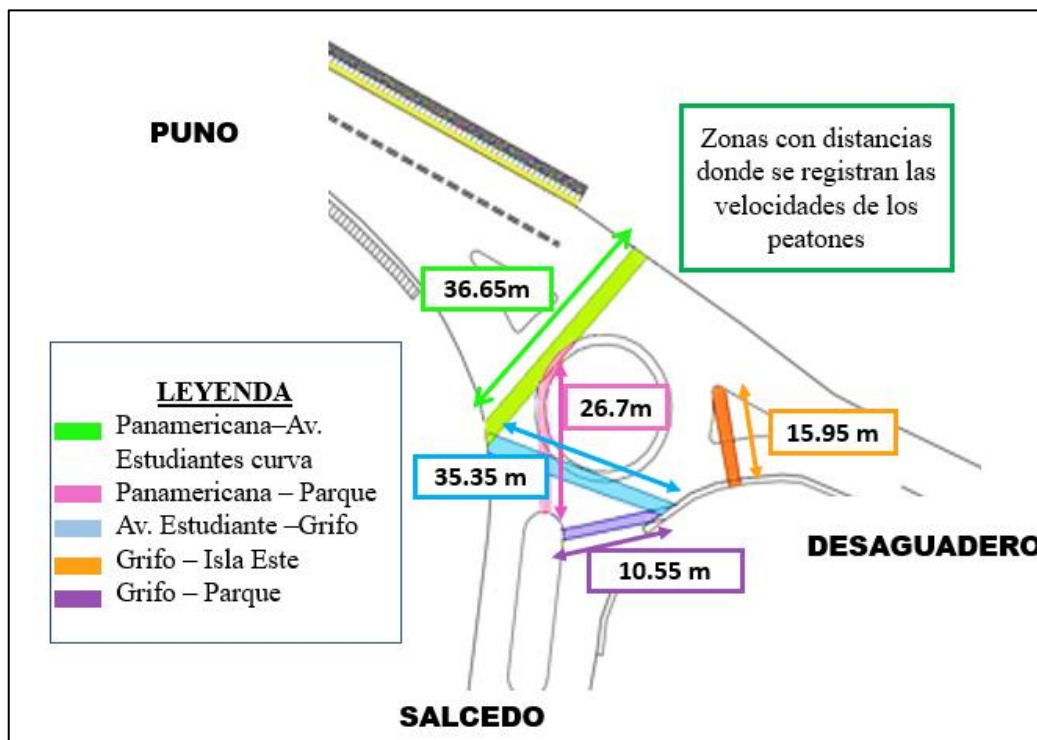
Fuente: Elaboración propia

G. Velocidad para peatones

De la Figura 38 y Tabla 29, el peatón recorre la distancia más larga de 36.65m desde la Panamericana hasta la Av. Estudiante, donde registra un promedio de velocidad de 6.8 km/h, y la ruta de la Av. Estudiante al Grifo con una distancia de 35.35 m registran una velocidad promedio de 2.4km/h, que es la menor de todas, y un promedio total de 4.95 km/h.

Figura 38.

Distancias y ubicación del lugar de registro para velocidades de peatones.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.*Velocidades de los peatones por ruta peatonal*

Ruta peatonal	Velocidad (km/h)
Panamericana - Av. Estudiante(curva)	6.8
Panamericana – Parque	4.9
Av. Estudiantes – Grifo	2.4
Grifo - Isla este (Semáforo)	4.46
Grifo - Parque	6.18
Promedio total	4.95

Fuente: Elaboración propia

H. Calibración y Validación

De la Tabla 30, el valor de GEH en todos los casos para cada tipo de vehículo es menor a 5.0, que tal como se acerca a 0 se le considera una adecuación buena entre el modelado y los volúmenes/hora observados en campo para esta investigación.

Tabla 30.*Cuadro comparativo de calibración del software*

	Modelado (M)	Aforado (C)	GEH
Auto	913	913	0.13
Tráiler	7	7	0.00
Camiones	89	86	0.23
Bus	2	2	0.00
Combi	479	469	0.19
Bicicleta	13	14	0.08
Moto	114	113	0.17
Mototaxi	71	69	0.15

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2. Tiempo de Demora

De la Tabla 31 y Figura 39, la ruta Desaguadero – Salcedo tiene mayor tiempo de demora con 30.68 segundos por vehículos, por lo que la rotonda posee un promedio de 20.0 segundos por vehículos, es decir que en ese tiempo en promedio los vehículos salen de la intersección.

Tabla 31.

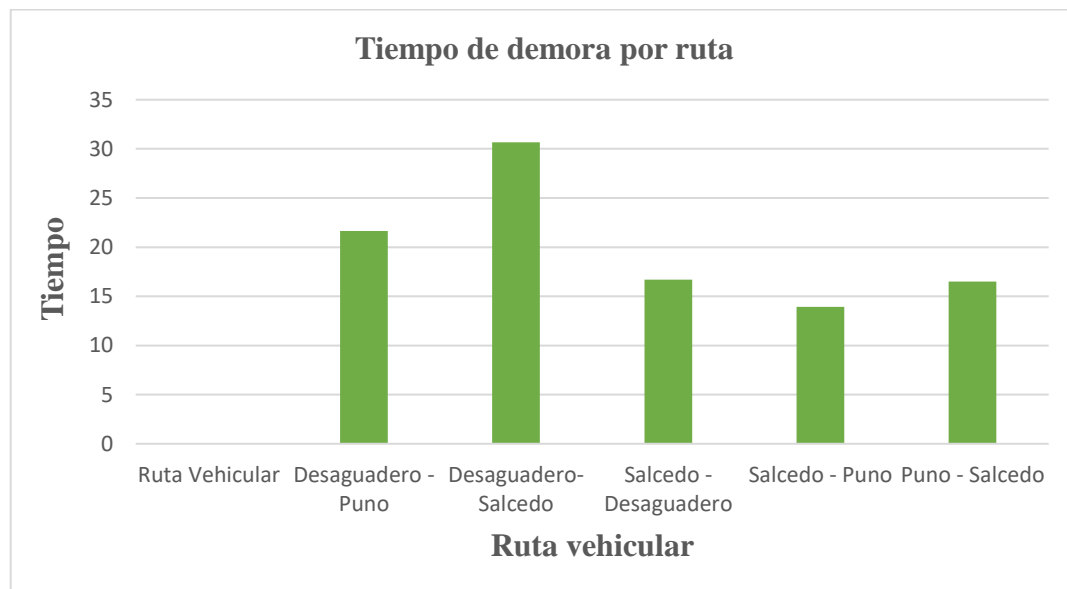
Tiempo de demora por ruta vehicular en la hora de mayor demanda

Ruta Vehicular	Tiempo de demora (seg/ veh)
Desaguadero – Puno	21.66
Desaguadero- Salcedo	30.68
Salcedo – Desaguadero	16.71
Salcedo – Puno	13.92
Puno – Salcedo	16.51
Puno – Desaguadero	20.52
Promedio total de rotonda	20.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 39.

Tiempo de demora por ruta de vehicular en la hora de mayor demanda



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3. Longitud de cola

De la Tabla 32 y Figura 40, la ruta Puno- Salcedo posee la mayor longitud de cola con 96.76 m, siendo un promedio de 77.06 m de toda la rotonda, en el grafico se representa con el color rojo.

Tabla 32.

Longitud de cola por rutas vehiculares y de la rotonda.

Ruta Vehicular	Long. de cola (m)
Desaguadero – Puno	88
Desaguadero- Salcedo	88
Salcedo – Desaguadero	46.42
Salcedo – Puno	46.42
Puno – Salcedo	96.76
Puno – Desaguadero	96.76
Promedio total de la rotonda	77.06

Fuente: Elaboración propia

Figura 40.

Longitud cola por rutas vehiculares.



Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4. Nivel de servicio

De la Tabla 33 y Figura 41, el promedio del nivel de servicio de la rotonda actualmente es de nivel 3 o C para el año 2022.

Tabla 33.

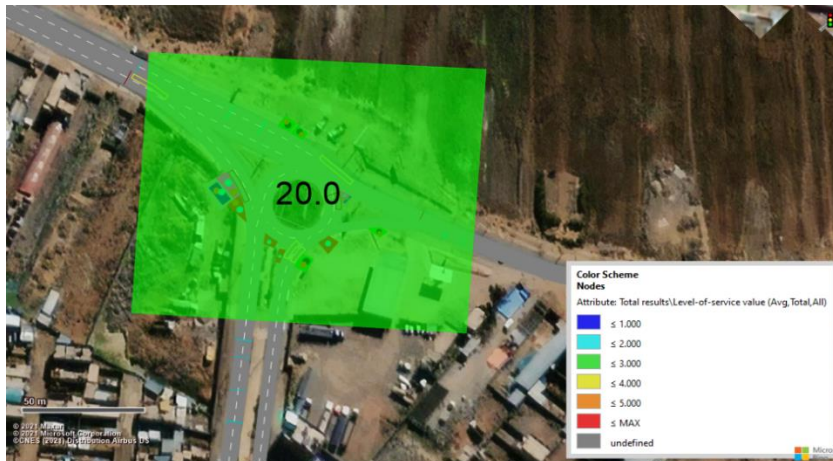
Niveles de servicio por ruta vehicular y de la rotonda.

Ruta Vehicular	Nivel de servicio
Desaguadero – Puno	3
Desaguadero- Salcedo	3
Salcedo – Desaguadero	2
Salcedo – Puno	2
Puno – Salcedo	2
Puno – Desaguadero	3
Promedio total de la rotonda	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 41.

Nivel de servicio de la intersección según el programa Vissim.



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resultados obtenidos para la rotonda en el año 2042, en la hora de mayor demanda

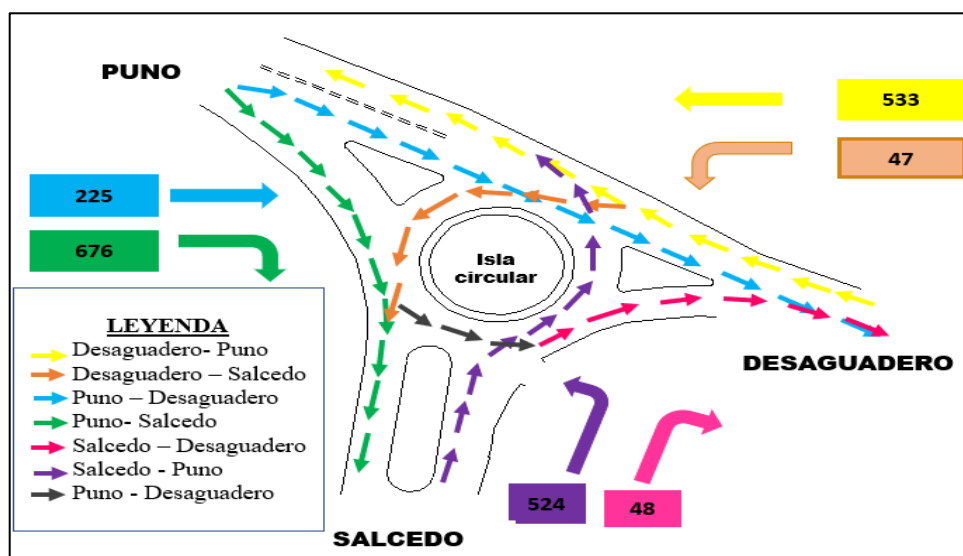
4.2.2.1. Capacidad de carril en el año 2042

4.2.2.1.1. Aforo vehicular

De la Figura 42 y la Tabla 34, la ruta Puno- Salcedo presenta 676 vehículos, que es la mayor cantidad de las otras rutas vehiculares, y en total circulan 2055 vehículos en la rotonda existente, para la proyección al año 2042.

Figura 42.

Volumen vehicular por ruta proyectado al año 2042.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34.
Volumen vehicular proyectado al 2042

Acceso	Vehículo	Camioneta*	Combi	Bus	Camión **	Tráiler ***	Mototaxi	Moto	Bicicleta
ACCESO ESTE		289	140	4	69	5	25	46	2
Desaguadero – Puno		262	138	4	62	5	24	36	2
Desaguadero- Salcedo		27	2	0	7	0	1	10	0
ACCESO SUR		306	160	0	36	2	30	32	6
Salcedo – Desaguadero		24	8	0	9	0	1	5	1
Salcedo – Puno		282	152	0	27	2	29	27	5
ACCESO OESTE		491	257	4	51	6	27	57	8
Puno – Salcedo		370	199	0	33	4	20	42	8
Puno - Desaguadero		121	58	4	18	2	7	15	0
SUBTOTAL		1086	557	8	156	13	82	135	16
TOTAL					2055				

* Para este ítem se incluye los autos

** Para este ítem se incluye al volquete

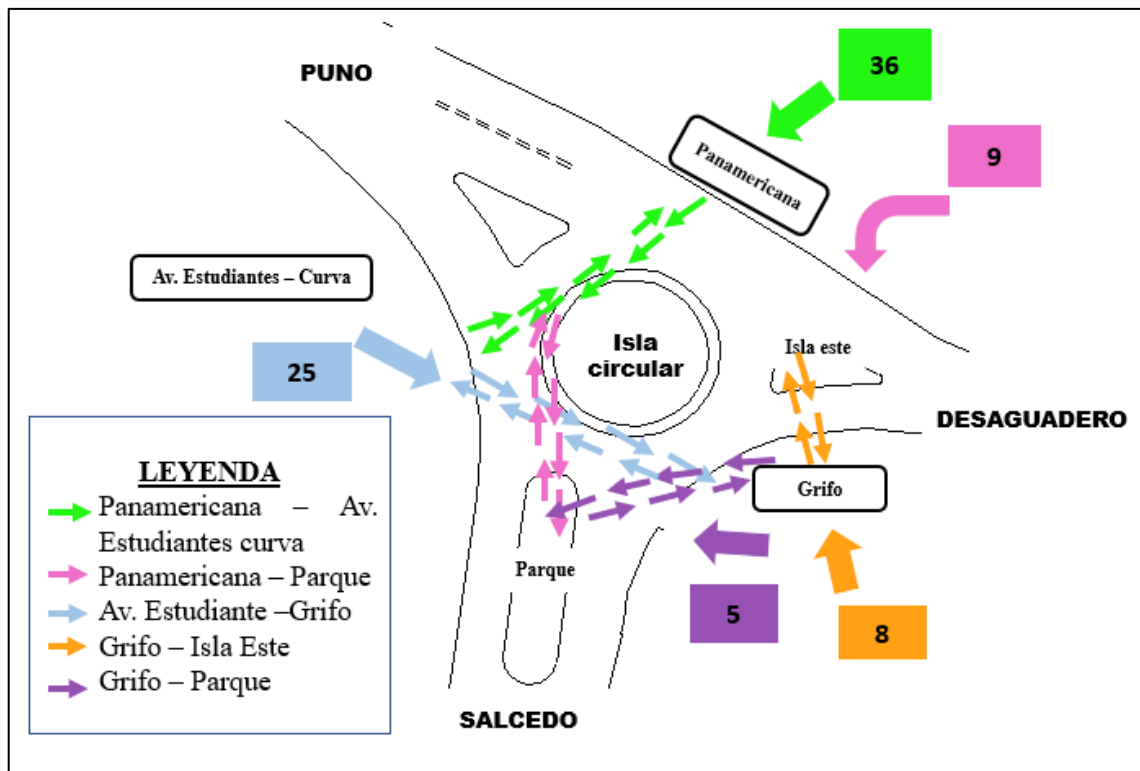
*** Para este ítem se incluye a la cisterna

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.1.2. Aforo peatonal

De la Figura 43 y la Tabla 35, se muestra el aforo vehicular de las 5 rutas peatonales, siendo la ruta Panamericana – Av. Estudiante (curva) la que tiene mayor aforo con 36 personas y en total son 83 los peatones que circulan para el año 2042 en la rotonda existente.

Figura 43.
Aforo peatonal por ruta peatonal para el año 2042.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35.
Aforo peatonal en la rotonda para el año 2042.

Ruta peatonal	Total (personas)
Panamericana - Av. Estudiante(curva)	36
Panamericana – Parque	9
Av. Estudiantes – Grifo	25
Grifo - Isla este (Semáforo)	8
Grifo - Parque	5
Total	83

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Tiempo de demora

De la Tabla 36 y la Figura 44, muestra un tiempo de demora máxima de 88.51 segundos por vehículo, en la ruta Puno – Salcedo y un promedio de tiempo para la rotonda de 55.9 segundos por vehículo.

Tabla 36

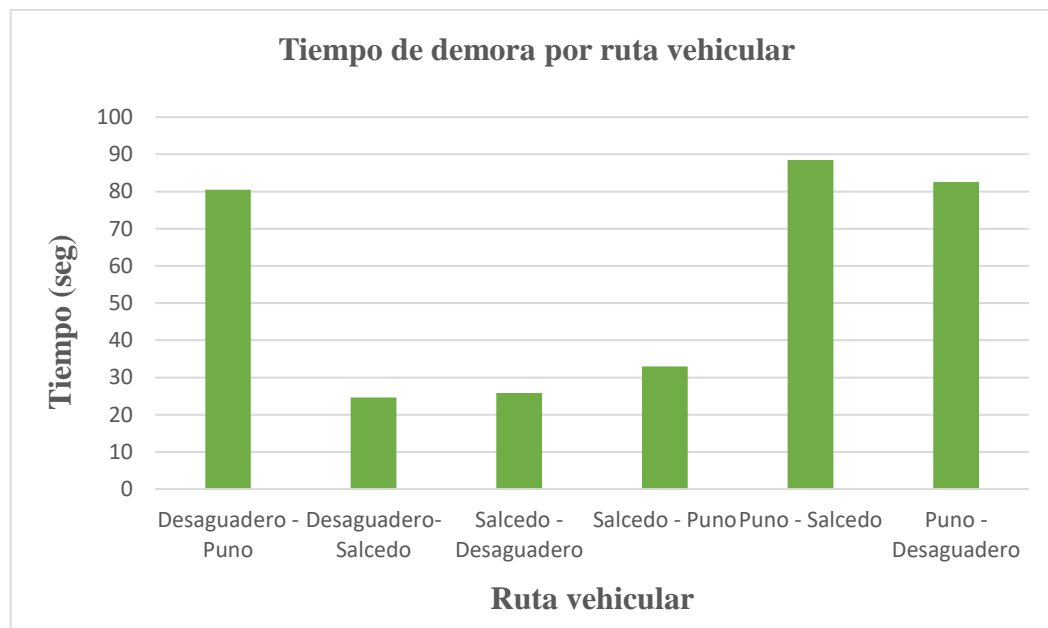
Tiempo de demora por ruta vehicular para el año 2042.

Ruta Vehicular	Tiempo de demora (seg / veh)
Desaguadero – Puno	80.51
Desaguadero- Salcedo	24.59
Salcedo – Desaguadero	25.79
Salcedo – Puno	32.96
Puno – Salcedo	88.51
Puno – Desaguadero	82.53
Promedio total de la rotonda	55.9

Fuente: Elaboración propia

Figura 44.

Tiempo de demora por ruta vehicular proyectado al año 2042



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3. Longitud de cola

De la Tabla 37 y Figura 45, se muestra una longitud de cola máxima de 299.85m en el acceso Este, de la ruta vehicular Desaguadero – Puno y Desaguadero – Salcedo, y en toda la rotonda existe un promedio de 217.26 m. de longitud de cola.

Tabla 37.

Longitud de cola por rutas vehiculares y rotonda para el año 2042.

Ruta Vehicular	Long. de cola (m)
Desaguadero – Puno	299.85
Desaguadero- Salcedo	299.85
Salcedo – Desaguadero	137.42
Salcedo – Puno	137.42
Puno – Salcedo	338.4
Puno – Desaguadero	90.62
Promedio total de la rotonda	217.26

Fuente: Elaboración propia

Figura 45.

Longitud de cola en la rotonda proyectado al año 2042



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.4. Nivel de servicio

La Tabla 38 y la Figura 46, muestra un nivel de servicio de 6 o F en la ruta Desaguadero - Puno, Puno- Salcedo, Puno- Desaguadero, y la rotonda está en un nivel de servicio promedio de 5 o E.

Tabla 38.

Niveles de servicio por ruta vehicular para el año 2042.

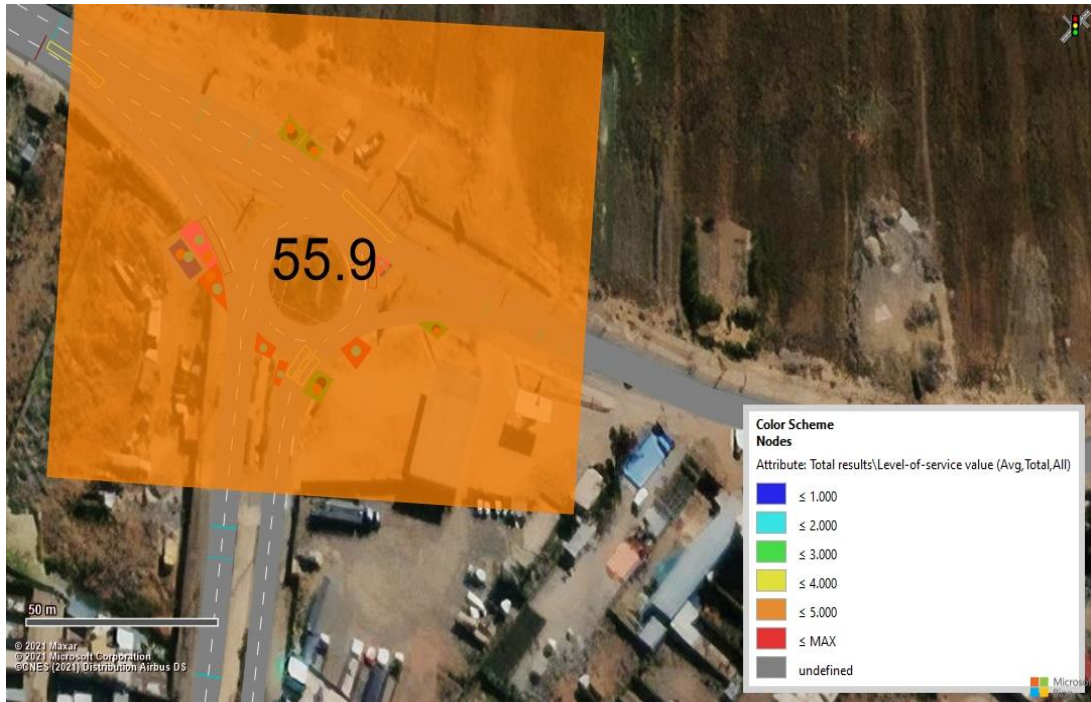
Ruta vehicular	Nivel de servicio
Desaguadero – Puno	6
Desaguadero- Salcedo	3
Salcedo – Desaguadero	3

Ruta vehicular	Nivel de servicio
Salcedo – Puno	3
Puno – Salcedo	6
Puno – Desaguadero	6
Promedio total de la rotonda	5

Fuente: Elaboración propia

Figura 46.

Nivel de servicio de la rotonda para el año 2042, con el programa Vissim.



Fuente: Elaboración propia

De igual modo para comprobar este objetivo se procede a una verificación de los resultados por medio de hojas de cálculo en Excel, la cual se muestra en la ficha de comprobación de resultados del programa de Vissim y Viswalk, que están en el Anexo 6.

4.3. Resultados del tráfico de un diseño de Trébol de intercambio vial

4.3.1. Resultados del IMDA

La Tabla 39 y la Figura 47 muestra el resultado del Índice Medio Diario Anual actual 2022 y el proyectado para el año 2042, tomando en cuenta un periodo de análisis de 20 años. El desarrollo del IMDA para cada ruta vehicular se desarrolla en el Anexo 7, para más detalle.

Tabla 39.

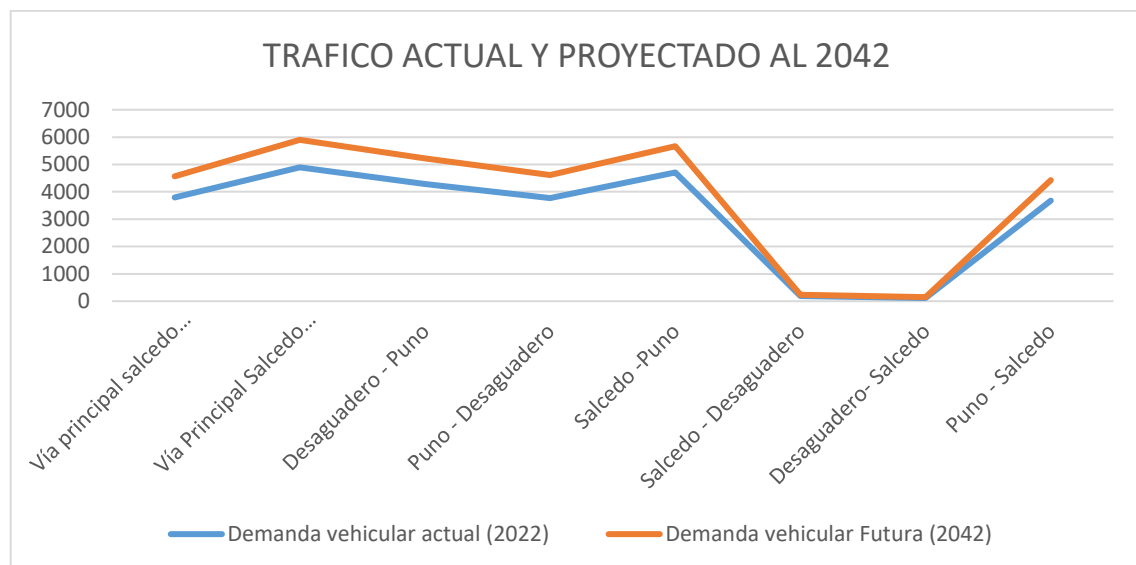
IMDA en el año 2022 y el proyectado para el año 2042.

Origen/ Destino	Demanda vehicular actual (2022)	Demanda vehicular Futura (2042)
Vía principal salcedo entrada	3797	4572
Vía Principal Salcedo salida	4895	5901
Desaguadero – Puno	4288	5227
Puno – Desaguadero	3769	4612
Salcedo -Puno	4706	5664
Salcedo – Desaguadero	189	237
Desaguadero- Salcedo	116	148
Puno – Salcedo	3681	4424

Fuente: Elaboración propia

Figura 47.

IMDA del tráfico en el año 2022 y proyectado al 2042.



Fuente: Elaboración propia

Para lo cual se tiene la propuesta, que se desarrolla a continuación, iniciando con las medidas de diseño:

4.3.2. Medidas de diseño

Para el cumplimiento de este objetivo, se toma en cuenta las consideraciones señaladas en el DG-2018, los cuales constan en la ficha de cálculo (DGT1), del diseño geométrico del Trébol y sus componentes tales como: las vías principales, los ramales y las rampas, los cuales se encuentra desarrollada en el Anexo 8.

De la Tabla 40 se tiene que las rutas de Desaguadero – Puno, Puno – Desaguadero, la vía de entrada y salida al Centro Poblado de Salcedo, tienen un ancho de calzada de 7.20 m, y todos ellos con 2 carriles por tener alta afluencia de tráfico, con pendientes máximas del 6%.

Tabla 40.

Dimensiones geométricas de las vías principales del Trébol.

Elementos de las vías principales	Puno- Desaguadero	Desaguadero - Puno	Vía principal Salcedo entrada	Vía principal Salcedo salida
Velocidad diseño de carretera (km/h)	60.0	60.0	60.0	60.0
Diseño en planta y perfil				
Distancia de Visibilidad de Paso y de Parada (m)	74.0	74.0	74.0	74.0
Sección de entrecruzamiento	0.65			
Pendiente máxima (%)	6	6	6	6
Diseño de la sección transversal				
Ancho mínimo de la Faja de Dominio (m)	30.0	30.0	30.0	30.0
Ancho de calzada (m)	7.2	7.2	7.2	7.2
Nº de carriles	2	2	2	2
Ancho de carriles (m)	3.6	3.6	3.6	3.6
Ancho del Separador central (m)	1.0		1.0	
Ancho de Bermas de Izquierda	1.0		1.0	
Ancho de Bermas de Derecha	1.0		1.0	
Bombeo de la Calzada (%)	2	2	2	2
Inclinación transversal de las bermas (%)	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 41 se tiene que los ramales de enlace directo de las rutas Salcedo-Desaguadero y Puno-Salcedo, que unen vías principales, poseen un radio 33m y 86.5 m respectivamente, con un ancho de calzada de 6.2m en el ramal de Salcedo – Desaguadero y 7m en el ramal de Puno- Salcedo.

Tabla 41.
Dimensiones geométricas de los enlaces del Trébol.

Elementos del enlace directo		Salcedo - Desaguadero	Puno - Salcedo
Clasificación de la vía			
Velocidad diseño de ramales (km/h)		35.0	35.0
Diseño en planta y perfil			
Carril de aceleración	Longitud de aceleración (m)	50.0	50.0
	Longitud de cuña (m)	13.0	13.0
	Longitud total (m)	63.0	63.0
Carril de desaceleración	Longitud de desaceleración (m)	21.0	21.0
	Longitud de cuña (m)	55.0	55.0
	Longitud total (m)	76.0	76.0
Pendiente (%)		5	5
Radio (m)		33.0	86.5
Distancia de visibilidad de parada (m)		32.0	26.0
Diseño de la sección transversal			
Ancho de calzada (m)		6.2	7.0
Nº de carriles		2	2
Ancho de carriles (m)		3.1	3.5
Ancho de Bermas	Izquierda (m)		0.5
	Derecha (m)		0.5
Inclinación transversal de las bermas (%)		2	2
Peralte	Máx. deseable	No indica	
	Máx. excepcional (%)	8	
Distancia mínima entre los terminales de los ramales (m)		125.0	

Fuente: Elaboración propia

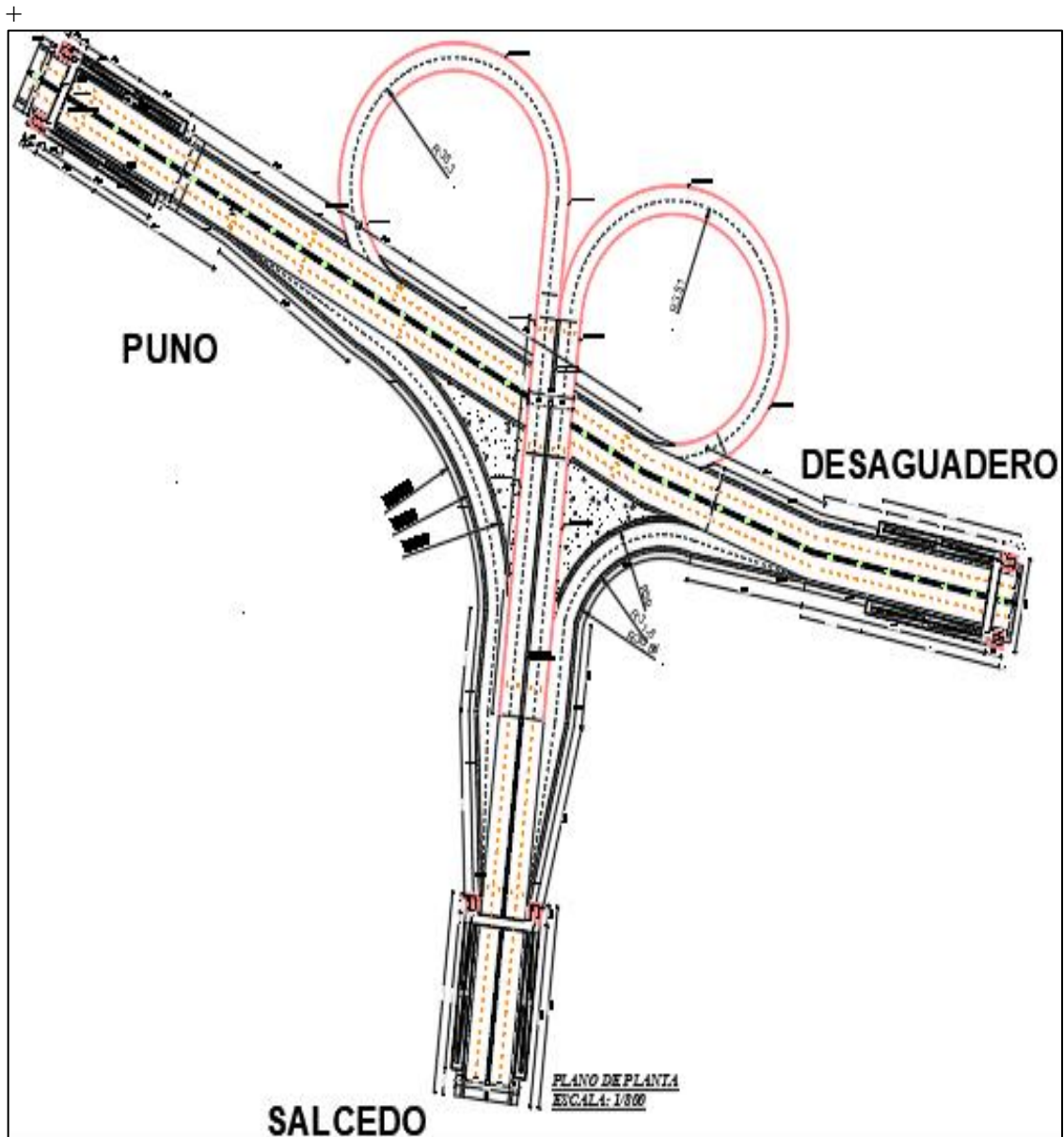
De la Tabla 42, se tiene un radio de 35m para cada lazo en desnivel de las rutas Desaguadero – Salcedo y Salcedo – Puno, con una pendiente máxima del 5%, y con un ancho de calzada de 6.6m para la ruta Desaguadero- Salcedo y 7.2 m para la ruta de Salcedo- Puno.

Tabla 42.
Dimensiones geométricas de los Lazos del Trébol.

Elementos de la Rampa		Desaguadero – Salcedo	Salcedo -Puno
Clasificación de la vía			
Velocidad diseño de ramales (km/h)		35.0	35.0
Diseño en planta y perfil			
Pendiente	Máx. deseable (%)	5.0	5.0
	Máx. excepcional (%)	8.0	8.0
Radio (m)		35.0	35.0
Carril de aceleración en terminal de entrada de ramal 1	Longitud de aceleración (m)		50.0
	Longitud de cuña (m)		13.0
	Longitud total (m)		63.0
Carril de desaceleración en terminal de ingreso de ramal 2	Longitud de desaceleración (m)	21.0	
	Longitud de cuña (m)	55.0	
	Longitud total (m)	76.0	
Diseño de la sección transversal			
Ancho de rampa (m)		6.6	7.2
Nº de carriles		2	2
Ancho de carriles (m)		3.3	3.6
Ancho de Bermas	Izquierda (m)		0.5
	Derecha (m)		0.5
Inclinación transversal de las bermas (%)		2	2
Peralte	Máx. deseable	No indica	
	Máx. excepcional (%)	8	
Distancia mínima entre los terminales de las rampas (m)		130.0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 48.
Plano en planta del Trébol de intercambio Vial.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49.
Imagen 3D del Trébol de intercambio vial



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida las dimensiones de la estructura, también se presentan los planos a mas detalle en el Anexo 9, para cumplir este objetivo se utiliza las fichas de entrada ER42 y salida SR42 del programa Vissim y Viswalk, que se encuentran desarrolladas en el Anexo 10, con lo cual se tuvo los siguientes resultados de la hora máxima demanda proyectadas al año 2042, tal como se describe:

De la tabla 43, la cantidad de vehículos para el diseño del Trébol es de 2037 vehículos, sin considerar la cantidad de bicicletas, pues el Trébol es solo de flujo vehicular.

Tabla 43.
Volumen vehicular para la simulación del Trébol, en la hora de mayor demanda al 2042

Acceso	Camioneta*	Combi	Bus	Camión**	Tráiler ***	Mototaxi	Moto	Bicicleta
ACCESO ESTE	289	140	4	69	5	25	46	0
Desaguadero - Puno	262	138	4	62	5	24	36	0
Desaguadero- Salcedo	27	2	0	7	0	1	10	0
ACCESO SUR	306	160	0	36	2	30	32	0
Salcedo - Desaguadero	24	8	0	9	0	1	5	0
Salcedo – Puno	282	152	0	27	2	29	27	0
ACCESO OESTE	491	257	4	51	6	27	57	0
Puno – Salcedo	370	199	0	33	4	20	42	0
Puno - Desaguadero	121	58	4	18	2	7	15	0
SUBTOTAL	1086	557	8	156	13	82	135	0
TOTAL	2037							

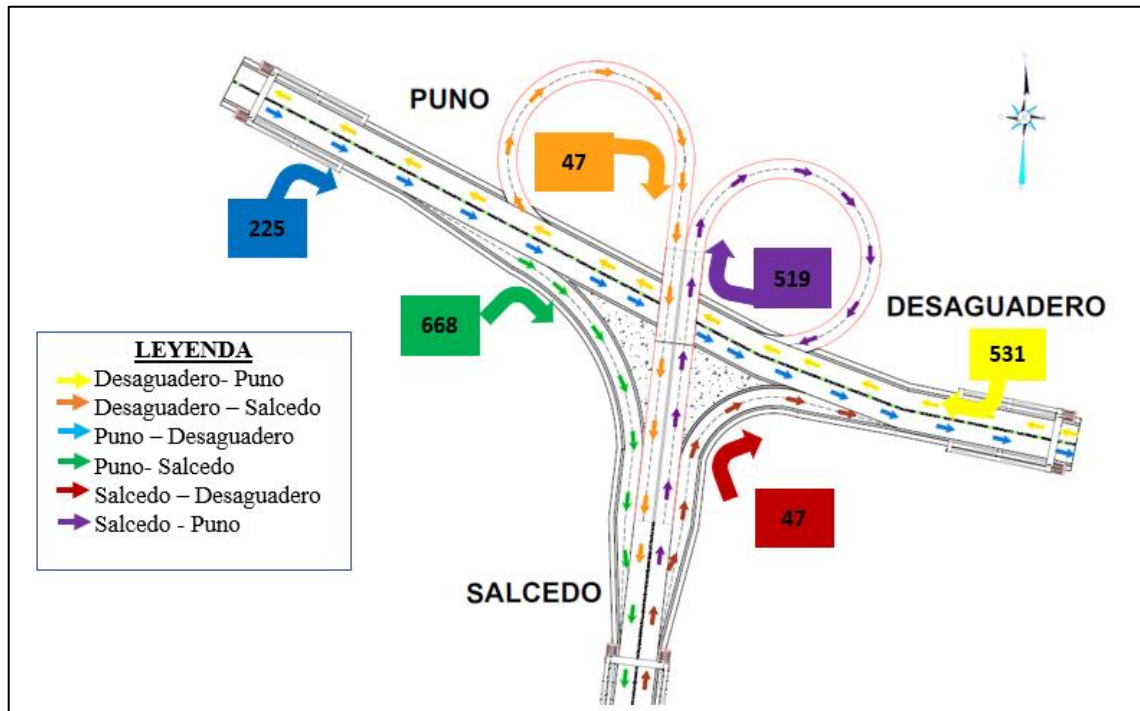
* Para este ítem se incluye los autos

** Para este ítem se incluye al volquete

*** Para este ítem se incluye a la cisterna

Fuente: Elaboración propia

Figura 50.
Volumen vehicular y peatonal por ruta, 2042



Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Tiempo de Demora

De la Tabla 44 y Figura 51, el tiempo de demora en el Trébol de intercambio es de 9 segundos por vehículo por la ruta Salcedo – Desaguadero, y el promedio de tiempo que demora para todo el Trébol es de 8.135 seg.

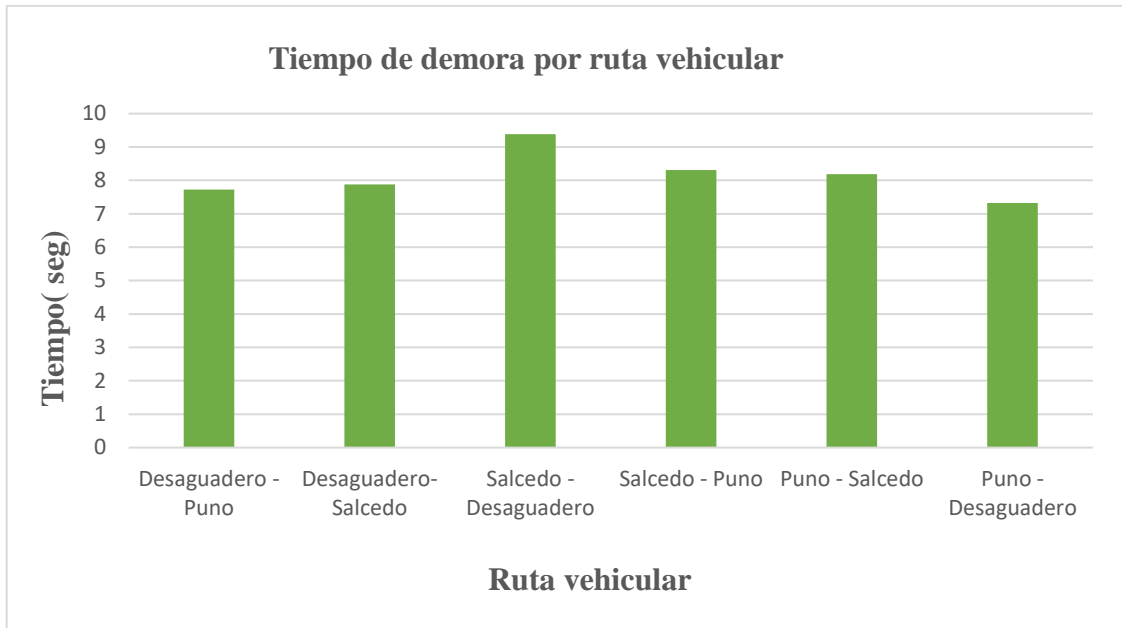
Tabla 44.
Tiempo de demora por ruta vehicular en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042

Ruta Vehicular	Tiempo de demora (seg/ veh)
Desaguadero – Puno	7.73
Desaguadero- Salcedo	7.88
Salcedo – Desaguadero	9.38
Salcedo – Puno	8.31
Puno – Salcedo	8.19
Puno – Desaguadero	7.32
Promedio total de la rotonda	8.1

Fuente: Elaboración propia

Figura 51.

Demora por ruta vehicular en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042



Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Longitud de cola

De la Tabla 45 y Figura 52, las longitudes de cola en las rutas vehiculares tienden a cero, tal como muestra el color rojo de la imagen.

Tabla 45

Longitud de cola en las rutas vehiculares en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042

Ruta Vehicular	Long. de cola (m)
Desaguadero – Puno	0
Desaguadero- Salcedo	0.01
Salcedo – Desaguadero	0.08
Salcedo – Puno	0.08
Puno – Salcedo	0.09
Puno – Desaguadero	0
Promedio total de la rotonda	0.07

Fuente: Elaboración propia

Figura 52.

Longitud de cola en las rutas vehiculares del Trébol en el 2042, con Vissim



Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Nivel de servicio

De la Tabla 46 y Figura 53, la calidad de servicio en el Trébol de intercambio vial, es de nivel 1 O A, para todas sus rutas vehiculares

Tabla 46.

Nivel de servicio de rutas vehiculares en el Trébol en la hora de mayor demanda al 2042

Ruta vehicular	Nivel de Servicio
Desaguadero – Puno	1
Desaguadero- Salcedo	1
Salcedo – Desaguadero	1
Salcedo – Puno	1
Puno – Salcedo	1
Puno – Desaguadero	1
Promedio total de la rotonda	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 53.

Nivel de servicio del Trébol para el año 2042, con Vissim.



Fuente: Elaboración propia

Para comprobar este objetivo se procede a una verificación de los resultados por medio de un cálculo en una hoja Excel, la cual se muestra en la ficha de comprobación de resultados del programa de Vissim y Viswalk, que están en el Anexo 11.

4.4. Resultados de la comparación del tráfico en la rotonda en el año 2022 y 2042, con el tráfico en el Trébol para el año 2042.

4.4.1. Tiempo de demora

De la Tabla 47 y Figura 54, se estima que el tiempo de demora en la Rotonda es 20 segundos por vehículo en el año 2022 y de 55.9 segundos por vehículo para el año 2042, caso contrario si se tuviera un Trébol el tiempo de demora es de solo 8.35 segundos por vehículo.

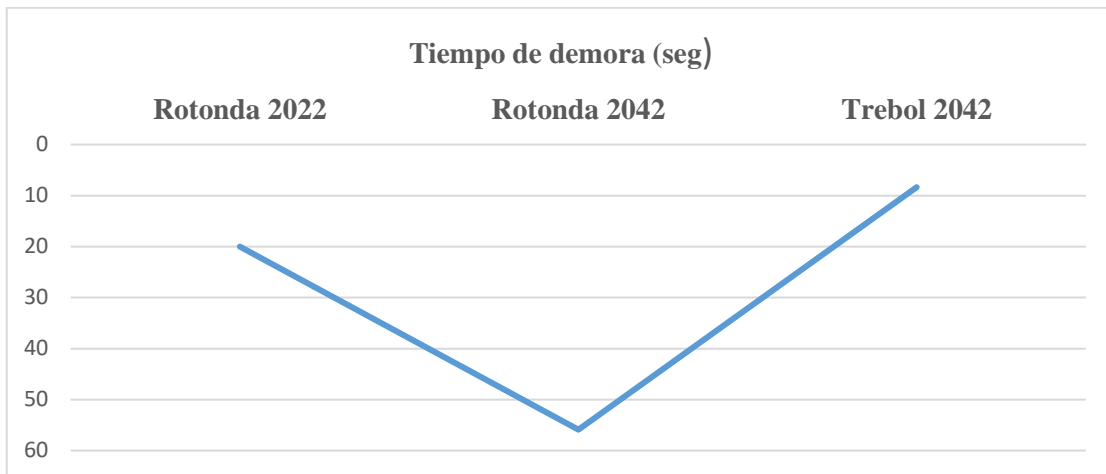
Tabla 47.

Cuadro comparativo del tiempo de demora

Intersección	Tiempo de demora (seg/veh)
Rotonda 2022	20
Rotonda 2042	55.9
Trébol 2042	8.35

Fuente: Elaboración propia

Figura 54.
Comparación de los tiempos de demora.



Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Longitud de cola

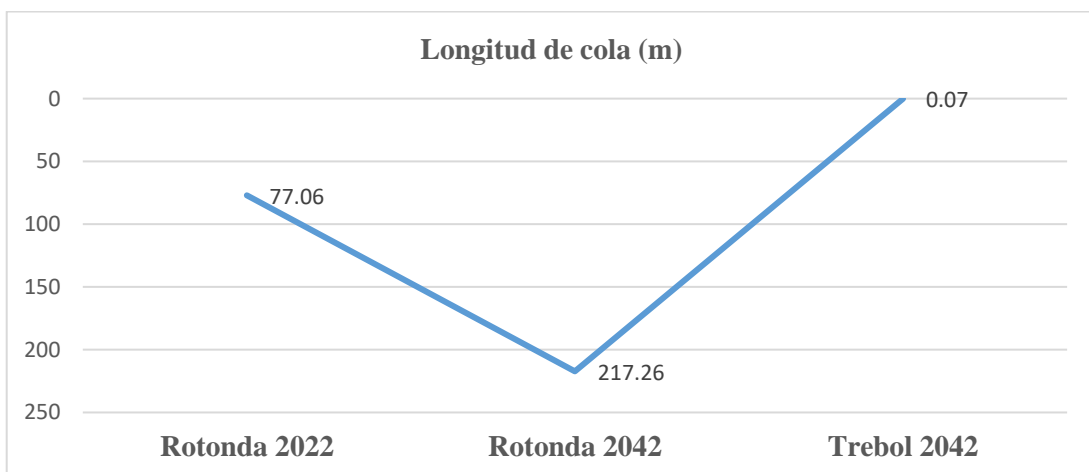
De la Tabla 48 y Figura 55 la longitud de cola promedio en la rotonda para el año 2042 es de 217.26 m, lo cual, en el Trébol, ocurriría una cola de 0.07 m.

Tabla 48.
Cuadro comparativo de la longitud de cola.

Intersección	Longitud de cola (m)
Rotonda 2022	77.06
Rotonda 2042	217.26
Trébol 2042	0.07

Fuente: Elaboración propia

Figura 55.
Comparación de la longitud de cola



Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Nivel de Servicio

De la Tabla 49 y Figura 56 el nivel de servicio estimada para la rotonda en año 2042 es de nivel 5 O D, pero con el Trébol el nivel de servicio es 1 o A.

Tabla 49.

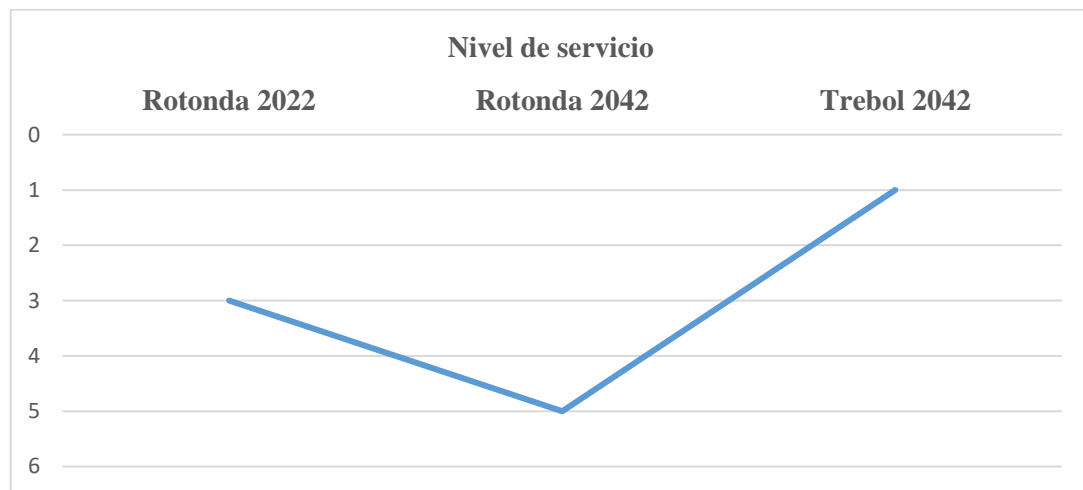
Cuadro comparativo del nivel de servicio

Intersección	Nivel de servicio
Rotonda 2022	3
Rotonda 2042	5
Trébol 2042	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 56.

Comparación del Nivel de servicio.



Fuente: Elaboración propia

4.5. Discusión

4.5.1. Respecto al objetivo específico 1

Con respecto al objetivo 1, de analizar el tráfico vehicular y peatonal actual del cruce de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante en Salcedo Puno -2022, usando los programas de VISSIM y VISWALK, que está basado en el HCM 2010, se tuvo según la Tabla 31 y Figura 39, que la ruta Desaguadero – Salcedo tiene mayor tiempo de demora con 30.68 segundos por vehículos, por lo que la rotonda posee un promedio de 20.0 segundos, que demoran en recorrer la intersección. De la Tabla 32 y Figura 40, la ruta Puno- Salcedo posee la mayor longitud de cola con 96.76 m, siendo un promedio de 77.06



m de toda la rotonda, y de la Tabla 33 y Figura 41, el promedio del nivel de servicio de la rotonda actualmente es de nivel 3 o C, que es un nivel eficiente porque la demanda de vehículos puede circular fluidamente.

Por otro lado el análisis de tráfico para la misma intersección para el año 2042, que también es parte del objetivo 1, se tiene de la Tabla 36 y la Figura 44, un tiempo de demora máxima de 88.5 segundos por vehículo, en la ruta Puno- Salcedo y un promedio de tiempo para la rotonda de 55.9 segundos por vehículo, de la Tabla 37 y Figura 45, se muestra una longitud de cola máxima de 299.85m en la ruta vehicular Desaguadero – Puno y Desaguadero – Salcedo, que es del acceso Este y en toda la rotonda existe un promedio de 217.26 m. de longitud de cola y de la Tabla 38 y Figura 46, muestra un nivel de servicio de 6 o F en la ruta Desaguadero - Puno, Puno- Salcedo, Puno- Desaguadero, y la rotonda está en un nivel de servicio promedio de 5 o E, que es deficiente.

Al respecto Zapardiel & Narvaez (2015), citado como antecedente internacional concluye que las velocidades del servicio público se ven afectadas por los buses que realizaban paradas en cualquier tramo de la vía incluso cuando el semáforo se encuentra en verde, además encontraron que existía un comportamiento imprudente de las motocicletas que afectaron la movilidad del resto de vehículos, encontrando grandes colas y tiempos de demoras que clasifican a la intersección del La Plazuela con un nivel de servicio F (deficiente), que se ve reflejado en poca movilidad, grandes tiempos de espera.

Así mismo Acosta & Pardo (2016), citado como antecedente internacional concluye que en una rotonda sin semaforización se aprecia un nivel de servicio A, y se reduce el tiempo de demora por omitir el tiempo que se gasta las maniobras, mejorando el nivel de servicio, ya que los conductores de los vehículos se demoran menos tiempo en realizar su trayecto y, por ende, la comodidad del conductor mejora.

Para Álvarez (2017), citado como antecedente nacional y otros como Canahua (2018), El lento paso de los vehículos no es adecuado, sobre todo porque los vehículos privados constituyen la mayoría de los que pasan por el cruce, por tanto es necesario una alternativa de solución al tráfico, con la modificación de la geometría de la zona de estudio y la optimización de los ciclos y fases de los semáforos que actúan en la intersección trabajada, que en el caso se redujeron parámetros de eficiencia importantes como la longitud de cola. Por lo tanto, el objetivo de la investigación se verifica satisfactoriamente.

4.3.1. Respecto al Objetivo Específico 2

Para el objetivo 2, para la propuesta del diseño de un Trébol en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, basado en el manual de Diseño Geométrico – 2018, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se obtuvo que las vías Principales poseen 2 carriles cada uno de 3.6 m, con una velocidad de diseño de 60 km/h y un separador central de 1m .Por otro lado los anchos de calzada de los ramales Salcedo- Desaguadero es de 6.2 m y el de Puno-Salcedo es de 7.0 m, con un radio de giro de 33m y 86.5 m respectivamente y una velocidad de diseño de 35 km/h. Para el caso de las rampas la velocidad de diseño es de 35 km/h, que comprenden las rutas de Salcedo-Puno y Desaguadero – Salcedo, los cuales tienen un ancho de calzada de 7.2m y 6.6m para cada caso y un radio de giro de 35m para ambos casos, llegando a una pendiente del 4 %, con un galibo de 5.5 m.

Para el análisis operacional del Trébol, usando los programas de VISSIM y VISWALK, se tiene de la Tabla 44 y Figura 51, el tiempo de demora en el Trébol de intercambio es de 9.38 segundos por vehículo por la ruta Salcedo – Desaguadero, y el promedio de tiempo que demora para todo el Trébol es de 8.1 seg; de la Tabla 45 y Figura 52, las longitudes de cola en las rutas vehiculares tienden a cero, y de la Tabla 46 y Figura

53, el nivel de servicio en el Trébol de intercambio vial, es de nivel 1 O A, para todas sus rutas vehiculares

Al respecto Mamani & Chura (2016), citado como antecedente local, en su diseño a desnivel de tipo trompeta, consta de una vía principal, una vía secundaria, tres ramales de enlace directo y un lazo, donde las vías principales constan de 7.2 m de calzada, con un separador de 1 m, bermas de 0.5 y 1.5 m y un galibo de 5.5 m. Corroborando que la infraestructura en dos niveles, de mi propuesta, también consta de vías principales, ramales de enlace directo y dos lazos a desnivel, que también consta de dimensiones similares por el volumen de tráfico que se proyecta en el trabajo mencionado. Por lo tanto, el objetivo de la investigación se verifica satisfactoriamente.

4.3.2. Respecto al Objetivo Específico 3

Con respecto al objetivo 3, de comparación mediante una simulación con los programas de VISSIM y VISWALK el tráfico actual con el tráfico deseable del Trébol propuesto respecto al nivel de servicio existente en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante -2022. Sobre lo cual luego del procesamiento de datos indicamos que de la Tabla 47 y Figura 54, se estima que el tiempo de demora en la rotonda es de 55.9 segundos por vehículo para el año 2042, caso contrario si se tuviera un Trébol el tiempo de demora es de solo 8.35 segundos por vehículo, de la Tabla 48 y Figura 55 la longitud de cola promedio en la rotonda para el año 2042 es de 217.26 m, lo cual, en el Trébol, ocurriría una cola de 0.07 m y de la Tabla 49 y Figura 56 el Nivel de servicio estimada para la rotonda en año 2042 es de nivel 5 O E, pero con el Trébol el nivel de servicio es 1 o A.

Al respecto Romero (2019), citado como antecedente nacional, menciona que para garantizar un nivel de servicio adecuado, toda estructura debe tener un nivel A de servicio, por lo que en este caso el Trébol propuesto de esta investigación, cumple con



este requerimiento con tiempo de demora de 9 segundos y longitudes de cola entre 0.055m y 0.093m. Con respecto a la condición de tráfico para el año 2042, donde claramente el tráfico va en aumento el nivel de servicio de deficiente, porque las longitudes de cola y el tiempo de demora en cruzar la intersección incrementan. Por lo tanto, el objetivo de la investigación se verifica satisfactoriamente.

Finalmente, indicar que la zona de investigación de tesis, se encuentra en proceso de construcción como una rotonda con 4 accesos, lo que antes era de tres accesos, y en esta tesis se analiza solo con la condición última de tres accesos; para fines de análisis del nivel de servicio, tiempo de demora y longitud de cola que podría tener a futuro esta nueva construcción y por ser parte de una realidad se incluyó su análisis de tráfico que se desarrolla en el Anexo 12, para más detalles; del cual se tiene como resultado que su nivel de servicio 3 o C para el año 2042; un tiempo de demora de 18.7 segundos por vehículo y una longitud de cola máxima de 95.97 m, teniendo en cuenta que no se considera el flujo peatonal y su interferencia en la intersección, lo que puede causar mayores demoras a los vehículos y disminuir el nivel de servicio.

V. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones del análisis del tráfico vehicular y peatonal al 2022 y su proyección al 2042 en la rotonda.

Para el año 2022, la rotonda tiene en promedio, un nivel de servicio C, una longitud de cola de 96.76 m para sus accesos y una demora de 20 segundos por vehículo, para cruzar la intersección. Por lo mismo que para el año 2042 la rotonda tiene en promedio, un tiempo de demora máxima de 88.51 segundos por vehículo, un de tiempo de demora de 55.9 segundos por vehículo, para la intersección, 217.26 m. de longitud de cola en sus accesos y muestra un nivel de servicio de 5 o E, que es deficiente.

La cantidad de peatones en el año 2022 es de 63 peatones por hora, que circulan a una velocidad promedio de 4.95 km/h y se proyecta 83 peatones por hora para el año 2042, lo que representa un aumento del 31.75 %.

5.2. Conclusiones del tráfico del diseño de un Trébol de intercambio vial

Para la propuesta del diseño de un Trébol en la intersección de la Panamericana Sur con la avenida Estudiante, se obtuvo un promedio de nivel de servicio A proyectado al año 2042, con un tiempo de demora de 8.35 segundos por vehículo y una longitud de cola de 0.07 m. y con las siguientes características geométricas: dos vías principales, dos ramales de enlace directo y dos rampas a desnivel, cada una con 7.20 m de carril y con un galibo de 5.5 m, sin semaforización, en el que se prevee la existencia de vehículos menores y pesados, para lo cual el programa Vissim y Viswalk es adecuado para este tipo de diseño.

En el caso de los peatones el desplazamiento cuenta con 83 personas, con lo cual se plantea como solución la existencia de tres puentes peatonales, considerando a las personas con discapacidad. Los puentes peatonales tienen un galibo de 5.5 m y un ancho



de 2.7 m, con escaleras y rampas para discapacitados. Cada una de ellas está ubicada en cada acceso de la intersección de manera que no afecte al flujo vehicular libre.

5.3. Conclusiones de la comparación del tráfico en la rotonda en el año 2022 y

2042, con el tráfico en el Trébol para el año 2042

Se concluye que la propuesta del Trébol es una mejor alternativa que la conservación de la rotonda, puesto que el nivel de servicio de la rotonda disminuye para el 2042, pues se estima que el tiempo de demora es de 55.9 segundos por vehículo para el año 2042, caso contrario si se tuviera un Trébol el tiempo de demora es de solo 8.35 segundos por vehículo, la longitud de cola promedio en la rotonda para el año 2042 es de 217.26 m, lo cual, en el Trébol, ocurriría una cola de 0.07 m y el nivel de servicio estimada para la rotonda en año 2042 es de nivel 5 O E, pero con el Trébol el nivel de servicio es 1 o A.



VI. RECOMENDACIONES

6.1. Primero

Investigar el estudio de tráfico comparando el uso de otros programas de tráfico.

Realizar un estudio del comportamiento de peatones y bicicletas por separado y juntos en el impacto que tienen sobre el tráfico adaptando a la situación actual de nuestra región.

6.2. Segundo

Realizar más estudios sobre estructuras a desnivel, que puedan adaptarse a las condiciones de nuestra región, tanto en infraestructura y capacidad de operación.

Realizar investigaciones sobre la capacidad operacional de estructuras a desnivel en el Perú.

6.3. Tercero

Aplicar las simulaciones de tráfico en la región para verificar la capacidad operacional de las infraestructuras, que se van a proyectar a futuro.

Implementar en el manual de diseño de carreteras del Perú, más a detalle sobre estudios de la capacidad de operación de cada tipo de infraestructura que recomienda en el diseño.

Realizar una planificación, diseño y operación de tráfico en zonas con mayor congestión de tráfico en la región puno.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Salinas, I. P., & Pardo Fandiño, R. F. (2016). *Análisis de la influencia de la maniobra de trenzado sobre la capacidad y nivel de servicio en algunas rotondas en la ciudad de Bogotá D.C.* Universidad de la Salle.
- Aguilar Piñal, F. (1973). *Problemas del transporte madrileño en el Siglo XVIII* (Instituto de Estudios Madrileños (ed.); pp. 341–355).
- Alvarez Vargas, J. W. (2017). *Micro-Simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software Vissim 8 y Viswalk 8.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A Policy On Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO (ed.); 6ta ed.).
- Arias G., F. (2012). *El proyecto de investigación* (Episteme (ed.); 1era ed.).
- Asociación Automotriz del Perú. (2022). Precios de vehículos en Perú subieron en marzo del 2022 por aumento de fletes. *Revista Digital de La Cámara de Comercio de Lima*, 1–40.
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2010). *Situación automotriz en Perú.* 1–18.
- Bañón Blázquez, L., & Bevíá García, J. F. (2000). *Manual de carreteras Volumen 1: elementos y proyectos* (S. A. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras (ed.); Vol. 1).
- Beeston, L., Blewitt, R., Bulmer, S., & Wilson, J. (2021). *Traffic modelling guidelines* (Transport for London (ed.)).
- Cardenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (Ecoe).
- Ccama Condori, H. A. (2021). Crecimiento poblacional y cambios territoriales en el centro urbano de Salcedo, Puno. *Espacio y Desarrollo*, 51(37), 37–51. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.202101.002>
- Chique Calderón, B. J., Chique Calderón, H. J., & Cabrera Zúñiga, L. A. (2020). Análisis del sistema de transporte urbano para optimizar el tiempo de viaje del pasajero de la ciudad de Puno-2018. *Revista Veritas Et Scientia - Upt*, 9(1), 134–144. <https://doi.org/10.47796/ves.v9i1.285>
- Chura Canahua, S. F. (2018). *Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Loa incas y Av. La Torre Puno, Puno.* Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2017). *Mapa Vial Puno.* [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas Departamentales/21-PUNO.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas_Departamentales/21-PUNO.pdf)
- Fernández A, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular* (J. C. Dextre (ed.)). Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gallardo Echenique, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación: manual autoinformativo interactivo* (U. Continental (ed.); Primera).
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2005). *Manual de diseño geométrico de vías*



- urbanas -2005-VCHI* (MDGVU (ed.)).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de vivienda y III de Comunidades Indígenas*. <https://censo2017.inei.gov.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- Israel Cabrera, F. (2012). Micro simulación de vehículos y peatones. *Revista Civilizate, Pontificia Universidad Católica*, 33–34.
- Lopera, J. D., Ramírez, C. A., Zuluaga, M. U., & Ortiz, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas. Revistas Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 25(1).
- Mamani Apaza, E., & Chura Delgado, O. E. (2016). *Diseño de intercambio vial a desnivel en las intersecciones de la carretera Panamericana Sur y la Avenida El Estudiante de la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2000). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor en calles y carreteras*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). *Reglamento Nacional de vehículos*. Decreto Supremo N°058.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Diseño Geométrico DG-2018*.
- Mozo Sánchez, J. (2012). *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- MTC-SINAC. (2016). *Actualización del clasificador de rutas del sistema nacional de carreteras - SINAC*. 242.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2022a). Plan de desarrollo urbano de La ciudad de Puno (PDU) 2012-2022. In *Gerencia de Desarrollo Urbano*.
- Municipalidad Provincial de Puno. (2022b). *Plan de movilidad urbana sostenible en Puno*.
- Pesántez Jimenez, J. F. (2014). *Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto ruta viuva “via de integración de los valles” y conexión al nuevo aeropuerto de Quito*. (Vol. 12, Issue 2007). Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- Reyes Spíndola, R. C. y M., & Cárdenas Grisales, J. (1994). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y Aplicaciones* (Alfaomega, Vol. 9, Issue 9).
- Romero Rojas, G. (2019). *Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las intersecciones a desnivel*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería.
- Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* (Universidad Ricardo Palma (ed.)).
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causa y*



consecuencias economicas y sociales.

<https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>

Timana Rojas, J. A. (2002). *Introducción a la teoría de colas* (p. 12).

Transportation Research Board; National Academies of Sciences, Engineering, and M.
(2010). *Highway Capacity Manual (HCM) Volume 3: Interrupted Flow*.

Vozzi, L. (2019). *Curso intermedio de Vissim*.

Zapardiel Pajaro, A. M., & Quezada Narvaez, R. A. (2015). *Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Amparo-Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim*. Universidad de Cartagena.



ANEXOS

ANEXO 1. Fichas de recolección de datos en campo.

ANEXO 2. Panel fotográfico.

ANEXO 3. Procesamiento de datos del aforo vehicular en campo.

ANEXO 4. Fichas de entrada y salida de datos para el programa VISSIM Y VISWALK para la rotonda

ANEXO 5. Desarrollo del programa VISSIM Y VISWALK

ANEXO 6. Ficha de comprobación de datos de los programas de VISSIM Y VISWALK para la rotonda

ANEXO 7. Ficha de resultados del IMDA

ANEXO 8. Ficha de diseño del Trébol

ANEXO 9. Plano del diseño del Trébol

ANEXO 10. Fichas de entrada y salida de datos para el programa VISSIM Y VISWALK para el Trébol.

ANEXO 11. Ficha de comprobación de datos de los programas de VISSIM Y VISWALK para el Trébol.

ANEXO 12. Ficha de datos de los programas de VISSIM Y VISWALK para rotonda de cuatro accesos para el 2042.