



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

**EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL PARA MEJORAR LA
SEGURIDAD VIAL EN EL DISTRITO DE TACNA Y CORONEL GREGORIO**

ALBARRACIN, 2025

**Línea de investigación:
Seguridad vial e infraestructura de transporte**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Transportes

Autor

Gamboa Cuba, Kenyi José Ángel

Asesor

Chávez Dueñas, Jesús Alejandro

ORCID: 0000-0003-2200-7169

Jurado

Flores Vidal, Higinio Exequiel

Paredes Paredes, Pervis

Enciso López, Jossy Carlot

Lima - Perú

2026



EVALUACIÓN DEL TRANSITO VEHICULAR Y PEATONAL PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN EL DISTRITO DE TACNA Y CORONEL GREGORIO ALBARRACIN, 2025.

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	5%
	Fuente de Internet	
2	idoc.pub	2%
	Fuente de Internet	
3	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal	2%
	Trabajo del estudiante	
4	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	qdoc.tips	1%
	Fuente de Internet	
6	transparencia.mtc.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.upn.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	1%
	Trabajo del estudiante	
9	Submitted to uncedu	1%
	Trabajo del estudiante	
10	archive.org	<1%
	Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR Y PEATONAL PARA MEJORAR
LA SEGURIDAD VIAL EN EL DISTRITO DE TACNA Y CORONEL GREGORIO
ALBARRACIN, 2025.

Línea de investigación:

Seguridad vial e Infraestructura de Transporte

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Transportes

Autor:

Gamboa Cuba, Kenyi José Ángel

Asesor:

Chávez Dueñas, Jesús Alejandro

ORCID: 0000-0003-2200-7169

Jurado:

Flores Vidal, Higinio Exequiel

Paredes Paredes, Pervis

Enciso López, Jossy Carlot

Lima - Perú

2026

Dedicatoria

A mis padres, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la base de todos mis logros. Gracias por ser mi mayor inspiración y motivación en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos, por su confianza, aliento constante y por creer siempre en mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y enseñarme el valor de la dedicación y la perseverancia. Su guía ha dejado una huella imborrable en mi formación.

Agradecimiento

A Dios, por darme fortaleza y sabiduría durante este camino.

A mis padres, por su amor, sacrificio y constante apoyo, pilares fundamentales en mi vida.

A mis docentes, por su guía y valiosas enseñanzas, que marcaron mi formación profesional.

ÍNDICE

Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Descripción y formulación del problema	14
<i>1.1.1. Problema general</i>	<i>15</i>
<i>1.1.2. Problemas específicos</i>	<i>15</i>
1.2. Antecedentes	16
<i>1.2.1. Antecedentes internacionales.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.2. Antecedentes nacionales</i>	<i>18</i>
1.3. Objetivos	20
<i>1.3.1. Objetivo general</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	<i>20</i>
1.4. Justificación.....	20
1.5. Hipótesis.....	21
<i>1.5.1. Hipótesis general</i>	<i>21</i>
<i>1.5.2. Hipótesis específicas.....</i>	<i>21</i>
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	23
<i>2.1.1. Seguridad vial</i>	<i>23</i>
<i>2.1.2. Diseño vial urbano</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3. Accesibilidad.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.4. Análisis de flujo vehicular</i>	<i>24</i>
<i>2.1.5. Dispositivos de control de tránsito</i>	<i>24</i>
<i>2.1.6. Sistema operacional de la semaforización</i>	<i>24</i>
<i>2.1.7. Software de micro modelación del tránsito</i>	<i>26</i>
<i>2.1.8. Clasificación de la red vial.....</i>	<i>27</i>

III. MÉTODO.....	30
3.1. Tipo de investigación.....	30
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	30
3.3. Variables.....	31
3.3.1. <i>Variable independiente</i>	31
3.3.2. <i>Variable dependiente</i>	32
3.4. Población y muestra	32
3.5. Instrumentos	32
3.6. Procedimientos	33
3.7. Análisis de datos.....	39
3.8. Consideraciones éticas	133
IV. RESULTADOS	134
4.1. Características geométricas y físicas del óvalo cusco	134
4.2. Resultados del análisis del tránsito vehicular	134
4.3. Resultados del análisis del tránsito peatonal	135
4.4. Nivel de servicio vehicular y peatonal	135
4.5. Identificación de conflictos y riesgos.....	136
4.6. Propuesta técnica de mejora	136
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	140
VI. CONCLUSIONES	143
VII. RECOMENDACIONES	144
VIII. REFERENCIAS.....	145
IX. ANEXOS	152

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación y codificación de vías	34
Tabla 2 Vías arteriales	35
Tabla 3 Vialidad nacional, vecinal y urbana intervenida.....	37
Tabla 4 Resumen de clasificación.....	39
Tabla 5 Índice Medio Diario - Estación E 01	39
Tabla 6 Índice Medio Diario - Estación E 02	41
Tabla 7 Índice Medio Diario - Estación E 03	43
Tabla 8 Índice Medio Diario - Estación E 04	45
Tabla 9 Índice Medio Diario - Estación E 05	47
Tabla 10 Índice Medio Diario - Estación E 06	49
Tabla 11 Resumen de volúmenes diarios obtenidos	51
Tabla 12 Semirremolque Simple (T3S3) Radios máximos/mínimos y ángulos.....	55
Tabla 13 Relación velocidad-severidad de siniestros	59
Tabla 14 Tipo de reductores de velocidad según tipo de vía.....	59
Tabla 15 Distancia de visibilidad de parada (metros), en pendiente 0%	61
Tabla 16 Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros)	61
Tabla 17 Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos.....	62
Tabla 18 Resultados y Propuesta Definitiva de la Geometría del Paso a Desevel.....	63
Tabla 19 Longitudes de tramos en tangente	65
Tabla 20 Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras.....	67
Tabla 21 Factores de reducción del sobreancho para anchos de calzada en tangente de 7.20m	68
Tabla 22 Pendientes máximas (%).....	70

Tabla 23 Anchos mínimos de calzada en tangente	79
Tabla 24 Relación entre ancho de carril y ocurrencia de accidentes. Vías con $IMDA \geq 2000$ VEH/DIA.	80
Tabla 25 Ancho de bermas	81
Tabla 26 Valores del bombeo de la calzada.....	83
Tabla 27 Longitudes totales de carriles de aceleración (LT).....	86
Tabla 28 Sistema de ventilación túnel (en relación a su longitud)	95
Tabla 29 Umbrales de volumen para determinar el número de carriles de entrada requeridos	105
Tabla 30 Resultados de Flujos de Entrada (Ve) y en Conflicto (Vc) del proyecto propuesto con factor de crecimiento a 20 años.....	106
Tabla 31 Criterios de diseño geométrico de rotondas.....	130
Tabla 32 Valores de diseño geométrico para cruce de carreteras por zonas urbanas	131
Tabla 33 Resumen de Parámetros de Diseño Geométrico	132
Tabla 34 Características geométricas y físicas del óvalo cusco	134
Tabla 35 Resultados del análisis del tránsito vehicular	135
Tabla 36 Resultados del análisis del tránsito peatonal.....	135
Tabla 37 Nivel de servicio vehicular	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Software de micro simulación Vissim 10.00.09	26
Figura 2 Localización del área de estudio.....	31
Figura 3 Ubicación del área de estudio.....	31
Figura 4 Plano de levantamiento topográfico del área usuaria	33
Figura 5 Clasificación vehicular - Estación E 01.....	40
Figura 6 Datos de variación diaria - E 01	40
Figura 7 Clasificación vehicular - Estación E 02.....	42
Figura 8 Datos de variación diaria - E 02	42
Figura 9 Clasificación vehicular - Estación E 03.....	44
Figura 10 Datos de variación diaria - E 03	44
Figura 11 Clasificación vehicular - Estación E 04.....	46
Figura 12 Datos de variación diaria - E 04	46
Figura 13 Clasificación vehicular - Estación E 05.....	48
Figura 14 Datos de variación diaria - E 05	48
Figura 15 Clasificación vehicular - Estación E 06.....	50
Figura 16 Datos de variación diaria - E 06	50
Figura 17 Pesos y medidas máximas permitidas	53
Figura 18 Radio de giro mínimo para semirremolque T3S2	56
Figura 19 Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.	58
Figura 20 Los cinco factores básicos de riesgo según la OMS.....	58
Figura 21 Curvas circulares	66
Figura 22 Disminución de velocidad (a) y magnitud crítica (b), en pendientes	72
Figura 23 Elementos de la curva vertical simétrica	75

Figura 24 Elementos de la curva vertical asimétrica	75
Figura 25 Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada	76
Figura 26 Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas	77
Figura 27 Índice de accidentes con relación al ancho de acotamiento o berma	82
Figura 28 Sección típica de túnel.....	84
Figura 29 Carriles de cambio de velocidad.....	85
Figura 30 Puntos singulares de carril de aceleración.....	87
Figura 31 Carril de deceleración Caso II	88
Figura 32 Longitudes de carriles de deceleración ($LD=f(i)$)	88
Figura 33 Isla divisoria o separadora con sardinel.....	89
Figura 34 Islas de canalización, encauzamiento o direccional	90
Figura 35 Berma 3.00 m + 2 carriles de 3.6 m + berma 1.20 m = 11.40 m.....	91
Figura 36 Ancho de vereda	92
Figura 37 Ejemplo de señalización vertical y horizontal y dimensiones, en un cruce ferroviario a nivel oblicuo.....	98
Figura 38 Ejemplo de Superficie de Cruce de un Ferrocarril	99
Figura 39 Fotografía Aérea - Ovalo Higuereta Lima.....	101
Figura 40 Características de una Rotonda Típica de Dos Carriles	102
Figura 41 Características de una Rotonda Típica de Tres Carriles.....	103
Figura 42 Flujos de tránsito en una entrada de rotonda	104
Figura 43 Flujos de Entrada (V_e) y en Conflicto (V_c) del proyecto propuesto con factor de crecimiento a 20 años.....	106
Figura 44 Número requerido de entradas, y de carriles de anillo	107
Figura 45 Elementos geométricos básicos de una rotonda	109

Figura 46 Trayectorias superpuestas en una rotonda multicarril	111
Figura 47 Ejemplo de demarcación para intersecciones tipo Rotonda o Glorieta en las aproximaciones de ingreso y salida, y de un carril giratorio	113
Figura 48 Esquema de señalización en Rotonda con paso de peatones.....	114
Figura 49 Ensanchamiento de aproximación mediante abocinamiento de entrada	116
Figura 50 Calle principal multicarril con un solo carril en la calle secundaria	118
Figura 51 Rotonda de dos carriles con giros dobles consecutivos.....	119
Figura 52 Traslapo de trayectorias vehiculares de entrada	121
Figura 53 Alineamiento deseable de trayectoria vehicular	121
Figura 54 Ejemplo de tratamiento de vereda	123
Figura 55 Opciones de alineamiento de cruces peatonales.....	124
Figura 56 Ejemplo de demarcación para intersecciones tipo Rotonda o Glorieta de dos carriles con doble giro consecutivo a la izquierda	126
Figura 57 Resumen de las zonas de paisajismo en una rotonda	128
Figura 58 Propuesta de solución	137
Figura 59 Paraderos propuestos	139

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue mejorar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad en el Óvalo Cusco, ubicado entre los distritos de Tacna y Coronel Gregorio Albarracín, mediante una evaluación integral del tránsito vehicular y peatonal. La investigación fue de tipo aplicada y la población estuvo conformada por los vehículos, peatones y elementos viales presentes en el área de estudio. Los resultados evidenciaron que el óvalo está conformado por vías afirmadas y registra elevados volúmenes de tránsito. La Av. Municipal presentó un IMDA de 43,133 vehículos; la Av. Tarapacá, 5,164; la Av. Jorge Basadre Sur, 23,168; la Av. Cuzco, 22,459; la Av. Jorge Basadre Oeste, 17,057; y la Av. Collpa, 12,927 vehículos. Asimismo, los mayores volúmenes horarios se registraron principalmente los días viernes en las avenidas Municipal, Tarapacá, Jorge Basadre Sur y Oeste, alcanzando 2,792, 2,583, 2,288 y 2,004 veh/h respectivamente; mientras que la Av. Cuzco alcanzó 2,295 veh/h el lunes y la Av. Collpa 2,114 veh/h el domingo. El diagnóstico operacional determinó niveles de servicio actuales entre “E” y “F”, evidenciando condiciones críticas de circulación. Con la implementación de la propuesta vial, los niveles de servicio mejorarían a categorías entre “C” y “D”, cumpliendo con las normas técnicas peruanas e internacionales de diseño vial. Finalmente, el proyecto contempla diversos ejes viales, destacando el “Eje Maestro”, con una longitud de 515.43 m, que permitirá el replanteo de los demás ejes propuestos y optimizará la operación vial en la zona de estudio.

Palabras clave: estudio de transitabilidad, tráfico y nivel de servicio

Abstract

The main objective of this study was to improve road safety and traffic circulation conditions at the Cusco Roundabout, located between the districts of Tacna and Coronel Gregorio Albarracín, through a comprehensive evaluation of vehicular and pedestrian traffic. The research was applied in nature, and the population consisted of vehicles, pedestrians, and road infrastructure elements present within the study area. The results showed that the roundabout is composed of unpaved roads and experiences high traffic volumes. Av. Municipal recorded an AADT of 43,133 vehicles; Av. Tarapacá, 5,164; Av. Jorge Basadre Sur, 23,168; Av. Cuzco, 22,459; Av. Jorge Basadre Oeste, 17,057; and Av. Collpa, 12,927 vehicles. Likewise, the highest hourly traffic volumes were mainly recorded on Fridays along Av. Municipal, Tarapacá, Jorge Basadre Sur, and Jorge Basadre Oeste, reaching 2,792, 2,583, 2,288, and 2,004 veh/h respectively; whereas Av. Cuzco reached 2,295 veh/h on Monday and Av. Collpa reached 2,114 veh/h on Sunday. The operational diagnosis determined current Levels of Service between “E” and “F,” revealing critical circulation conditions. With the implementation of the proposed road project, the Levels of Service would improve to categories between “C” and “D,” complying with Peruvian technical standards and international road design regulations. Finally, the project includes several road axes, highlighting the “Master Axis,” with a length of 515.43 m, which will allow the layout adjustment of the remaining proposed axes and optimize traffic operations within the study area.

Keywords: traffic circulation study, traffic flow, and level of service

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de la infraestructura vial en zonas rurales comprende un proceso planificado que abarca desde la ejecución inicial de obras hasta su rehabilitación y mantenimiento permanente. Por su parte, la seguridad vial se define como el conjunto de estrategias orientadas a elevar los niveles de protección y calidad en el tránsito vehicular, garantizando el bienestar de todos los usuarios de las vías (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018). En el contexto global, diversos países han venido adoptando medidas tanto preventivas como reactivas frente a amenazas de origen natural, biológico o humano.

En relación con las estrategias preventivas, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004), estableció que, desde el 7 de abril de 2004, se conmemore el Día Mundial de la Seguridad Vial. Esta fecha tiene como propósito generar conciencia sobre el impacto de los accidentes de tránsito, los daños físicos que ocasionan y su repercusión económica a nivel social. No obstante, hasta diciembre de 2019, su implementación ha sido parcial en muchos contextos. En América Latina y el Caribe, al menos trece países han incorporado mecanismos contractuales para la conservación de parte de su red vial, debido al deterioro acumulado por la falta de atención sostenida.

En el caso del Perú, esta problemática también adquiere relevancia por sus implicancias económicas y sociales. Por ello, la presente investigación analiza los accidentes de tránsito en base a información actualizada hasta el año 2019. Además, se examinan diversos indicadores relacionados al sistema vial nacional, conformado por vías de alcance nacional, departamental, vecinal y rural, tal como lo define el Reglamento de Jerarquización Vial, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 017-2007-MTC del 26 de mayo de 2007. Cabe destacar que las vías rurales permiten la conexión de comunidades migrantes con centros urbanos, contribuyendo así al desarrollo comercial, especialmente en sectores agrícolas y ganaderos. Dichas vías no solo promueven el empleo, sino que también fomentan el crecimiento económico regional.

En este contexto, la seguridad en las vías vecinales está regulada mediante el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito y el Manual de Seguridad Vial del MTC, los cuales proporcionan criterios técnicos para el diseño geométrico y la implementación de medidas de seguridad vial.

Finalmente, se identifican dos aspectos críticos en la gestión vial rural: el liderazgo del funcionario encargado de dirigir la institución y la calidad de los resultados obtenidos. El primero se manifiesta en la capacidad de coordinación y supervisión directa de los trabajos de mantenimiento vial, generalmente ejecutados mediante contratos de tercerización; el segundo, en la efectividad de las intervenciones, medida a través de la transitabilidad y la reducción de riesgos viales. Bajo esta premisa, el estudio propone que, si estos elementos funcionan adecuadamente, se debería consolidar una infraestructura vial segura; de lo contrario, se estaría incumpliendo el rol público asignado y afectando la responsabilidad institucional.

El estudio se centra en mejorar la seguridad vial en el Óvalo Cusco, en la intersección de las avenidas Tacna y Coronel Gregorio Albarracín, una zona que actualmente presenta conflictos de tránsito y limitaciones de accesibilidad. Mediante la recolección y análisis de datos de campo, se identificará la magnitud de los problemas existentes, sirviendo como base para el diseño de medidas correctivas que optimicen la circulación vehicular y la seguridad de los usuarios.

1.1. Descripción y formulación del problema

En la actualidad, los distritos de Tacna y coronel Gregorio Albarracín, situados en la zona sur del país, experimentan un notable incremento en el flujo de tránsito urbano. Este fenómeno está relacionado con la capacidad vial existente y las velocidades de desplazamiento, las cuales son resultado directo de la interacción continua entre los distintos usuarios del sistema vial. Entre las principales causas de esta situación destacan el aumento sostenido en la demanda vehicular y peatonal, así como la saturación de las vías arteriales, lo que genera

discontinuidades funcionales en la red y deriva en focos de tráfico localizado.

Cabe señalar que el tránsito se desarrolla, en muchos casos, bajo condiciones que impiden la circulación a velocidades óptimas. Esto se debe, entre otros factores, a los límites de velocidad establecidos, a la sincronización ineficiente de los semáforos y a ciertas restricciones operativas. En consecuencia, cuando el volumen vehicular supera la capacidad de la vía, cada nuevo vehículo incrementa la carga sobre el sistema, intensificando la congestión y reduciendo significativamente la fluidez del tránsito. De esta manera, se evidencia que la congestión no solo interrumpe la circulación, sino que también disminuye las velocidades promedio, afectando negativamente la movilidad urbana.

A partir del análisis de estas deficiencias y bajo el enfoque de un transporte urbano sostenible, el presente estudio propone una mejora integral en la gestión del tránsito y en el diseño de la infraestructura vial. Para ello, se consideran estrategias de intervención basadas en los principios de la ingeniería de tránsito, orientadas a mitigar la congestión y optimizar el flujo vehicular.

Particularmente, en el intercambiador vial del óvalo Cusco ubicado en los distritos mencionados, conformado por las avenidas Circulación, Tarapacá, Municipal, José Basadre Grohmann y Cusco, se han identificado problemas significativos relacionados con la seguridad vial. Estas deficiencias comprometen directamente la integridad de los usuarios, por lo que se hace imprescindible intervenir con medidas correctivas y de reordenamiento vial que mejoren tanto la funcionalidad como la seguridad de dicho entorno urbano.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el estado del tránsito vehicular y peatonal y de qué manera se puede mejorar la seguridad vial en el Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles con las características geométricas y físicas en el Ovalo Cusco y de qué

manera influye en la transitabilidad y seguridad vial?

- ¿Cuál es la composición de tráfico vehicular y peatonal en el Ovalo Cusco y de qué manera influye en la transitabilidad y seguridad vial?

- ¿Cuál es el nivel de servicio vehicular y peatonal en el Ovalo Cusco y de qué manera influye en la transitabilidad y seguridad vial?

- ¿Qué criterios técnicos se deben considerar para mejorar la seguridad vial en el Ovalo Cusco?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Ubillús (2019), en su tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, desarrolló una investigación enfocada en optimizar los tiempos de desplazamiento en la intersección Eloy Alfaro y Granados, ubicada en la ciudad de Quito. Para ello, aplicó herramientas propias de la ingeniería de tránsito, tales como el análisis de capacidad vehicular, estudios de aforo, volúmenes de control y el cálculo del factor de hora punta.

Por su parte, Gómez y Larrota (2020) señalaron que la vía terciaria del municipio de Fusagasugá presenta condiciones inadecuadas para el tránsito vehicular, al no cumplir con los parámetros mínimos para ser considerada un corredor vial funcional. Esta situación afecta directamente a los poblados circundantes, a pesar de que esta vía constituye una conexión esencial entre zonas rurales, el área metropolitana e incluso la capital del país. Frente a este panorama, se propuso el diseño y la mejora integral de dicha infraestructura vial. El estudio abarcó el diagnóstico de la transitabilidad actual, así como la evaluación de políticas públicas, manuales técnicos y programas de mantenimiento vigentes. Además, se llevó a cabo la recopilación sistematizada de información a través de visitas técnicas, junto con el análisis de datos provenientes del Plan de Ordenación Territorial, lo que permitió estructurar una

propuesta técnica de intervención para mejorar esta red vial de tercer orden.

En otro estudio, Ocoró (2014) evaluó la eficiencia operativa del corredor vial Cali-Jamundí, en la cual combinó datos primarios, como la longitud del tramo, tipo de terreno, número de carriles y uso del suelo, con datos secundarios derivados de conteos de tráfico y planes urbanos relacionados. A partir de esta evaluación, se formularon recomendaciones específicas orientadas a mejorar la capacidad y el nivel de servicio del corredor.

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2002), las principales ciudades del mundo enfrentan una crisis de movilidad debido al crecimiento desmedido del parque automotor, que ha superado el umbral de mil millones de vehículos motorizados. Este fenómeno ha generado severas consecuencias como congestión vehicular, contaminación atmosférica, incremento de enfermedades respiratorias y un deterioro general de la calidad de vida urbana. Además, se resalta la problemática del escaso control sobre la circulación de vehículos usados con más de dos décadas de antigüedad. Las ciudades más afectadas por este fenómeno incluyen Jalisco y Guadalajara (México) con un nivel de congestión del 66 %, Río de Janeiro (Brasil) con 47 %, Los Ángeles (EE.UU.) con 45 %, Moscú (Rusia) con 44 %, Santiago (Chile) con 43 %, Buenos Aires (Argentina) con 42 %, y Londres (Reino Unido) con 40 %, entre otras.

En el caso de Paraguay, se verificó que el objetivo superior de todas las acciones vinculadas a la seguridad vial es la protección de la vida humana. Por ello, se desarrolló un protocolo que establece las directrices para la formación del personal a cargo de los controles viales, priorizando una correcta ejecución operativa bajo el marco normativo del tránsito.

Asimismo, el Estudio del sistema integral de movilidad sustentable para el Valle de Toluca buscó establecer una visión estratégica para abordar los retos de movilidad en esta metrópoli, considerada la quinta más grande de México. Con una población que supera los dos millones de habitantes y una intensa interacción económica con el Valle de México, la ciudad

enfrenta un flujo vehicular diario de aproximadamente 500 mil autos y 20 mil buses. Ante ello, el estudio concluyó que transformar los patrones de desplazamiento cotidiano constituye un desafío común para las ciudades contemporáneas.

Finalmente, la CEPAL (2002) sostiene que uno de los principales factores generadores de congestión urbana es el uso intensivo del automóvil privado. Aunque este tipo de transporte ofrece ventajas en términos de comodidad y percepción de seguridad, resulta ineficiente para el traslado masivo, al punto de que, durante las horas punta, un solo ocupante de automóvil puede causar hasta once veces más congestión que un pasajero de autobús.

Por último, Leiva (2003), en su tesis para la Universidad San Carlos de Guatemala, planteó como objetivo principal reducir la incidencia de accidentes de tránsito en las vías terrestres. Para ello, aplicó conocimientos de la ingeniería de tránsito para identificar las causas más frecuentes de siniestros viales, y en base a ello, propuso soluciones técnicas que permitan mitigar este problema estructural.

1.2.2. *Antecedentes nacionales*

Ramos (2019), desarrolló la tesis “Evaluación de la capacidad vehicular y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas del corredor vial prolongación Av. de la cultura en el distrito de San Sebastián y propuesta de solución”. El objetivo fue analizar la congestión generada por alta demanda vehicular en horas punta. La metodología incluyó aforos manuales, aplicación del HCM 2016 y simulación en Synchro 8.0. Los resultados evidenciaron niveles de servicio E con demoras promedio de 75 s/vehículo. Recomendó optimización semafórica y canalización de accesos.

Por otro lado, Ríos (2018), en su tesis para la Universidad de Piura titulada Modelación del tránsito y propuesta de solución vial a la Av. Cáceres con Infracworks y Synchro 8, tuvo como propósito central realizar una evaluación técnica de la situación actual de dicha avenida. A través del uso de herramientas de simulación como InfraWorks y Synchro 8, y aplicando

metodologías como el HCM 2010 y la normativa MTC DG-2018, se buscó identificar fallas operativas en la infraestructura y plantear soluciones con criterios técnicos y económicos viables a mediano y largo plazo.

En el mismo ámbito, Cruz y Melgarejo (2020) desarrollaron un estudio con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de los habitantes cercanos a la carretera Recuay-Huancapampa. Para ello, llevaron a cabo análisis de tránsito, estudios topográficos y evaluaciones de mecánica de suelos. Su propuesta consistió en diseñar un pavimento adecuado que incremente la capacidad vial del corredor. El estudio, de tipo descriptivo y enfoque no experimental, abarcó una longitud de 1.520 km. Los resultados evidenciaron una topografía con pendiente del 6 % y una subrasante de buena calidad. Además, se estimó un tránsito de diseño equivalente a 936.839,77 ejes estándar (ESAL). En función de estos datos, se recomendó un pavimento flexible, compuesto por una capa asfáltica de 8 cm y una base granular de 20 cm. Con esta intervención, se espera optimizar la seguridad vial y mejorar significativamente el bienestar de la población de Recuay y Huancapampa.

En línea similar, Huamán (2017), en su tesis desarrollada en la Universidad Peruana Los Andes, investigó la relación entre los actos y condiciones subestándar y la ocurrencia de accidentes de tránsito en la intersección entre la Av. Circunvalación del Golf y la calle Orión. Su análisis también incluyó el impacto de la señalización vial en la ocurrencia de siniestros, con el fin de identificar factores críticos que influyen en la seguridad vial.

Por otro lado, el traslado cotidiano ya sea para trabajar o distribuir productos depende en gran medida del funcionamiento adecuado de las carreteras rurales durante toda su vida útil. En ese contexto, Colchado y Díaz (2018) realizaron un análisis de transitabilidad en la vía Simbrón-Farrat-Colpa-Sacha Grande, localizada en el distrito de Sayapullo, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad. Para determinar la necesidad de rehabilitación de la carretera, se recurrió a los manuales técnicos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones,

así como a estudios de tráfico, inventarios viales y evaluaciones de daños estructurales. La investigación concluyó que la principal causa del deterioro es el mantenimiento insuficiente, por lo que se planteó un presupuesto destinado a la rehabilitación y conservación, asegurando así el cumplimiento de la vida útil proyectada para la infraestructura.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Mejorar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad en el Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Determinar las características geométricas y físicas del Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.
- Determinar la composición del tráfico vehicular y peatonal en el Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.
- Determinar el nivel de servicio vehicular y peatonal en el Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.
- Proponer mejoras que permitan mejorar la seguridad vial y transitabilidad en el Ovalo Cusco, distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.

1.4. Justificación

La intersección de las avenidas Tacna y Coronel Gregorio Albarracín, ubicada en el distrito de Tacna, presenta actualmente diversos conflictos de tránsito y deficiencias en la infraestructura vial, que afectan tanto la movilidad de los vehículos como la seguridad de los peatones. La falta de orden en la circulación, la insuficiente señalización y la inadecuación de los elementos de accesibilidad generan riesgos significativos, incrementando la probabilidad de accidentes y reduciendo la eficiencia del tránsito en esta zona.

Ante esta situación, resulta fundamental desarrollar un estudio que permita identificar de manera sistemática las principales problemáticas viales y proponer medidas correctivas orientadas a optimizar la seguridad y la transitabilidad. La investigación contribuirá a generar información técnica y actualizada que respalde la implementación de mejoras en la infraestructura, tales como el mejoramiento de rampas peatonales, la señalización horizontal y vertical, la reorganización del diseño vial y la optimización de los tiempos de ciclo semafórico.

Asimismo, el estudio tiene un enfoque social, ya que busca reducir los riesgos de accidentes de tránsito, fomentar la educación vial y mejorar la calidad de vida de los usuarios de la vía, promoviendo un entorno más seguro, accesible y eficiente. De esta manera, la propuesta no solo atenderá las necesidades operativas del tránsito, sino que también contribuirá al bienestar de la comunidad, fortaleciendo la seguridad vial y la movilidad urbana en el distrito.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La implementación de mejoras geométricas, físicas y funcionales en el Óvalo Cusco, ubicado en el distrito de Tacna y Coronel Gregorio Albarracín, permitirá optimizar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad tanto vehicular como peatonal.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La identificación de las características geométricas y físicas del Óvalo Cusco permitirá detectar deficiencias de diseño que influyen negativamente en la transitabilidad y seguridad vial.
- El análisis de la composición del tráfico vehicular y peatonal en el Óvalo Cusco evidenciará una alta participación de transporte público y peatones en zonas críticas, lo que genera conflictos de tránsito.

- La evaluación del nivel de servicio vehicular y peatonal demostrará que el Óvalo Cusco opera con un nivel de servicio bajo, reflejando problemas de congestión y riesgos para la seguridad de los usuarios.
- La propuesta de intervenciones integrales en la geometría, señalización e infraestructura del Óvalo Cusco contribuirá a mejorar significativamente la seguridad vial y la fluidez de la transitabilidad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Seguridad vial*

La seguridad vial se concibe como un conjunto de acciones integrales orientadas a disminuir la probabilidad de accidentes de tránsito que deriven en lesiones o fallecimientos. Estas acciones buscan mejorar las condiciones de circulación, promoviendo un entorno de movilidad más seguro, accesible y sostenible para todos los medios de transporte. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2017).

2.1.2. *Diseño vial urbano*

Montoya (2005) sostiene que un sistema vial eficiente debe permitir diversos tipos de desplazamientos que forman parte de un viaje completo. En este contexto, se identifican seis etapas fundamentales: el movimiento principal, la transición, la distribución, la recolección, el acceso y la llegada al destino. Aunque en zonas urbanas es posible establecer una jerarquía de movimientos, la clasificación de las vías se torna más compleja debido a la elevada densidad poblacional y a la diversidad de usos del suelo. Además, la ubicación precisa de los principales generadores de viajes suele ser difícil de determinar. Por esta razón, es necesario incorporar otros criterios, como la continuidad de las vías, la separación entre intersecciones y el nivel de accesibilidad, con el fin de diseñar una red vial coherente y funcional.

2.1.3. *Accesibilidad*

Se entiende por accesibilidad la condición que deben reunir los entornos, procesos, productos, servicios, así como los objetos, herramientas y dispositivos, para que puedan ser comprendidos, utilizados y operados por todas las personas, garantizando niveles adecuados de seguridad, confort y autonomía. Este principio se sustenta en el enfoque de “diseño universal” o “diseño para todos”, sin excluir la aplicación de ajustes razonables cuando estos sean necesarios.

2.1.4. *Análisis de flujo vehicular*

Cal y Cárdenas (2019) afirman que, para una adecuada planificación, diseño y operación de carreteras, calles e infraestructuras complementarias dentro del sistema de transporte, es fundamental comprender las propiedades y el comportamiento del tránsito vehicular. Esta comprensión se logra mediante el análisis del flujo vehicular, el cual estudia el desplazamiento de los vehículos en distintos tipos de vías, aplicando principios físicos y matemáticos. Dicho enfoque permite valorar la eficiencia operativa de las infraestructuras viales.

2.1.5. *Dispositivos de control de tránsito*

Transportation Research Board (TRB, 2010), en su documento Highway Capacity Manual 2010, señala que los dispositivos de control del tráfico comprenden señales, balizas, semáforos y otros elementos instalados sobre o en las inmediaciones de las vías, con el propósito de orientar, regular o advertir a los usuarios del sistema vial. Estos dispositivos cumplen funciones clave: alertan sobre medidas preventivas que deben adoptarse, informan sobre restricciones aplicables al tramo de vía en uso, y proporcionan guías específicas en función de las características particulares del entorno vial.

Asimismo, la Resolución Directoral N° 016-2014-MTC/16 (2016) señala que los elementos de control incluyen reductores de velocidad, señales portátiles de pare, delineadores tubulares, conos, barreras plásticas, cintas de seguridad, linternas, dispositivos luminosos, paletas y otros implementos. Todos estos deben cumplir con los criterios normativos en cuanto a color, forma, leyenda, simbología y dimensiones. Además, se permite el uso de luces intermitentes en vehículos oficiales como parte de los mecanismos de señalización temporal.

2.1.6. *Sistema operacional de la semaforización*

Los dispositivos semafóricos tienen diversas formas de actuar, no solo de forma aislada, la cual no depende de otro sistema para su funcionamiento, coordinación y su operación es con

el mismo ciclo o múltiplo de este en intersecciones próximas. La coordinación y/o sincronización de una red semafórica se puede realizar mediante conexiones físicas aéreas (cables telefónicos) o mediante fibra óptica (subterráneas) con un sistema centralizado el cual opera con indicaciones desde un centro de control, pero existen algunas anomalías en el medio ambiente que implican que la red semafórica no opere eficientemente, para lo cual se debe tener un constante monitoreo y mantenimiento de la red.

Los semáforos de tiempo fijo, también conocidos como semáforos de control predeterminado, son dispositivos utilizados para la regulación del tránsito vehicular y peatonal mediante una secuencia programada de luces que se activa según intervalos temporales previamente establecidos. Estos sistemas operan conforme a parámetros definidos como la duración del ciclo, la secuencia de fases y los desfases, los cuales pueden ser modificados según configuraciones programadas.

Este tipo de control resulta especialmente adecuado para intersecciones en las que los flujos vehiculares presentan patrones regulares o previsibles, ya que permiten gestionar la circulación sin generar demoras significativas. Además, el control pre-sincronizado es útil cuando se requiere coordinar los semáforos con otros dispositivos cercanos ya existentes o proyectados, sobre todo en tramos de vía con alta saturación o capacidad al límite.

En contraste, los semáforos actuados por demanda de tránsito son sistemas inteligentes cuyo funcionamiento se ajusta en tiempo real a las condiciones del flujo vehicular y peatonal. Estos dispositivos emplean detectores instalados en las vías o aceras, los cuales envían señales a una unidad de control que gestiona la activación del semáforo según las necesidades detectadas en cada momento.

Dependiendo del grado de automatización, estos semáforos se dividen en tres tipos: (1) totalmente actuados, cuando todos los accesos a la intersección cuentan con sensores de activación; (2) parcialmente actuados, cuando solo algunos accesos están equipados con

dispositivos de detección; y (3) ajustados al tránsito, cuando la operación semafórica se modifica constantemente con base en datos de flujo captados por sensores de muestreo y procesados por un computador central que controla el área o calle correspondiente

2.1.7. *Software de micro modelación del tránsito*

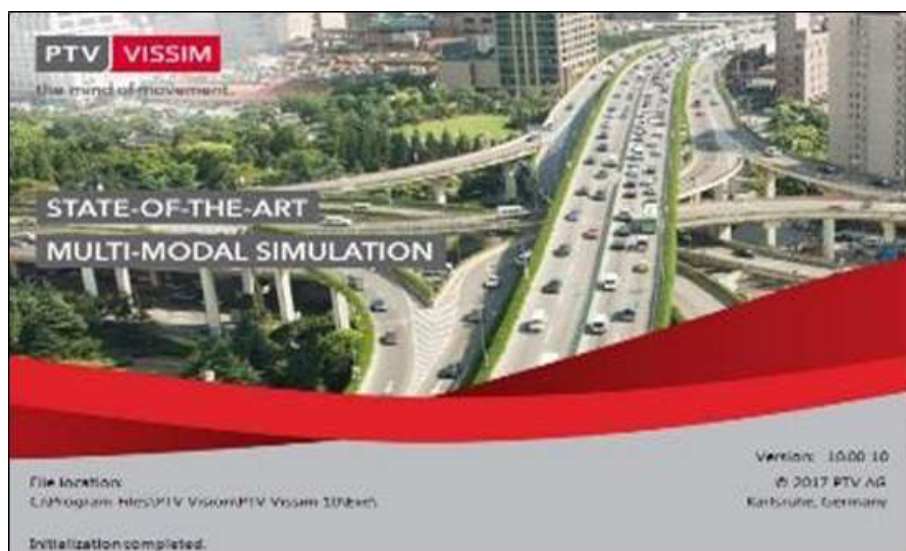
Para el diagnóstico y evaluación de los impactos sobre la circulación vehicular y peatonal, se utilizó el software de micromodelación VISSIM 10.0.09. Esta herramienta permite realizar simulaciones microscópicas y multimodales del tránsito urbano. VISSIM proviene del alemán “Verkehr In Städten – Simulation”, que significa “Simulación de tránsito en ciudades”.

El origen teórico de este software se remonta a investigaciones realizadas en la Universidad de Karlsruhe durante la década de 1980. VISSIM se basa en un enfoque de micro simulación, lo que implica que cada unidad del flujo vehicular incluidos automóviles, bicicletas y peatones es modelada de manera individual. Estas unidades son representadas considerando tanto sus características físicas como sus comportamientos, los cuales interactúan entre sí y con la infraestructura vial mediante algoritmos, reglas de tránsito y modelos de comportamiento.

Cabe destacar que este tipo de simulación presenta tres propiedades fundamentales: es dinámica (los procesos se desarrollan en función del tiempo), discreta (los cambios en las variables se producen en instantes definidos, usualmente a intervalos fijos), y estocástica (los resultados incorporan elementos de aleatoriedad debido a la variabilidad en el comportamiento del tránsito).

Figura 1

Software de micro simulación Vissim 10.00.09



Nota. Tomado de PTV - AG, Karlsruhe, Alemania.

A diferencia de otros programas de simulación, VISSIM se caracteriza por ser completamente estocástico, ya que incorpora modelos matemáticos avanzados como el de seguimiento vehicular de Wiedemann y el modelo de cambio de carril lógico. Gracias a estas funcionalidades, el software permite llevar a cabo evaluaciones altamente precisas, adecuadas a los objetivos específicos del estudio.

En este contexto, la naturaleza estocástica de VISSIM le permite generar resultados a partir de intervalos de variabilidad, contruidos sobre la base de los tiempos promedio de servicio para cada tipo de vehículo, así como de su correspondiente desviación estándar. Esta capacidad de representar de manera realista la incertidumbre y variabilidad del comportamiento del tránsito lo convierte en una herramienta idónea para el análisis detallado del flujo vehicular en escenarios complejos.

2.1.8. Clasificación de la red vial

La Ordenanza N° 341-2001-MML (2001) regula el Sistema Vial Metropolitano de Lima, la red vial del área de estudio se compone de los siguientes tipos de vías:

2.1.8.1. Vías expresas. Estas vías están diseñadas para soportar un elevado volumen de vehículos que circulan a alta velocidad bajo condiciones de tránsito libre, es decir, sin interrupciones generadas por cruces al mismo nivel. La circulación de vehículos menores, ya sean motorizados o no, de dos o tres ruedas, tanto de uso privado como público, está restringida, especialmente en casos donde exista sustento técnico. Además, el transporte público de pasajeros también se encuentra limitado en estas vías. Las vías expresas subregionales, por su parte, forman parte del Sistema Vial Metropolitano e interconectan con subregiones del país. Conforme al Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC, el límite máximo de velocidad permitido en estas vías es de 80 km/h.

2.1.8.2. Vías arteriales. Son aquellas que canalizan volúmenes importantes de tránsito entre zonas urbanas de alta generación de viajes, permitiendo velocidades de circulación moderadas. En tramos extensos, estas vías pueden incorporar pasos a desnivel o intercambios viales para mejorar la fluidez vehicular. Es posible que presenten intersecciones a nivel con otras arterias o con vías colectoras, y su diseño debe considerar carriles adicionales para maniobras de giro, a fin de optimizar su capacidad. Idealmente, deben contar con vías de servicio laterales que faciliten el acceso a las propiedades adyacentes. De acuerdo con el Decreto Supremo. N.º 016-2009-MTC (2009), el límite de velocidad en estas vías es de 60 km/h.

2.1.8.3. Vías colectoras. Estas vías, también de carácter metropolitano, tienen la función de canalizar el tránsito desde sectores urbanos hacia las vías arteriales o expresas. Además de servir como rutas de conexión, permiten el acceso a propiedades colindantes y absorben una porción significativa del tránsito de paso. En caso se autorice su uso para transporte público, deberán contar con paraderos diseñados específicamente para tal fin. En el ámbito del presente estudio no se ha identificado infraestructura vial de este tipo. El Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC (2009) establece que la velocidad máxima permitida oscila entre

los 45 y 60 km/h.

2.1.8.4. Vías locales. Su principal función es brindar acceso directo a predios o lotes contiguos. En el caso de habilitaciones urbanas destinadas a vivienda, la aprobación de estas vías corresponde a las municipalidades distritales; mientras que, en habilitaciones de tipo industrial, comercial u otros usos, dicha competencia recae en la Municipalidad Metropolitana de Lima. Según lo indicado en el Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC (2009), el rango de velocidad segura permitido en estas vías es de 30 a 40 km/h.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque aplicado, el cual se define como una investigación científica orientada a resolver problemas concretos, generando conocimientos útiles y directamente aplicables en contextos reales. En la investigación, se utilizarán dos niveles de investigación: el descriptivo y el explicativo.

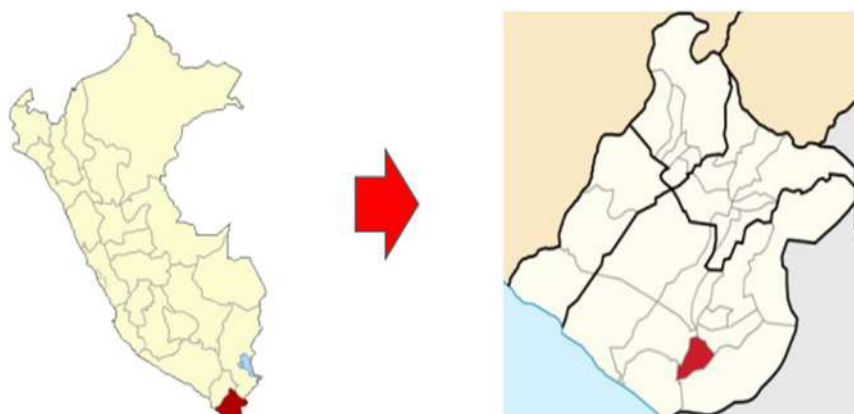
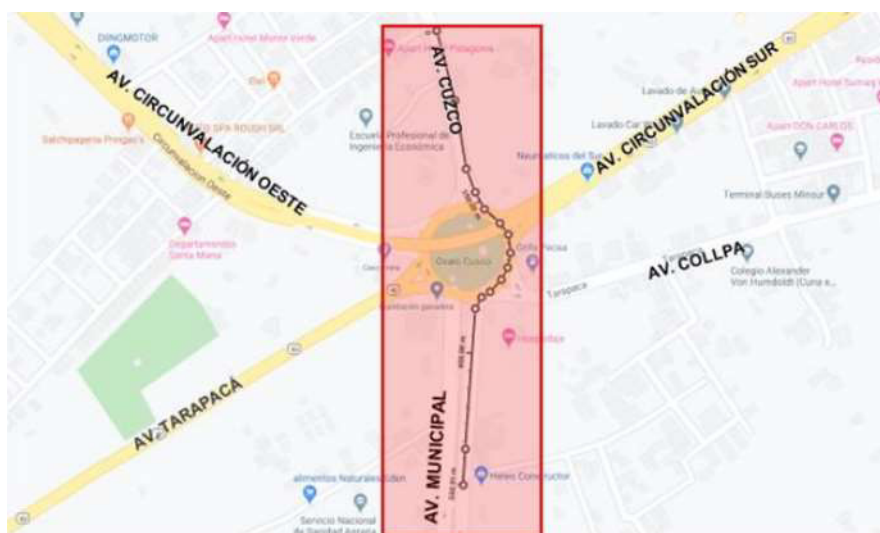
Por un lado, el nivel descriptivo permite caracterizar los fenómenos observados, identificando y detallando sus principales atributos sin que ello implique necesariamente establecer relaciones causales. Por otro lado, el nivel explicativo tiene como finalidad analizar las conexiones existentes entre variables, con el propósito de comprender los mecanismos o causas que originan un determinado fenómeno (Hernández et al., 2014).

3.2. Ámbito temporal y espacial

La investigación desarrollada tiene como finalidad principal proponer mejoras orientadas a optimizar la seguridad vial y la transitabilidad de los usuarios en el Óvalo Cusco, considerando también las vías adyacentes ubicadas en el distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín.

La ubicación de la zona de estudio es la siguiente:

- Distrito: Tacna y coronel Gregorio Albarracín
- Provincia: Tacna

Figura 2*Localización del área de estudio***Figura 3***Ubicación del área de estudio*

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente

Variable independiente: Estudio de tránsito vehicular y peatonal.

Sus indicadores son:

- Volúmenes de tránsito
- Composición vehicular
- Capacidad de la vía

- Nivel de servicio

3.3.2. *Variable dependiente*

Propuesta de mejoramiento.

Sus indicadores son:

- Señalización horizontal
- Señalización vertical
- Estado de la Infraestructura.
- Diseño geométrico de la vía

3.4. Población y muestra

La población considerada en esta investigación corresponde al Óvalo Cusco, situado en el distrito de Tacna y coronel Gregorio Albarracín. Dado que se trata de un espacio vial específico, claramente delimitado y singular, se define como una población unitaria para los fines del estudio. Además, el análisis del flujo vehicular se realizará en el horario de mayor demanda, correspondiente a la hora punta, a fin de obtener resultados representativos de las condiciones más críticas de tránsito.

3.5. Instrumentos

Sistema de Control Urbano: Se entiende como la formulación de un esquema de regulación vial, fundamentado en el uso de tecnología especializada como el software VISSIM. Este sistema se apoya en la observación continua del comportamiento del tránsito, facilitando la recopilación de datos a través del trabajo de campo y permitiendo el análisis detallado de la dinámica vehicular.

Ensayos de ingeniería de tránsito (factores): Dentro de los estudios técnicos aplicados en ingeniería de tránsito, se consideran diversos factores clave, tales como: la capacidad por carril, la relación volumen/capacidad y su correspondiente factor de corrección, la velocidad

del flujo vehicular, la densidad de accesos, la tasa de demanda del flujo, el factor de hora pico, así como el porcentaje de demora temporal atribuible al seguimiento vehicular.

3.6. Procedimientos

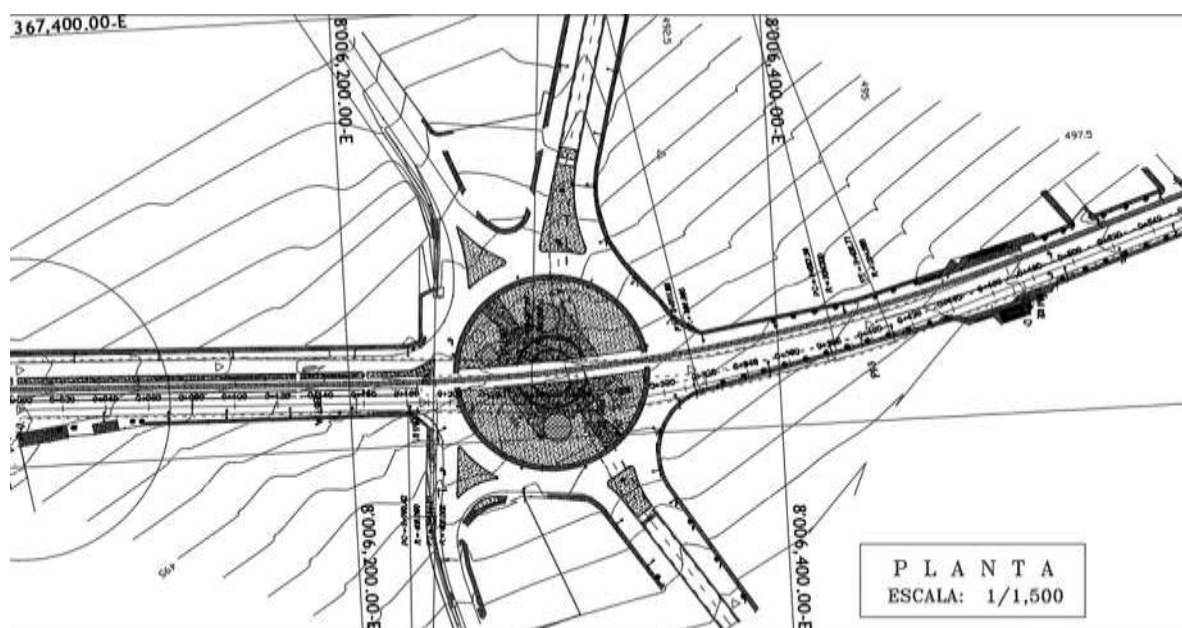
3.6.1. La descripción topográfica de la zona de actuación

La topografía es relativamente plana con pendientes entre 1.10% - 1.30%. así mismo se observa que el área de proyecto existe consolidación urbana (pistas, veredas, áreas verdes, mobiliario y equipamiento urbano), sin embargo, está orientada a otros usos como industria y servicios no esenciales.

El proyecto se encuentra a 495 msnm en promedio, esto medido en el centro del ovalo cuzco, según lo indica el levantamiento topográfico del área usuaria.

Figura 4

Plano de levantamiento topográfico del área usuaria



3.6.2. Clasificación de la vía y categoría urbana

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en el Título II referido a las Habilitaciones Urbanas – Consideraciones Generales, la Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011(2016), en su

artículo 7, señala que las características de las secciones viales que conforman el sistema vial primario de una ciudad deben ser determinadas por el Plan de Desarrollo Urbano correspondiente. Este sistema primario está integrado por vías expresas, vías arteriales y vías colectoras, las cuales cumplen funciones específicas dentro del esquema de movilidad urbana.

En concordancia con lo anterior, el Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna 2015-2025 establece que su sistema vial urbano se estructura funcionalmente en dos grandes componentes: la red vial primaria y la red vial secundaria. Esta clasificación se basa en los lineamientos normativos definidos por el propio plan, lo cual permite ordenar y jerarquizar el sistema de transporte terrestre urbano conforme a criterios técnicos y de planificación territorial (Municipalidad Provincial de Tacna, 2015).

Tabla 1

Clasificación y codificación de vías

Estructura	Clasificación	Código
Red Vial Primaria	Vías internacionales	VIN
	Vías interregionales	VIR
	Vías interprovinciales	VIP
	Vías arteriales	VAR
Red Vial Secundaria	Vías colectoras	VC
	Vías locales	VL

3.6.3. *Clasificación Normativa de Vías Internacionales*

La vía Panamericana, tanto en su tramo Sur como Norte, constituye el eje estructurante del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC), integrando a la ciudad de Tacna con las regiones de Moquegua, Arequipa, Ica y Lima, además de facilitar su conexión con la ciudad de Arica y el norte del territorio chileno. Por su parte, la vía Collpa-La Paz, que conecta longitudinalmente el distrito de Pocollay con el centro de Tacna y el Valle Viejo, se proyecta como un eje estratégico con potencial para convertirse en una ruta de interconexión regional e incluso internacional.

3.6.4. *Vías de Articulación Urbana: Vías Arteriales*

De acuerdo con lo establecido en el Plan de Desarrollo Urbano, las vías arteriales son aquellas que, por su nivel de conexión, magnitud y jerarquía dentro del sistema vial urbano, cumplen la función de vincular entre sí los principales sectores de la ciudad. Estas vías se conectan de manera directa con las rutas de articulación interregional y permiten una circulación vehicular de fluidez media a alta, aunque con acceso limitado y una integración moderada con los usos del suelo adyacentes.

Además, estas vías cumplen un rol fundamental en la distribución del tránsito hacia vías de menor jerarquía, como las colectoras y locales. El plan urbanístico vigente contempla la articulación vial de los sectores 10, 11, 14 y 8, áreas identificadas con proyección de expansión urbana, con el objetivo de consolidar las centralidades existentes en la zona sur de la ciudad. Asimismo, se busca dotar de infraestructura adecuada a espacios estratégicos como la Centralidad Puerto Seco y el Mercado Mayorista, fortaleciendo su funcionalidad dentro del sistema urbano regional.

Tabla 2

Vías arteriales

Nº	Nombre de Vías
1	Av. Litoral
2	Av. Ejército
3	Av. Tarapacá
4	Av. Caplina
5	Av. Manuel A. Odría
6	Av. Panamericana Sur
7	Av. Bohemia Tacneña
8	Av. Cristo Rey
9	Av. Los Poetas
10	Ca. Tarata y Los Precursores
11	Av. La Cultura
12	Av. Municipal
13	Av. Von Humboldt
14	Av. Jorge Basadre Grohmann Oeste
15	Av. Cuzco

Nº	Nombre de Vías
16	Ca. Vicente Dagnino
17	Av. Gregorio Albarracín
18	Av. Augusto B. Leguía
19	Av. Jorge Basadre Grohmann Sur
20	Av. Jorge Basadre Grohmann Norte
21	Av. Jorge Basadre Grohmann Este
22	Av. Grau
23	Av. Bolognesi
24	Av. Celestino Vargas
25	Ca. Gregorio Albarracín
26	Ca. Patricio Meléndez
27	Av. Basadre y Forero
28	Av. Industrial
29	Ca. Daniel Alcides Carrión
30	Av. Gustavo Pinto
31	Prolongación de la Av. Pinto
32	Ca. José Torre Tagle
33	Av. Haití
34	Av. Gregorio Albarracín
35	Av. Mariano Necochea
36	Av. Canadá
37	Av. Internacional

Así mismo del análisis realizado en los estudios de vialidad urbano del proyecto se indica que las vialidades que pasan a través de la intersección tienen funciones diversas como nacional, departamental, vecinal, urbana vías férreas como las que detallamos a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3*Vialidad nacional, vecinal y urbana intervenida*

Tipo De Vialidad	Ámbito	Nomenclatura Y Trayectoria					
Vías Urbanas	Arterial	Av. Municipal	Av. Cuzco	Av. Circunvalación Sur	Av. Circunvalación Oeste	Av. Tarapacá	Av. Collpa
				PE-40 Emp PE		PE-40 Emp PE	
				1S (Tacna)		1S (Tacna)	
				— Pachia —		— Pachia —	
				Palca —		Palca —	
				Alto Perú —		Alto Perú —	
	Vialidad Nacional			Rosaspata (PE- 40 A)		Rosaspata (PE-40 A)	
				Ancomarc a —		Ancomarc a —	
				Tripartito (Frontera con Bolivia y Chile)		Tripartito (Frontera con Bolivia y Chile)	
Carreteras		TA-634 (Emp. PE-40 —					TA-631 (Emp. TA-614
	Vialidad Vecinal	Coronel Gregorio Albarracín — Asociación Agropecuaria — Valle de Viñani — Valle 2000)					— Peañas — Humos — Emp. TA-632)
Vías Férreas		Ferrocarril Tacna - Arica	Ferrocarril Tacna-Arica				

Según el manual de carreteras diseño geométrico DG-2018

Según la demanda se encuentra clasificado de la siguiente manera:

3.6.4.1. Clasificación de Autopistas según DG-2018. De acuerdo con la normativa vigente contenida en la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14 (2018), las autopistas se clasifican según el Índice Medio Diario Anual (IMDA) y características geométricas específicas, en función de su capacidad de servicio y nivel de control de accesos.

3.6.4.2. Autopistas de Primera Clase. Corresponden a vías de alta capacidad diseñadas para soportar un IMDA superior a 6,000 vehículos por día. Estas autopistas se caracterizan por tener calzadas separadas mediante un separador central con un ancho mínimo de 6.00 metros, y cada calzada debe contar con al menos dos carriles de 3.60 metros de ancho cada uno. Además, disponen de control total de accesos, lo que garantiza un flujo vehicular ininterrumpido sin intersecciones al mismo nivel. En zonas urbanas, deben incluir pasos peatonales elevados. La superficie de rodadura debe ser completamente pavimentada para asegurar la eficiencia y seguridad del tránsito.

3.6.4.3. Autopistas de Segunda Clase. Diseñadas para un IMDA que oscila entre 4,001 y 6,000 vehículos diarios, estas autopistas también poseen calzadas separadas, aunque el ancho del separador central puede reducirse hasta 1.00 metro, debiendo en tal caso incorporar sistemas de contención vehicular. Cada calzada debe tener como mínimo dos carriles de 3.60 metros de ancho. A diferencia de las autopistas de primera clase, el control de accesos es parcial, permitiendo algunos cruces a nivel y pasos vehiculares. Asimismo, se prevé la instalación de puentes peatonales en áreas urbanas. Al igual que las de primera clase, su superficie de rodadura debe estar totalmente pavimentada.

3.6.4.4. Clasificación por Orografía. Según las condiciones del terreno, las vías también se categorizan en función de su complejidad geométrica. En el caso del terreno plano (Tipo 1), se considera una pendiente transversal al eje vial menor o igual al 10% y pendientes longitudinales usualmente inferiores al 3%. Estas condiciones favorecen una traza sencilla y reducen significativamente el volumen de movimiento de tierras requerido para su construcción. Por tanto, en base a los estudios de aforos vehiculares realizados, se adopta esta clasificación como referencia técnica para el diseño y evaluación de la infraestructura vial conforme a lo estipulado en la normativa de la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14 (2018).

Tabla 4*Resumen de clasificación*

Vía Arterial	IMDa (Ambos Sentidos)	Según Demanda	Según Orografía
Av. Municipal	43,133	Autopista de Primera Clase	Tipo 1
Av. Tarapacá	5,164	Autopista de Segunda Clase	Tipo 1
Av. Jorge Basadre Sur	23,168	Autopista de Primera Clase	Tipo 1
Av. Cuzco	22,459	Autopista de Primera Clase	Tipo 1
Av. Jorge Basadre Oeste	17,057	Autopista de Primera Clase	Tipo 1
Av. Collpa	12,927	Autopista de Primera Clase	Tipo 1

3.7. Análisis de datos**3.7.1. Criterios básicos de diseño**

A continuación, se muestran los resultados del estudio de tráfico según las vías de ingreso al ovalo cuzco:

La Av. Municipal en ambos sentidos con su índice medio diario (IMDa).

Tabla 5*Índice Medio Diario - Estación E 01*

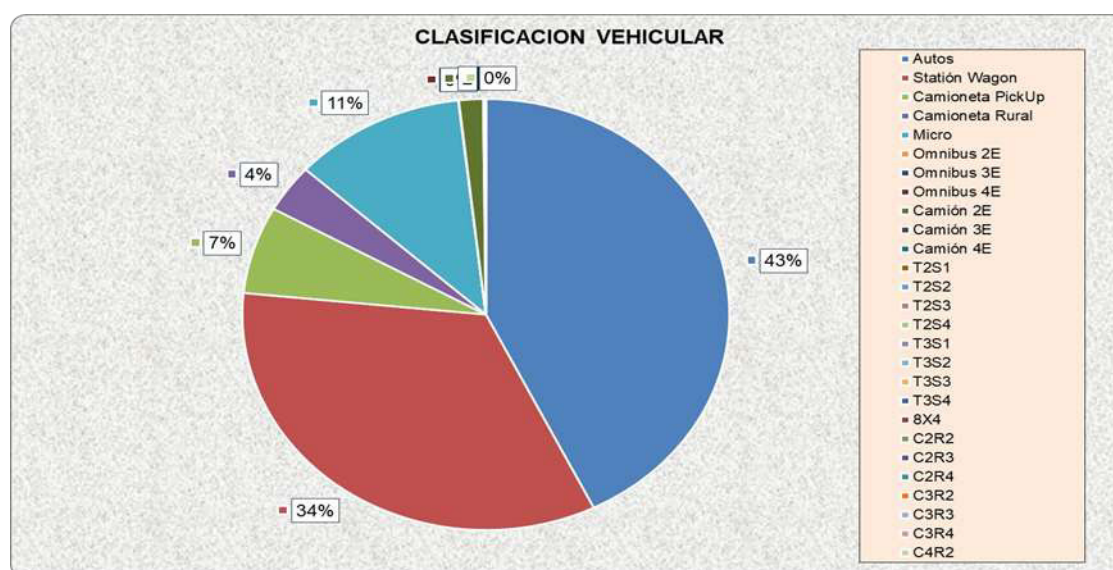
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib. %
Autos	18,417	42.70
Stación Wagon	14,620	33.90
Camioneta PickUp	2,830	6.56
Camioneta Rural	1,548	3.59
Micro	4,937	11.45
Omnibus 2E	15	0.03
Omnibus 3E	0	0.00
Omnibus 4E	1	0.00
Camión 2E	692	1.60
Camión 3E	54	0.13

Camión 4E	2	0.00
T2S1	1	0.00
T2S2	1	0.00
T2S3	1	0.00
T3S1	1	0.00
T3S2	2	0.00
T3S3	3	0.01
T3S4	2	0.00
C2R2	0	0.00
C2R3	3	0.01
C2R4	0	0.00
C3R2	0	0.00
C3R3	1	0.00
C3R4	0	0.00
C4R2	2	0.00
Total, IMD	43,133	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 5

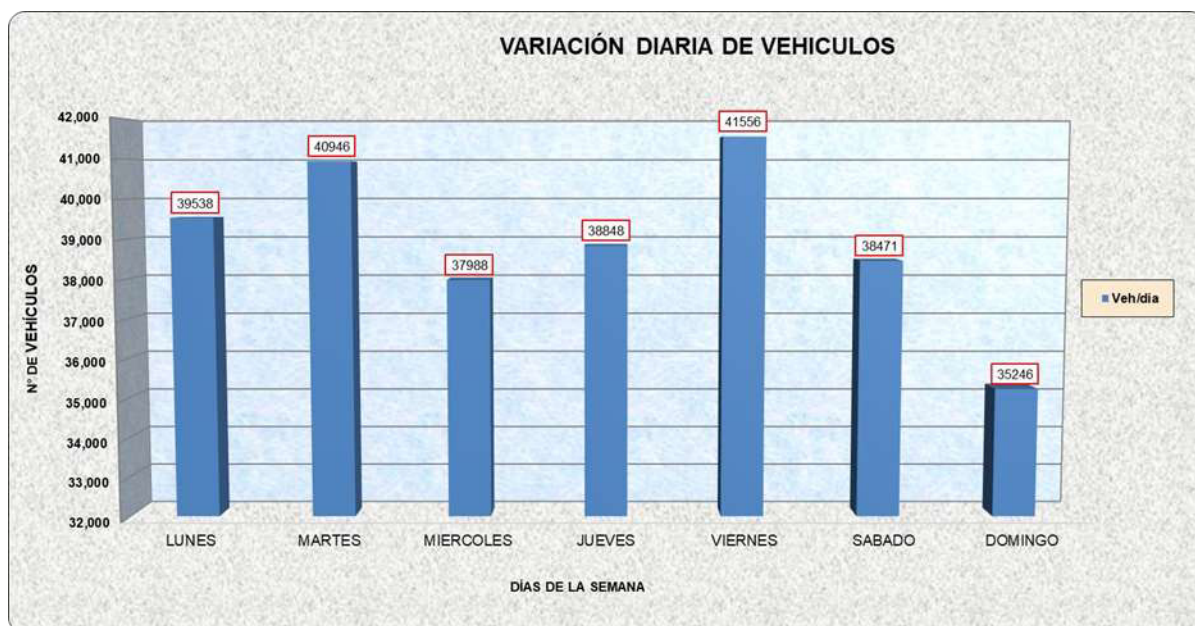
Clasificación vehicular - Estación E 01



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 6

Datos de variación diaria - E 01



La Av. Tarapacá en ambos sentidos y su índice medio diario (IMDa) se presenta a continuación:

Tabla 6

Índice Medio Diario - Estación E 02

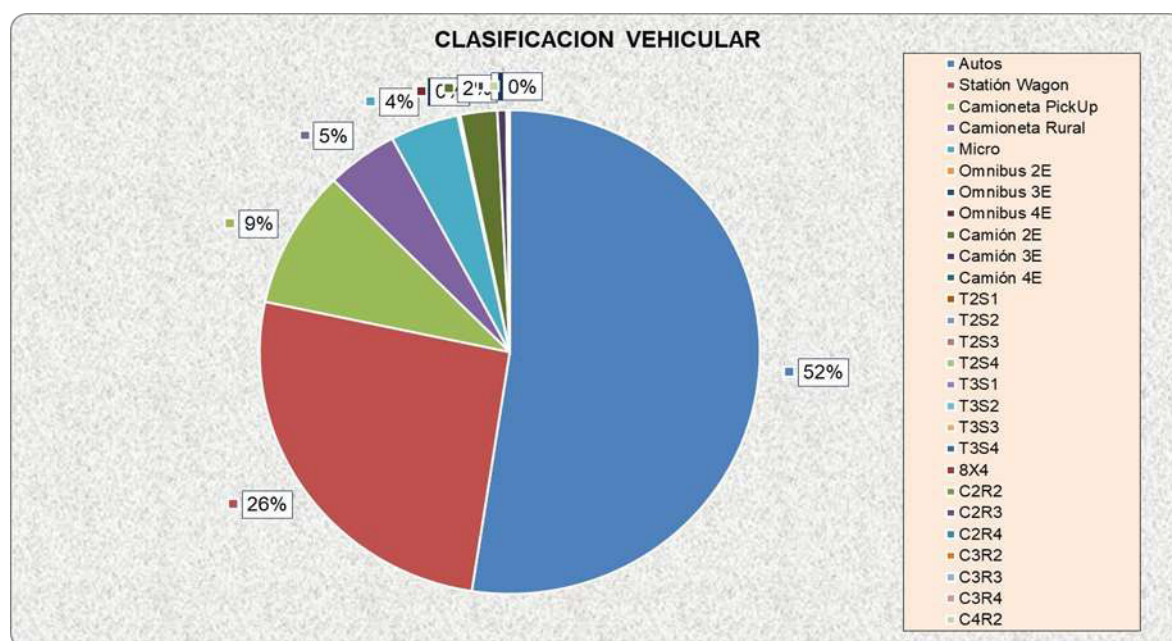
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib. %
Autos	2,708	52.44
Station Wagon	1,337	25.90
Camioneta PickUp	477	9.23
Camioneta Rural	240	4.64
Micro	230	4.44
Omnibus 2E	6	0.11
Omnibus 3E	1	0.02
Omnibus 4E	2	0.04
Camión 2E	123	2.38
Camión 3E	30	0.58
Camión 4E	2	0.04
T2S1	2	0.04
T2S2	2	0.04
T2S3	0	0.00
T2S4	0	0.00
T3S1	0	0.00
T3S2	1	0.02
T3S3	1	0.02
T3S4	0	0.00

8X4	2	0.04
C2R2	0	0.00
C2R3	0	0.00
C2R4	0	0.00
C3R2	0	0.00
C3R3	0	0.00
C3R4	0	0.00
C4R2	0	0.00
Total, IMD	5,164	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 7

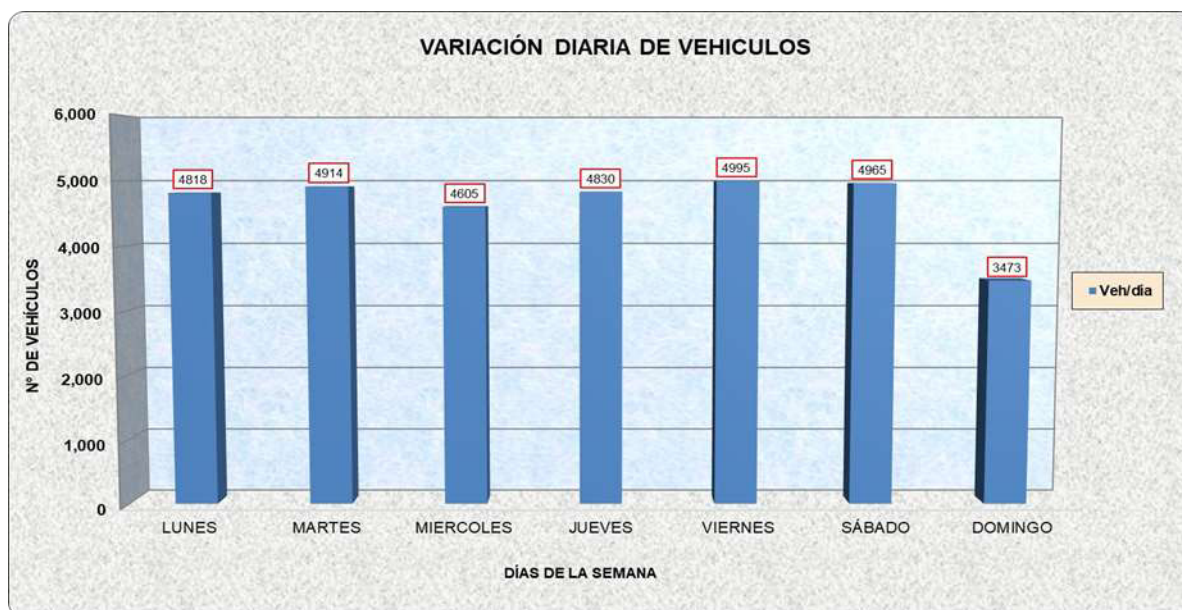
Clasificación vehicular - Estación E 02



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 8

Datos de variación diaria - E 02



La Av. Jorge Basadre Sur en ambos sentidos y su índice medio diario (IMDa) se presenta a continuación:

Tabla 7

Índice Medio Diario - Estación E 03

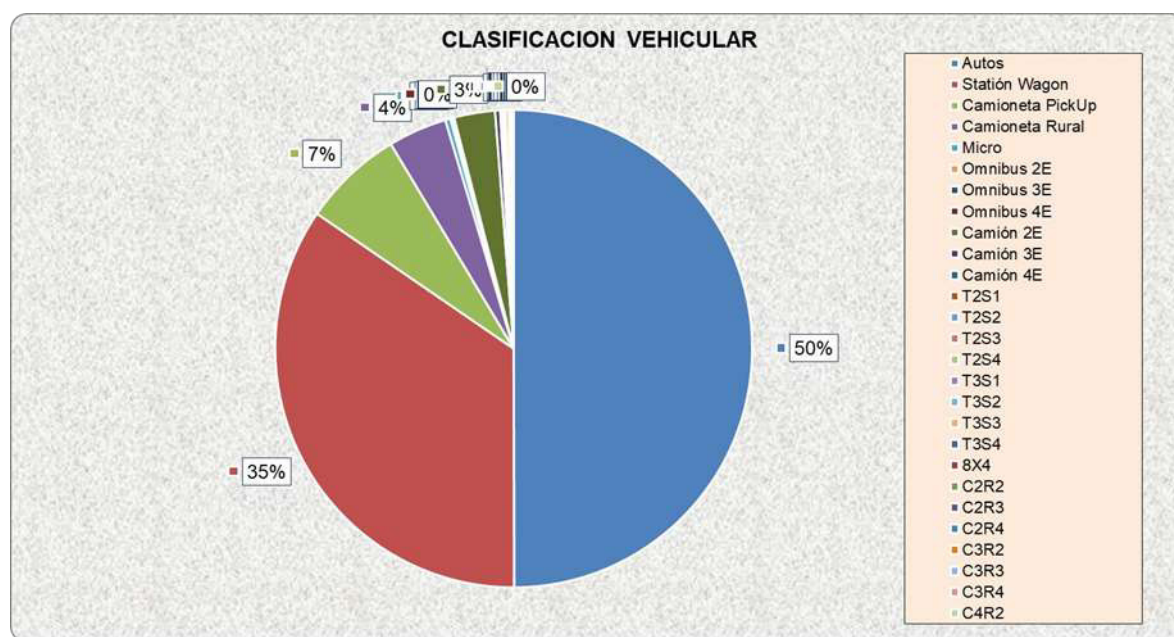
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib.
		%
Autos	11,577	49.97
Station Wagon	8,015	34.60
Camioneta PickUp	1,580	6.82
Camioneta Rural	924	3.99
Micro	81	0.35
Omnibus 2E	38	0.16
Omnibus 3E	4	0.02
Omnibus 4E	18	0.08
Camión 2E	643	2.78
Camión 3E	79	0.34
Camión 4E	9	0.04
T2S1	12	0.05
T2S2	6	0.02
T2S3	11	0.05
T2S4	2	0.01
T3S1	8	0.03
T3S2	37	0.16

T3S3	51	0.22
T3S4	9	0.04
8X4	7	0.03
C2R2	14	0.06
C2R3	13	0.06
C2R4	1	0.00
C3R2	10	0.04
C3R3	13	0.06
C3R4	2	0.01
C4R2	4	0.02
TOTAL, IMD	23,168	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 9

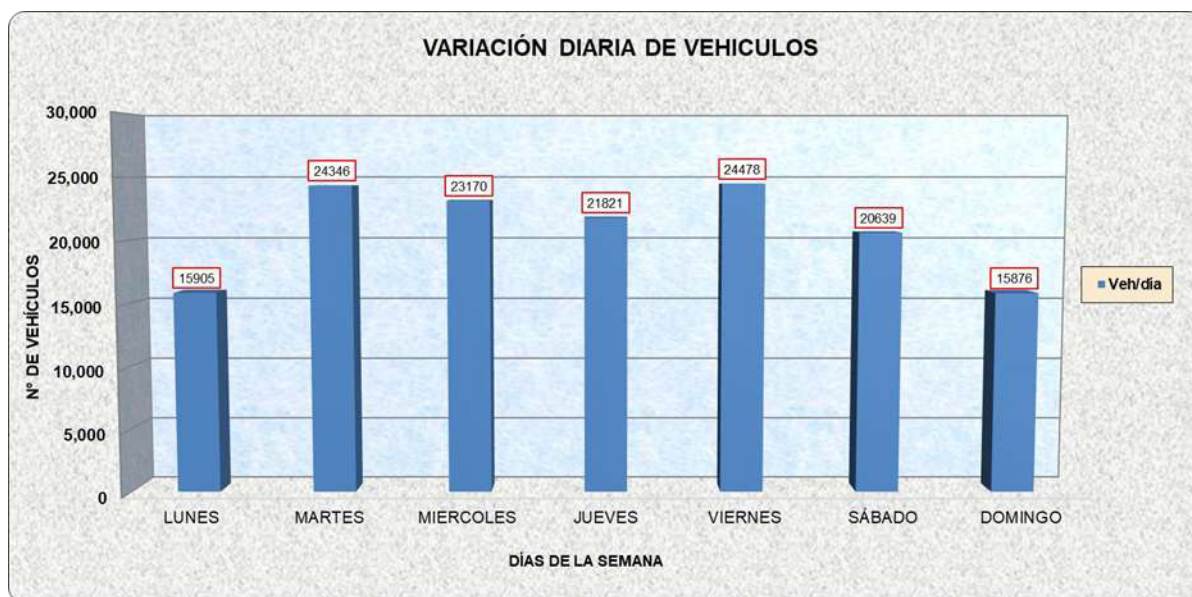
Clasificación vehicular - Estación E 03



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 10

Datos de variación diaria - E 03



La Av. Cuzco en ambos sentidos y su índice medio diario (IMDa) se presenta a continuación:

Tabla 8

Índice Medio Diario - Estación E 04

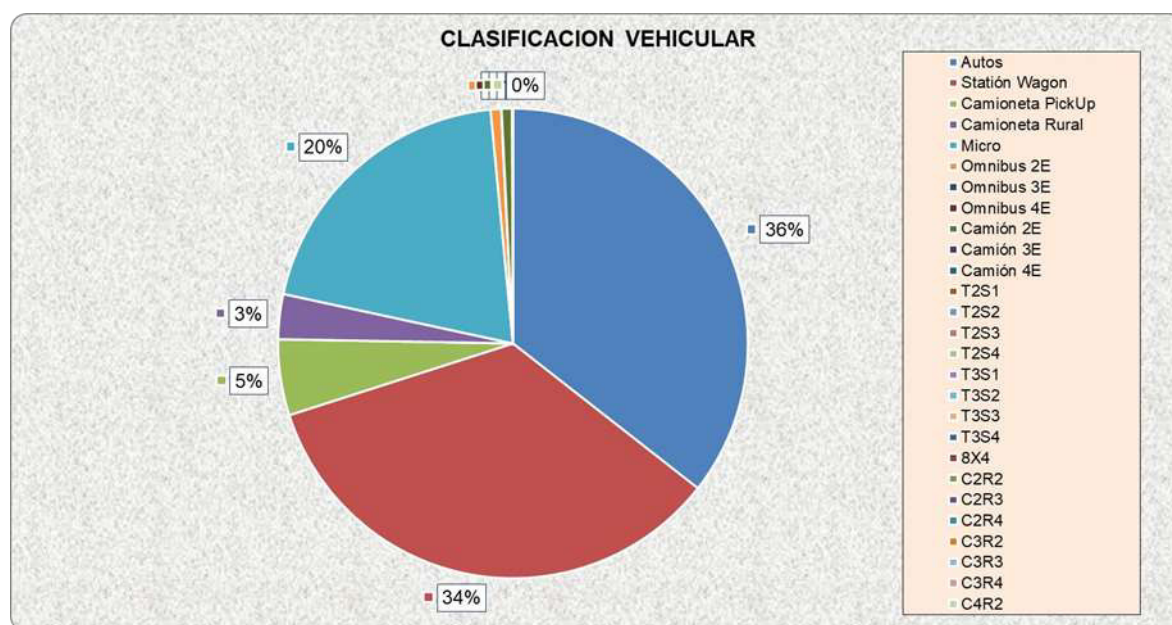
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib. %
Autos	7,990	35.57
Station Wagon	7,745	34.48
Camioneta PickUp	1,173	5.22
Camioneta Rural	695	3.10
Micro	4,513	20.10
Omnibus 2E	164	0.73
Omnibus 3E	1	0.00
Omnibus 4E	3	0.01
Camión 2E	162	0.72
Camión 3E	6	0.02
Camión 4E	1	0.00
T2S1	2	0.01
T2S2	1	0.00
T2S3	0	0.00
T2S4	0	0.00
T3S1	0	0.00
T3S2	1	0.00
T3S3	1	0.00

T3S4	0	0.00
8X4	0	0.00
C2R2	0	0.00
C2R3	0	0.00
C2R4	0	0.00
C3R2	0	0.00
C3R3	0	0.00
C3R4	0	0.00
C4R2	0	0.00
Total, IMD	22,459	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 11

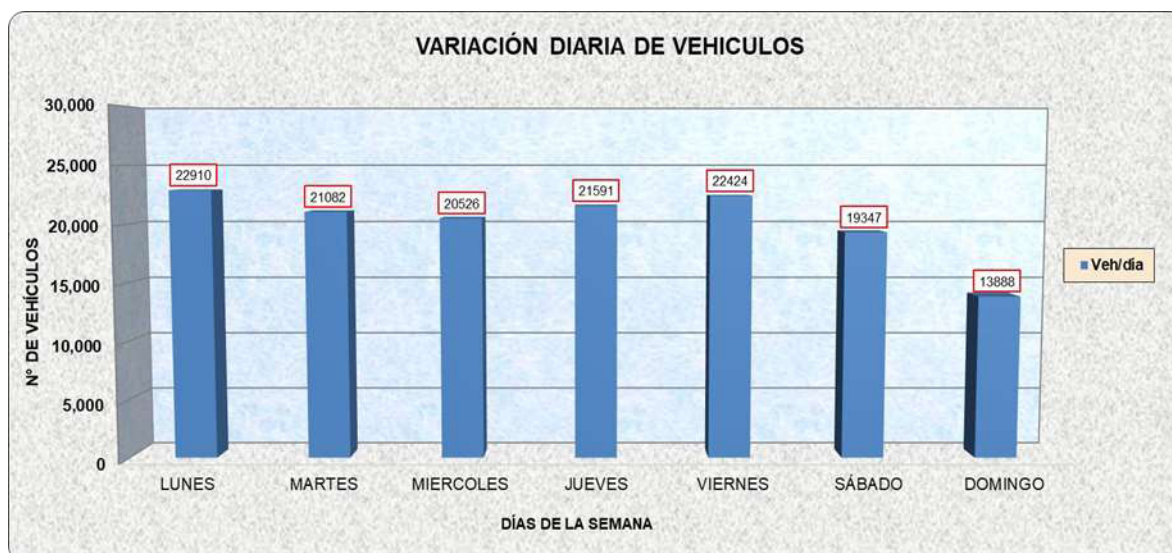
Clasificación vehicular - Estación E 04



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 12

Datos de variación diaria - E 04



La Av. Jorge Basadre Oeste en ambos sentidos y su índice medio diario (IMDa) se presenta a continuación:

Tabla 9

Índice Medio Diario - Estación E 05

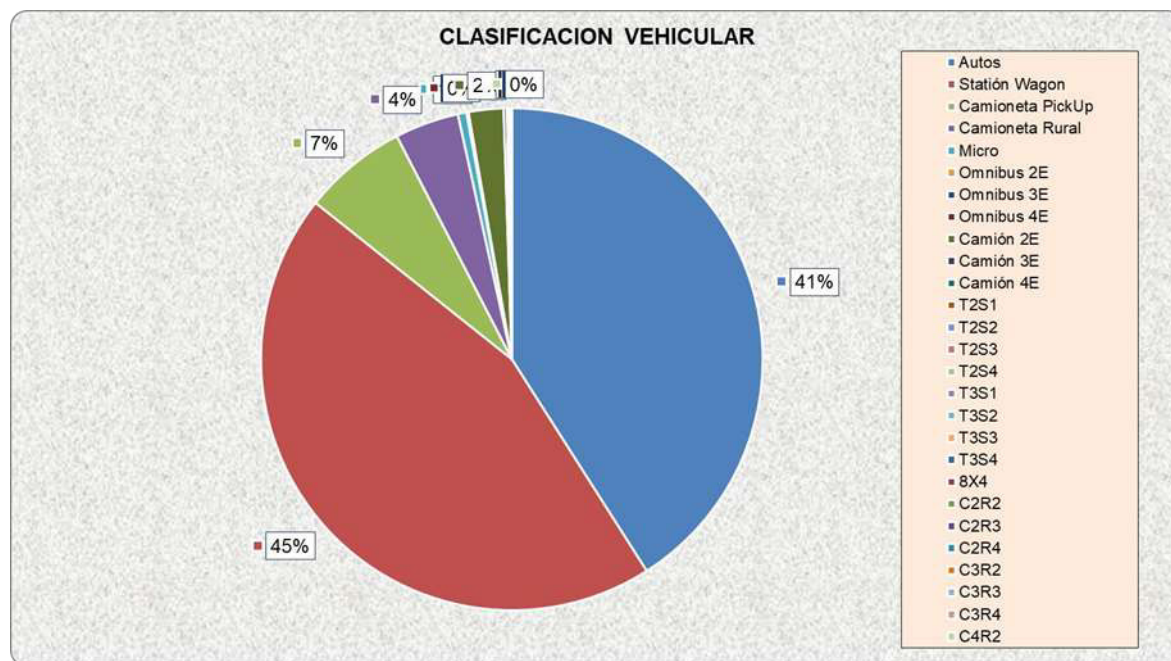
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib. %
Autos	6,988	40.97
Station Wagon	7,630	44.73
Camioneta PickUp	1,146	6.72
Camioneta Rural	703	4.12
Micro	95	0.56
Omnibus 2E	18	0.10
Omnibus 3E	3	0.02
Omnibus 4E	1	0.01
Camión 2E	384	2.25
Camión 3E	35	0.21
Camión 4E	11	0.07
T2S1	3	0.02
T2S2	1	0.01
T2S3	4	0.03
T2S4	0	0.00
T3S1	2	0.01
T3S2	9	0.05
T3S3	13	0.08
T3S4	1	0.01

8X4	0	0.00
C2R2	4	0.03
C2R3	1	0.01
C2R4	0	0.00
C3R2	0	0.00
C3R3	1	0.01
C3R4	1	0.01
C4R2	0	0.00
Total, IMD	17,057	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 13

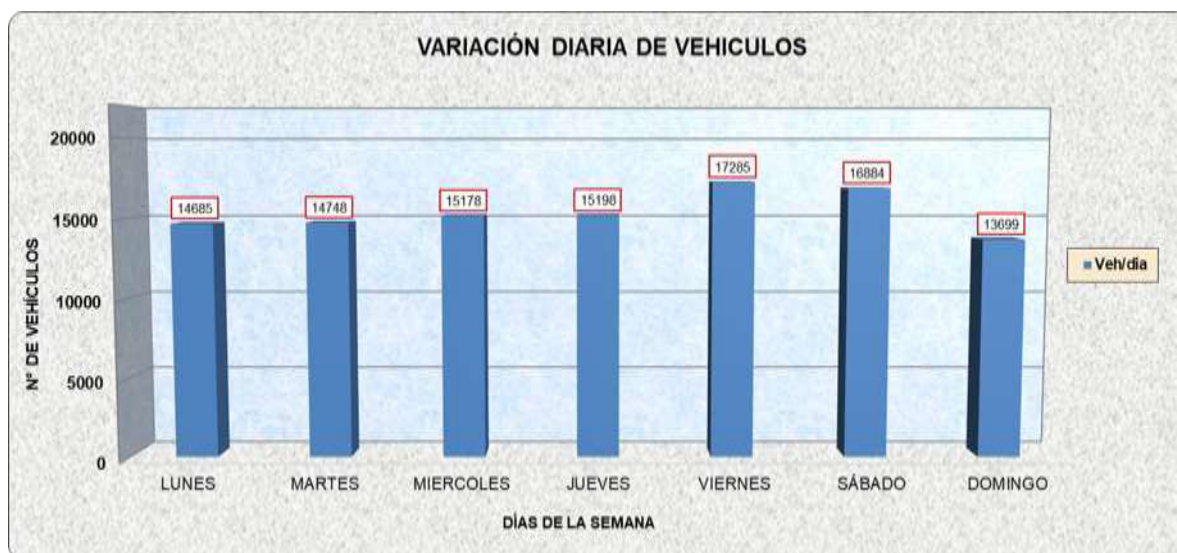
Clasificación vehicular - Estación E 05



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 14

Datos de variación diaria - E 05



La Av. Collpa en ambos sentidos y su índice medio diario (IMDa) se presenta a continuación:

Tabla 10

Índice Medio Diario - Estación E 06

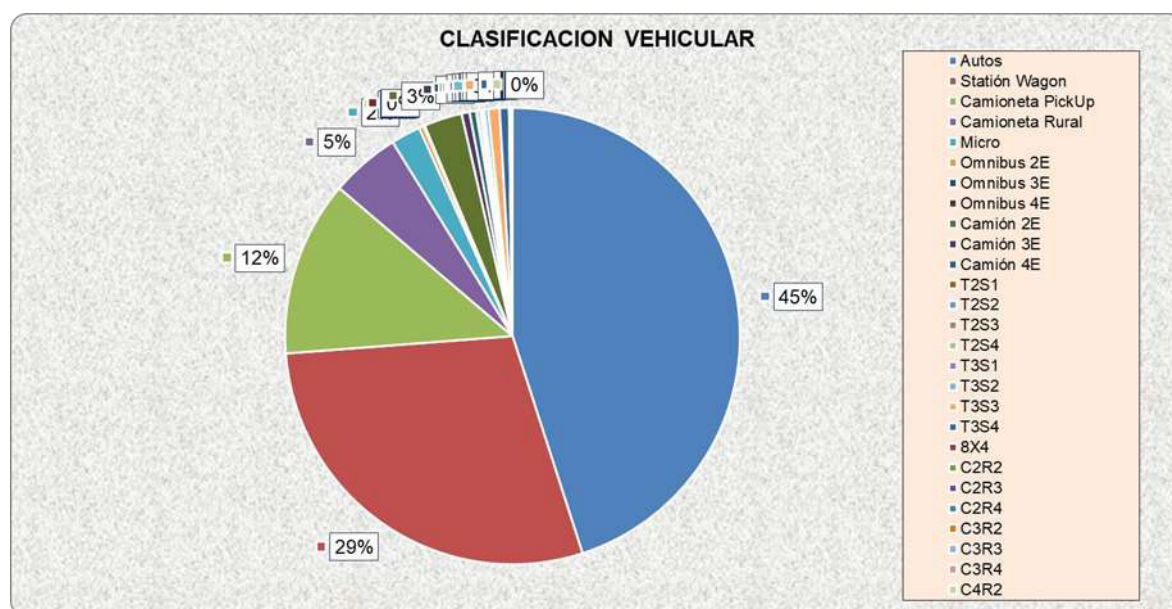
Tipo de Vehículos	IMD	Distrib. %
Autos	5,820	45.02
Stación Wagon	3,718	28.76
Camioneta PickUp	1,608	12.44
Camioneta Rural	639	4.94
Micro	272	2.10
Omnibus 2E	42	0.33
Omnibus 3E	8	0.06
Omnibus 4E	4	0.03
Camión 2E	350	2.71
Camión 3E	73	0.57
Camión 4E	61	0.47
T2S1	10	0.08
T2S2	28	0.21
T2S3	13	0.10
T2S4	4	0.03
T3S1	19	0.15
T3S2	35	0.27
T3S3	104	0.81
T3S4	86	0.67
8X4	1	0.01

C2R2	6	0.04
C2R3	7	0.05
C2R4	1	0.01
C3R2	4	0.03
C3R3	7	0.05
C3R4	1	0.01
C4R2	4	0.03
Total, IMD	12,927	100.00

La Clasificación Vehicular se presenta a continuación:

Figura 15

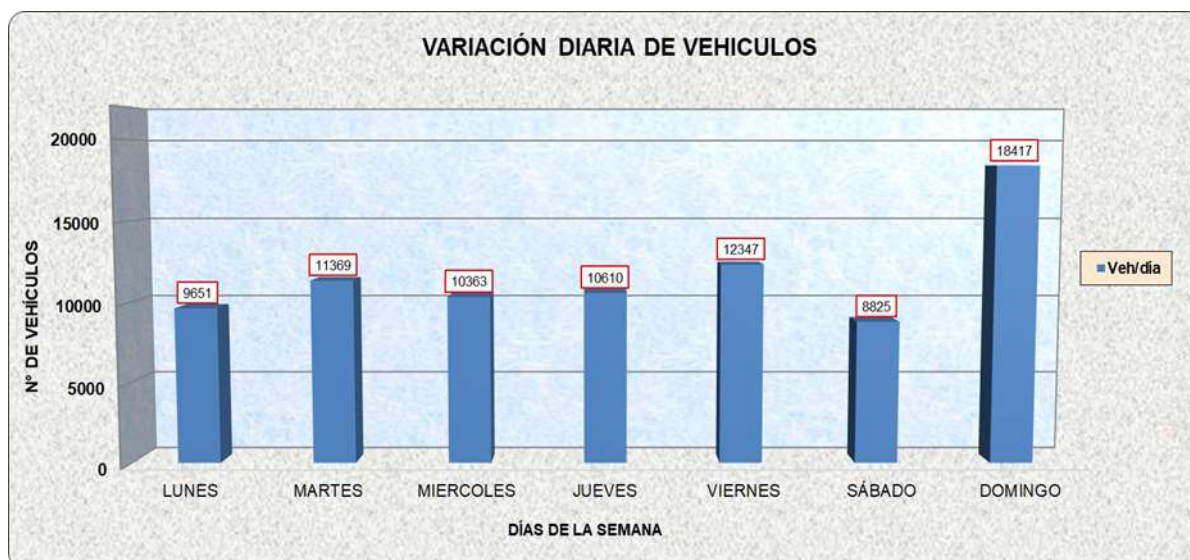
Clasificación vehicular - Estación E 06



La Variación Diaria se representa en la siguiente figura:

Figura 16

Datos de variación diaria - E 06



A continuación, se muestra el Resumen de los resultados obtenidos del foro avehicular de estudio de tráfico realizado por el Área Usuaría, el cual fue utilizado para el Diseño Geométrico

Tabla 11

Resumen de volúmenes diarios obtenidos

Vía Arterial	IMDs (Ambos Sentidos)	IMDa (Ambos Sentidos)	Máxima Demanda	
			Día	Veh/día
Av. Municipal	38,942.00	43,133	Viernes	41,556.00
Av. Tarapacá	4,657.00	5,164	Viernes	4,995.00
Av. Jorge Basadre Sur	20,891.00	23,168	Viernes	24,478.00
Av. Cuzco	20,253.00	22,459	Lunes	22,910.00
Av. Jorge Basadre Oeste	15,382.00	17,057	Viernes	17,285.00
Av. Collpa	11,654.00	12,927	Domingo	18,417.00

3.7.2. Vehículo de diseño

3.7.2.1. Aspectos Generales. El diseño geométrico de carreteras debe desarrollarse en concordancia con las especificaciones técnicas establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos vigente, considerando los tipos de unidades vehiculares, sus dimensiones, pesos y demás características relevantes.

Los vehículos que transitan por la infraestructura vial urbana cumplen funciones diversas, y sus propiedades físicas como el peso, la potencia, el tamaño y la capacidad de maniobra condicionan tanto la configuración geométrica de la vía como la resistencia estructural del pavimento.

3.7.2.2. Selección del Vehículo de Diseño. Para la selección del vehículo de diseño, se han considerado criterios técnicos vinculados al comportamiento del parque automotor. En primer lugar, aunque los vehículos livianos y medios como motocicletas, bicicletas y similares suelen tener una influencia limitada en la capacidad vial por su tamaño reducido y alta maniobrabilidad, es importante destacar que sí pueden representar un factor crítico en la ocurrencia de accidentes.

Por otro lado, automóviles, station wagons y camionetas, debido a su alta frecuencia en el flujo vehicular, son determinantes en la configuración del trazado vial y en la planificación del sistema de regulación del tránsito. En este sentido, sus características físicas influyen directamente sobre el diseño geométrico.

Los vehículos pesados como buses, camiones y unidades con remolque o semirremolque, pese a representar una proporción menor del total de unidades en circulación, ejercen una influencia significativa debido a sus dimensiones y peso, ya que están destinados al transporte de carga o pasajeros en grandes volúmenes. Asimismo, existen vehículos especiales que, aunque poco frecuentes, pueden generar alteraciones relevantes en el tránsito debido a su tamaño o velocidad reducida, por lo que, en zonas industriales específicas, es recomendable considerar su presencia en el diseño vial.

La dimensión del vehículo de diseño incide sobre diversos elementos geométricos, tales como el ancho del carril, las bermas laterales, el sobreancho en curvas, los anchos de intersección y los espacios de estacionamiento. Además, la distancia entre ejes condiciona tanto el ancho de la vía como los radios mínimos de giro. En cuanto a la longitud total, esta repercute en la extensión necesaria de las bermas centrales, paraderos y carriles de espera.

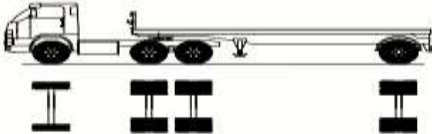
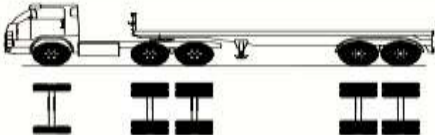
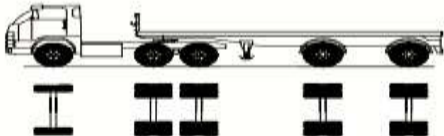
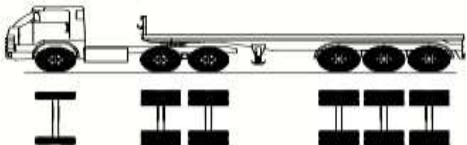
Por otro lado, la relación entre el peso bruto vehicular y su potencia motriz condiciona la pendiente máxima admisible y puede determinar la necesidad de habilitar carriles adicionales de ascenso.

Cabe señalar que la variedad de configuraciones vehiculares especialmente en lo referente a unidades pesadas y articuladas se encuentra normada en el Reglamento Nacional de Vehículos, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 058-2003-MTC (2003).

Finalmente, del análisis de tráfico efectuado en el entorno del óvalo Cusco, se identificó que el tipo vehicular de mayor prevalencia entre las unidades pesadas es el Semirremolque Simple T3S3, cuya configuración ha sido oficialmente reconocida por el mencionado reglamento.

Figura 17

Pesos y medidas máximas permitidas

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
				Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	—	—	—	18	
C3		13,20	7	18	—	—	—	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	—	—	—	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	—	—	—	32	
T3S1		20,50	7	18	11	—	—	36	
T3S2		20,50	7	18	18	—	—	43	
T3Se2		20,50	7	18	11	11	—	47	
T3S3		20,50	7	18	25	—	—	48 ⁽²⁾	

Nota. Tomado del Decreto Supremo N° 058-2003-MTC.

3.7.3.3. Giro mínimo de vehículos tipo. La maniobra mínima requerida para ejecutar un giro de 180° en sentido horario se encuentra definida por la trayectoria de la rueda delantera izquierda (trayectoria exterior) y la rueda trasera derecha (trayectoria interior) del vehículo. Además de esta trayectoria exterior, debe contemplarse el espacio libre adicional necesario para el voladizo delantero, es decir, la sección comprendida entre el primer eje y el parachoques o el elemento más sobresaliente del vehículo. La trayectoria exterior está determinada por el radio mínimo de giro propio de cada vehículo, el cual constituye una especificación de fábrica. En tanto, la trayectoria interior se encuentra condicionada por la trayectoria exterior, el ancho del vehículo, la distancia entre ejes (entre el primero y el último) y el tipo de configuración vehicular, ya sea una unidad rígida o un semirremolque articulado.

Como consecuencia de estas características, los vehículos pesados, como camiones y ómnibus, requieren mayores dimensiones geométricas para efectuar giros, en comparación con los vehículos ligeros. Ello obedece a su mayor ancho, mayor distancia entre ejes y radios mínimos de giro más amplios. Estos factores son determinantes en el diseño del alineamiento horizontal y la sección transversal de las vías.

A continuación, se detallan los radios de giro máximo exterior y mínimo interior para el vehículo de diseño T3S3

Tabla 12

Semirremolque Simple (T3S3) Radios máximos/mínimos y ángulos

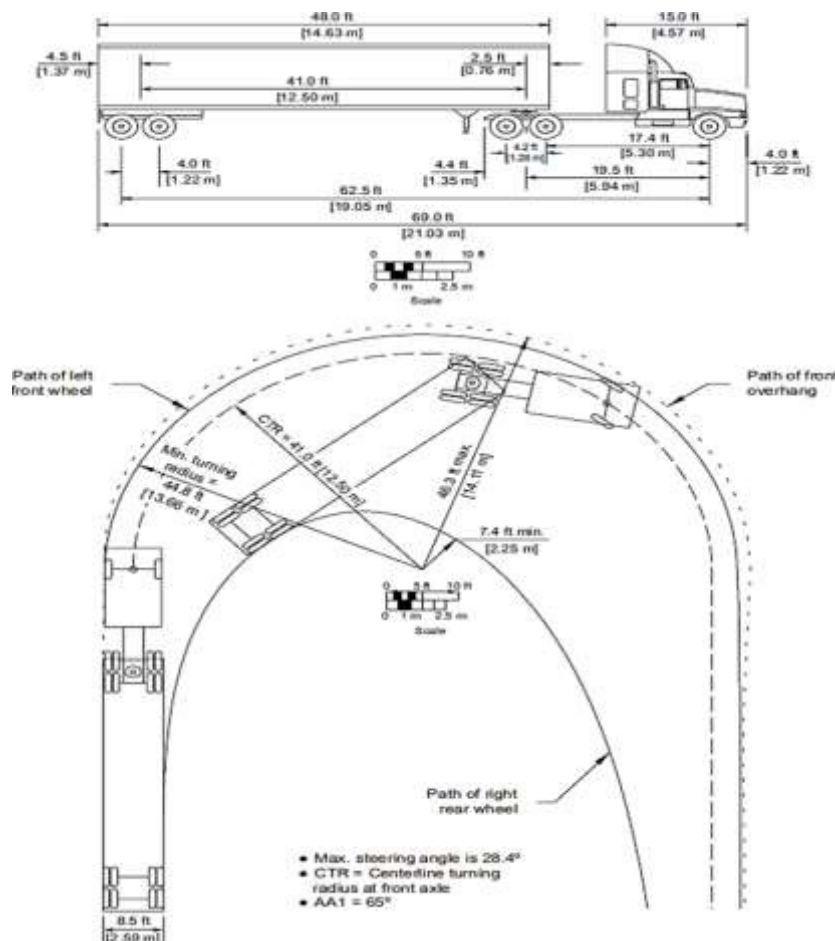
Ángulo trayectoria	R máx. Exterior Vehículo (E)	R mín. Interior Vehículo (I)	Ángulo máximo dirección	Ángulo máximo articulación
30°	14.06 m	8.89 m	16.7°	15.5°
60°	14.17 m	7.22 m	21.3°	29.6°
90°	14.20 m	5.91 m	22.7°	41.0°
120°	14.21 m	4.85 m	23.1°	49.9°
150°	14.21 m	3.98 m	23.2°	56.7°
180°	14.22 m	3.24 m	23.2°	62.1°

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

El cuadro previamente expuesto muestra las características técnicas del vehículo semirremolque simple T3S3. En lo que respecta a sus trayectorias de giro mínimo, resulta válido utilizar como referencia las trayectorias correspondientes a los modelos T2S1 y T2S2, dado que las dimensiones del T3S3 se encuentran comprendidas dentro de los rangos establecidos para dichos vehículos. Con el propósito de obtener una mayor precisión en la determinación de los radios de giro, se ha tomado como fuente técnica de referencia a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2018), cuyo documento A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, cuyas especificaciones se detallan a continuación.

Figura 18

Radio de giro mínimo para semirremolque T3S2



Nota. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2018.

3.7.3.4. Velocidad de diseño. De acuerdo con el Reglamento Nacional de Tránsito, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC, en la Sección IV: Velocidades, el artículo 162 establece los límites máximos de velocidad que deben regir en ausencia de riesgos o circunstancias especiales. Estos límites son los siguientes:

En zona urbana:

- En Calles y Jirones: 40 Km/h.
- En Avenidas: 60 Km/h.
- En Vías Expresas: 80 Km/h.
- Zona escolar: 30 Km/h.
- Zona de hospital: 30 Km/h.

En Carreteras:

- Para, automóviles, camionetas y motocicletas: 100 Km/h.
- Para vehículos del servicio público de transporte de pasajeros: 90 Km/h.
- Para casas rodantes motorizadas: 90 Km/h.
- Para vehículos de carga: 80 Km/h.
- Para automotores con casa rodante acoplada: 80 Km/h.
- Para vehículos de transporte de mercancías peligrosas: 70 Km/h.
- Para vehículos de transporte público o privado de escolares: 70 Km/h.

En caminos rurales: 60 Km/h.

Por otro lado, la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14 (2018) en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 señala que la velocidad de diseño es aquella que se puede mantener con seguridad y comodidad en una sección determinada de la vía, siempre que las condiciones sean favorables y se mantengan las premisas del diseño geométrico original.

Figura 19

Rangos de la Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Autopista de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Autopista de segunda clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											
Carretera de primera clase	Plano											
	Ondulado											
	Accidentado											
	Escarpado											

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Vista las limitaciones de la figura 19, en términos de velocidad de diseño para Vías Urbanas, toda vez que el referido manual considera que, según la clasificación por demanda y orografía se debería diseñar para 80 km/h como mínimo, estos parámetros difieren con lo estipulado en el Art 162. del Reglamento Nacional de Tránsito, el cual indica que en zonas urbanas la velocidad máxima será de 60 km/h.

Figura 20

Los cinco factores básicos de riesgo según la OMS.



Nota. Tomado de Manual de seguridad vial 2017.

Tabla 13*Relación velocidad-severidad de siniestros*

Velocidad del vehículo	Resultado
50 km/h	7 de cada 10 peatones fallecen
30 km/h	1 de cada 10 peatones fallece

Nota. Tomado de Manual de seguridad vial 2017.

Se sabe que las rotondas están diseñadas no para aumentar la velocidad de circulación sino más bien para operar a velocidad bajas, es así que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2017), presenta en el Manual de Seguridad Vial 2017, la siguiente tabla:

Tabla 14*Tipo de reductores de velocidad según tipo de vía*

Elemento	Tipo de vía		
	Básica (50 km/h)	Secundaria (30-50 km/h)	Vecinal (20-30 km/h)
Rotonda	Si aplica	Si aplica	Si aplica

Nota. Tomado de Manual de seguridad vial 2017.

En merito a las consideraciones dispuestas se considerará como velocidad de diseño 50 km/h dentro del paso a desnivel y una velocidad de 40 km/h en la superficie a nivel.

La distancia de visibilidad se define como la longitud continua de vía que es visible hacia adelante por el conductor, permitiéndole ejecutar con seguridad las diversas maniobras necesarias o voluntarias durante la conducción. En el diseño de carreteras, se consideran tres tipos principales de distancias de visibilidad: parada, de paso o adelantamiento y de cruce con otra vía.

Las dos primeras tienen una influencia directa en el diseño de carreteras en campo abierto, y se evalúan considerando alineamientos rectos y rasantes con pendiente uniforme. Los casos condicionados por curvas horizontales o verticales se abordan en sus respectivas secciones.

La visibilidad de parada es la distancia mínima necesaria para que un vehículo, que circula a la velocidad de diseño, pueda detenerse completamente antes de alcanzar un obstáculo inmóvil en su trayectoria.

Cuando la pendiente longitudinal de la vía supera el 3%, ya sea en ascenso (+i) o descenso (-i), la distancia de frenado se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$D_p = 0.278Vt_p + \frac{V^2}{254\left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm i\right)}$$

Donde:

d : distancia de frenado en metros

V : velocidad de diseño en km/h

a : deceleración en m/s² (será función del coeficiente de fricción y de la pendiente longitudinal del tramo)

i : Pendiente longitudinal (tanto por uno)

+i : Subidas respecto al sentido de circulación

-i : Bajadas respecto al sentido de circulación.

En tramos donde no sea posible garantizar la distancia mínima de visibilidad de parada correspondiente a la velocidad de diseño, se deberá implementar señalización adecuada indicando la velocidad máxima admisible. Este recurso debe ser considerado excepcional y su aplicación requiere la aprobación de la entidad competente.

Tabla 15

Distancia de visibilidad de parada (metros), en pendiente 0%

Velocidad de diseño (km/h)	Distancia de percepción-reacción (m)	Distancia durante el frenado a nivel (m)	Distancia de visibilidad de parada calculada (m)	Distancia de visibilidad de parada redondeada (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	93.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Tabla 16

Distancia de visibilidad de parada con pendiente (metros)

Velocidad de diseño (km/h)	Pendiente nula o en bajada 3%	Pendiente nula o en bajada 6%	Pendiente nula o en bajada 9%	Pendiente en subida 3%	Pendiente en subida 6%	Pendiente en subida 9%
20	20	20	20	19	18	18
30	35	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	283	293	304	234	223	214
130	310	338	375	267	252	238

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

La visibilidad de paso o adelantamiento corresponde a la distancia mínima que debe

existir en la vía para permitir que un conductor realice una maniobra de adelantamiento de forma segura y eficiente, sin interferir con un vehículo que se aproxima en sentido contrario. La condición clave es que el vehículo adelantador mantenga una velocidad superior en al menos 15 km/h respecto al vehículo que se pretende sobrepasar.

Estas condiciones aseguran que la maniobra se realice sin comprometer la seguridad de ninguno de los involucrados. En carreteras con doble sentido de circulación y dos carriles, se establecen valores mínimos recomendados para esta distancia, calculados con base en dicha diferencia de velocidades y bajo condiciones de circulación favorables.

Tabla 17

Mínima distancia de visibilidad de adelantamiento para carreteras de dos carriles dos sentidos

Velocidad específica tangente (km/h)	Velocidad del vehículo adelantado (km/h)	Velocidad del vehículo que adelanta (km/h)	Mínima distancia de visibilidad adelantamiento calculada (m)	Mínima distancia de visibilidad adelantamiento redondeada (m)
20	-	-	130	130
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

A. Facilidades para los peatones. Se refiere a la implementación de obras complementarias o la reposición de infraestructuras existentes que resulten necesarias para garantizar el desplazamiento seguro y adecuado de los peatones. Estas facilidades deben contemplarse en función de la jerarquía vial de la carretera en evaluación, incorporando

elementos como veredas, cruces peatonales a nivel, puentes peatonales, así como accesos acondicionados para personas con movilidad reducida. Estas instalaciones deberán cumplir con las normativas técnicas vigentes y contar con señalización conforme a los estándares de seguridad vial.

B. Capacidad y niveles de servicio. El concepto de capacidad vial, desarrollado por el Transportation Research Board (TRB) en su documento Highway Capacity Manual (HCM), constituye una herramienta fundamental para la evaluación de las condiciones operativas de una vía. La capacidad se entiende como el número máximo de vehículos que puede transitar por una sección de carretera en un intervalo determinado de tiempo, bajo condiciones de operación estables, y suele expresarse en vehículos por hora.

Por su parte, el nivel de servicio describe la calidad del flujo vehicular, clasificado en seis categorías que van desde el nivel A (condiciones óptimas) hasta el nivel F (flujo forzado o colapsado). Para el presente estudio, se ha llevado a cabo una microsimulación de tránsito que permite determinar los niveles de servicio tanto en el escenario actual como en el proyectado a un horizonte de 20 años.

Tabla 18

Resultados y Propuesta Definitiva de la Geometría del Paso a Desnivel

N	Descripción	Dirección	Sin Proyecto		Con Proyecto			
			Año 0		Año 20		Año 0	
			Los Izq Der	Icu Izq Der	Los Izq Der	Icu Izq Der	Los Icu Der	Los Icu Der
1	Av. Municipal	Nb	F F	F F	C B	D C	F E	
2	Av. Tarapacá	Wb	F	F	C	C	F	
3	Av. Jorge Basadre Sur	Sw	F E F	0 0	C A	D B	F E F	
4	Av. Cuzco	Sb	F F	F F	B B	D C	F F	
5	Av. Jorge Basadre	Eb	C F	0 0	A B	B C	D F	

	Oeste			F	B	C	
6	Av. Collpa	Ne	F	F	B	C	F

Del resumen de los resultados obtenidos, se concluye que:

Actualmente nos encontramos con una intersección completamente colapsada en sus niveles de servicio y capacidad, esto debido a la gran cantidad de vehículo que transitan diariamente en horas punta de mañana y tarde.

Si se proyecta el escenario actual a 20 años, evidentemente el panorama no mejora, por el contrario, llega a niveles de inoperatividad a causa de que el parque automotor crece todos los años, por lo que se puede afirmar que se hace urgente una intervención que garantice la circulación cómoda en la zona.

En ese sentido, se hace necesaria la intervención mediante un proyecto de inversión pública que logre incrementar la capacidad de la intersección a fin de evitar las demoras, grandes colas, gasto en combustible, contaminación en general, entre otros males que trae consigo la congestión vehicular.

C. Diseño Geométrico en Planta. El diseño geométrico horizontal de las vías se fundamenta en lo dispuesto por la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14(2018) que elaboró el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, norma técnica oficial en el Perú. Esta establece que, en tramos de carreteras ubicados en zonas urbanas, pueden contemplarse excepciones a los parámetros generales debido a condiciones particulares del entorno, tales como limitaciones en la velocidad, pendientes específicas en intersecciones, ubicación de buzones u otras infraestructuras subterráneas.

El trazado en planta o alineamiento horizontal comprende secciones rectas, curvas circulares y elementos de transición, como curvas de radio variable, que facilitan una conexión progresiva entre segmentos rectos y curvos, o entre curvas de distintos radios. El objetivo principal es garantizar un desplazamiento continuo y seguro, con una velocidad relativamente

constante en la mayor parte del recorrido.

Para lograr un diseño eficiente del alineamiento horizontal, se deben considerar los siguientes componentes geométricos:

- Tramos rectos
- Curvaturas horizontales
- Ampliación de calzada (sobreanchos)
- Islas canalizadoras
- Elementos de canalización
- Carriles de aceleración o desaceleración

Estos elementos no solo influyen en la capacidad operativa de la vía, sino también en la interacción del usuario con el entorno vial, la seguridad de los desplazamientos y la integración armónica del diseño urbano.

D. Tramos en tangente. Las secciones rectas (tangentes) entre curvas deben tener longitudes mínimas y máximas recomendadas, en función directa con la velocidad de diseño adoptada. Estas dimensiones se definen con el propósito de mejorar la visibilidad, permitir maniobras seguras y evitar transiciones bruscas entre elementos geométricos. Los valores respectivos se detallan en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 19

Longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336

Dónde:

L mín: Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

L míno: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

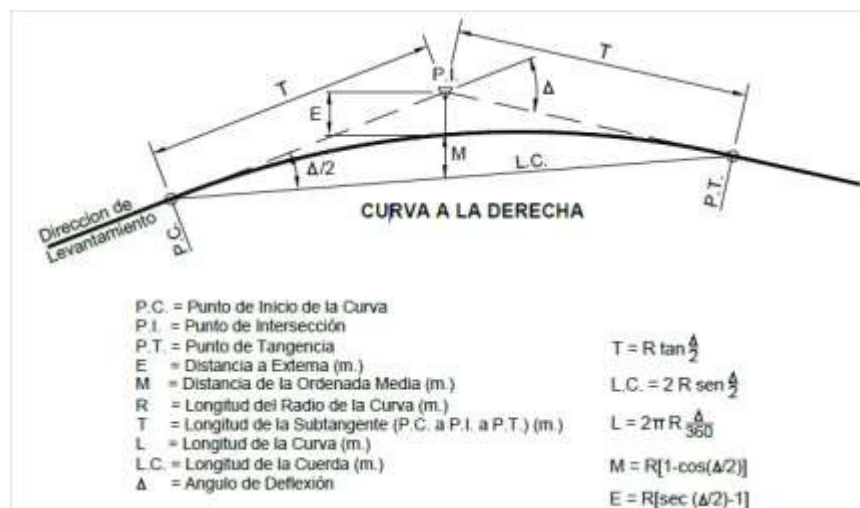
L máx: Longitud máxima deseable (m).

V: Velocidad de diseño (km/h)

E. Curvas circulares. Las curvas horizontales circulares, también denominadas curvas simples, son segmentos de arco definidos por un único radio constante. Estas curvas permiten conectar de manera progresiva dos tramos rectos o tangentes consecutivos dentro del alineamiento horizontal de una vía. Su trazo corresponde a la proyección en planta de la trayectoria que sigue el vehículo al ejecutar una maniobra de giro, y constituyen uno de los elementos fundamentales del diseño geométrico vial. La función principal de las curvas circulares es garantizar una transición suave en la trayectoria de los vehículos, minimizando cambios bruscos en la dirección y facilitando el confort y la seguridad durante la circulación. El radio de la curva, en combinación con la velocidad de diseño, determina parámetros clave como la superelevación, el sobreancho y la distancia de visibilidad requerida.

Figura 21

Curvas circulares



F. Radios Mínimos. Para áreas urbanas se recomienda lo siguiente:

Tabla 20

Radios mínimos y peraltes máximos para diseño de carreteras

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño (km/h)	P máx. (%)	f máx.	Radio calculado (m)	Radio redondeado (m)
Área urbana	30	4.00	0.17	33.7	35
Área urbana	40	4.00	0.17	60.0	60
Área urbana	50	4.00	0.16	98.4	100
Área urbana	60	4.00	0.15	149.2	150
Área urbana	70	4.00	0.14	214.3	215
Área urbana	80	4.00	0.14	280.0	280
Área urbana	90	4.00	0.13	375.2	375
Área urbana	100	4.00	0.12	492.1	495
Área urbana	110	4.00	0.11	635.2	635
Área urbana	120	4.00	0.09	872.2	875
Área urbana	130	4.00	0.08	1,108.9	1,110

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

G. Sobreancho. El sobreancho es una ampliación del ancho de la calzada que se aplica en tramos curvos, con el objetivo de brindar espacio adicional requerido por los vehículos al girar. Esta necesidad se presenta porque, al desplazarse en curvas, los vehículos tienden a ocupar una mayor sección lateral, lo que complica mantener la trayectoria dentro del carril asignado.

En vías con curvas de radio reducido o medio, el sobreancho asegura una circulación segura, especialmente cuando los vehículos deben cruzarse en sentidos opuestos o realizar adelantamientos. Para su dimensionamiento, se consideran el incremento del espacio transversal ocupado por los vehículos y las separaciones mínimas necesarias entre ellos y con los bordes de la vía.

Cuando la curva es circular simple, el sobreancho debe aplicarse de forma progresiva

en el borde interno de la calzada, coincidiendo con la longitud establecida para el desarrollo del peralte. En curvas con espirales de transición, este ensanchamiento se distribuye a lo largo de la longitud de la espiral.

Por norma, la longitud recomendada para implementar el sobreancho es de 40 metros. Si la espiral de transición supera esa distancia, el ensanchamiento se inicia 40 metros antes del inicio de la curva circular. En caso contrario, se aplica a lo largo de la longitud disponible de la curva de transición.

Este ajuste solo se realiza en curvas con radios inferiores al límite definido para velocidades menores a 80 km/h. Cuando se utilicen juntas longitudinales o demarcaciones centrales, estas deben ubicarse al centro del ancho total de la calzada ya ampliada.

Tabla 21

Factores de reducción del sobreancho para anchos de calzada en tangente de 7.20m

Radio (R) (m)	Factor de reducción	Radio (R) (m)	Factor de reducción
25	0.86	90	0.60
28	0.84	100	0.59
30	0.83	120	0.54
35	0.81	130	0.52
37	0.80	150	0.47
40	0.79	200	0.38
45	0.77	250	0.27
50	0.75	300	0.18
55	0.72	350	0.12
60	0.70	400	0.07
70	0.69	450	0.08
80	0.63	500	0.05

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Para el presente diseño en planta se han calculado los sobreanchos para cada curva, resultando en valores despreciables debido a que dichas curvas horizontales son abiertas y no

generan riesgo de descarrilamiento en función de la velocidad de diseño, también indicar que dichos sobreanchos mínimos son incluidos dentro de las bermas de seguridad en las cuales está prohibido el estacionamiento. Así mismo se ha considerado el sobreancho respectivo a la curva 02 del eje longitudinal S-N (ver planos en planta), a fin de garantizar su operatividad

H. Diseño geométrico en perfil. En entornos urbanos, el diseño altimétrico de las vías se encuentra frecuentemente condicionado por la topografía existente, debido a la imposibilidad de contar con múltiples alternativas de trazado, a diferencia de lo que ocurre en carreteras rurales. En dichas zonas urbanas, las edificaciones consolidadas y alineadas a lo largo de la vía limitan las opciones del proyectista, quien usualmente debe adaptar la rasante al terreno natural. Es frecuente que algunas urbanizaciones no planifiquen adecuadamente la pendiente vial, generando tramos con gradientes excesivas.

El diseño del perfil longitudinal está influenciado por factores como el relieve, la alineación horizontal, la visibilidad requerida, la velocidad de diseño, criterios de seguridad, costos constructivos, jerarquía vial, estética del entorno y necesidades de drenaje. En relación con las condiciones del terreno, el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2018) establece las siguientes recomendaciones:

En terrenos planos, se sugiere elevar la rasante por encima del nivel natural para facilitar el escurrimiento.

En zonas onduladas, por razones económicas, la rasante puede seguir las ondulaciones del terreno.

En áreas con relieve accidentado, se recomienda ajustar el perfil a la topografía existente, evitando tramos contrapendientes para no prolongar innecesariamente la vía.

En terrenos escarpados, el diseño suele seguir la divisoria de aguas. Se prioriza un perfil con pendientes suaves y transiciones graduales, coherentes con la clasificación vial y la morfología del terreno.

I. Pendientes. Para pendientes mínimas se recomienda establecer una pendiente no menor al 0.5 % con el fin de garantizar el adecuado drenaje superficial de la calzada.

Las pendientes máximas deben respetar los valores de la Tabla 303.01 del Manual de Diseño Geométrico DG-2018. Sin embargo, existen excepciones:

En zonas ubicadas por encima de los 3,000 m s.n.m., se aconseja reducir en 1 % los valores máximos para terrenos escarpados o accidentados.

En el caso de autopistas, se permite un incremento de hasta 2 % sobre el valor máximo de la tabla en tramos descendentes.

Tabla 22

Pendientes máximas (%)

Velocidad de diseño (km/h)	Autopista 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Autopista 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 3ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)
30																		10.00	10.00	
40																9.00	8.00	9.00	10.00	
50										7.00	7.00			8.00	9.00	9.00	8.00	8.00	8.00	
60					6.00	6.00	7.00	7.00	6.00	6.00	7.00		6.00	7.00	8.00	9.00	8.00	8.00	8.00	
70			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	6.00	6.00	7.00		6.00	7.00	8.00	9.00	7.00	7.00	7.00	
80	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00		6.00	6.00			7.00	7.00	7.00	
90	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.00	5.00			6.00				6.00	6.00	6.00	
100	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.00				6.00							
110	4.00	4.00			4.00															
120	4.00	4.00			4.00															
130	3.50																			

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Se detallan consideraciones especiales para pendientes máximas:

De manera excepcional, se admite un incremento de hasta 1 % en la pendiente máxima permitida, siempre que dicha modificación esté debidamente respaldada mediante un análisis técnico-económico que justifique su viabilidad.

En el caso específico de vías clasificadas como de Tercera Clase, se deben contemplar los siguientes criterios adicionales:

Para tramos en ascenso continuo con pendientes superiores al 5 %, se deberá incorporar,

aproximadamente cada 3 km, una sección de descanso cuya longitud no sea inferior a 500 metros, manteniendo en ella una inclinación que no supere el 2 %. La ubicación y necesidad de estos tramos deberán ser sustentadas mediante un estudio técnico y económico.

En aquellos segmentos donde se requiera emplear pendientes superiores al 10 %, su longitud no deberá sobrepasar los 180 metros.

Para trayectos con extensiones mayores a 2,000 metros, la pendiente media no debe exceder el 6 %.

En curvas horizontales con radios inferiores a 50 metros, es aconsejable evitar pendientes mayores al 8 %, con el fin de no intensificar la inclinación del borde interior de la calzada, lo cual podría afectar la seguridad y estabilidad vehicular.

Se realiza un análisis de la Pendiente Máxima:

Realizando un análisis de lo referido en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, se determina que el tipo de topografía en la zona del proyecto es plano y que las velocidades de diseño consideradas en los capítulos anteriores del presente informe determinan que la misma está entre 40 y 50 km/h para vías a nivel y paso a desnivel respectivamente, además de encontrarse en zona urbana.

Así mismo realizando una interpolación de los valores obtenidos en el cuadro anterior se obtiene una pendiente máxima de 8% el cual nos ubica dentro de una carretera de Tercera Clase, así también según las excepciones de detallados en el mismo documento manifiesta que para carreteras de Tercera Clase, cuando se empleen pendientes mayores a 10%, los tramos con tales pendientes no excederán de 180 m.

Indicar que las únicas zonas de proyecto con pendientes pronunciadas serán las rampas de ingreso y salida del paso a desnivel propuesto y que estas no excederán de los 150 metros, el resto de vías consideradas en para el proyecto se considerará a nivel.

Finalmente, la Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011(2016)

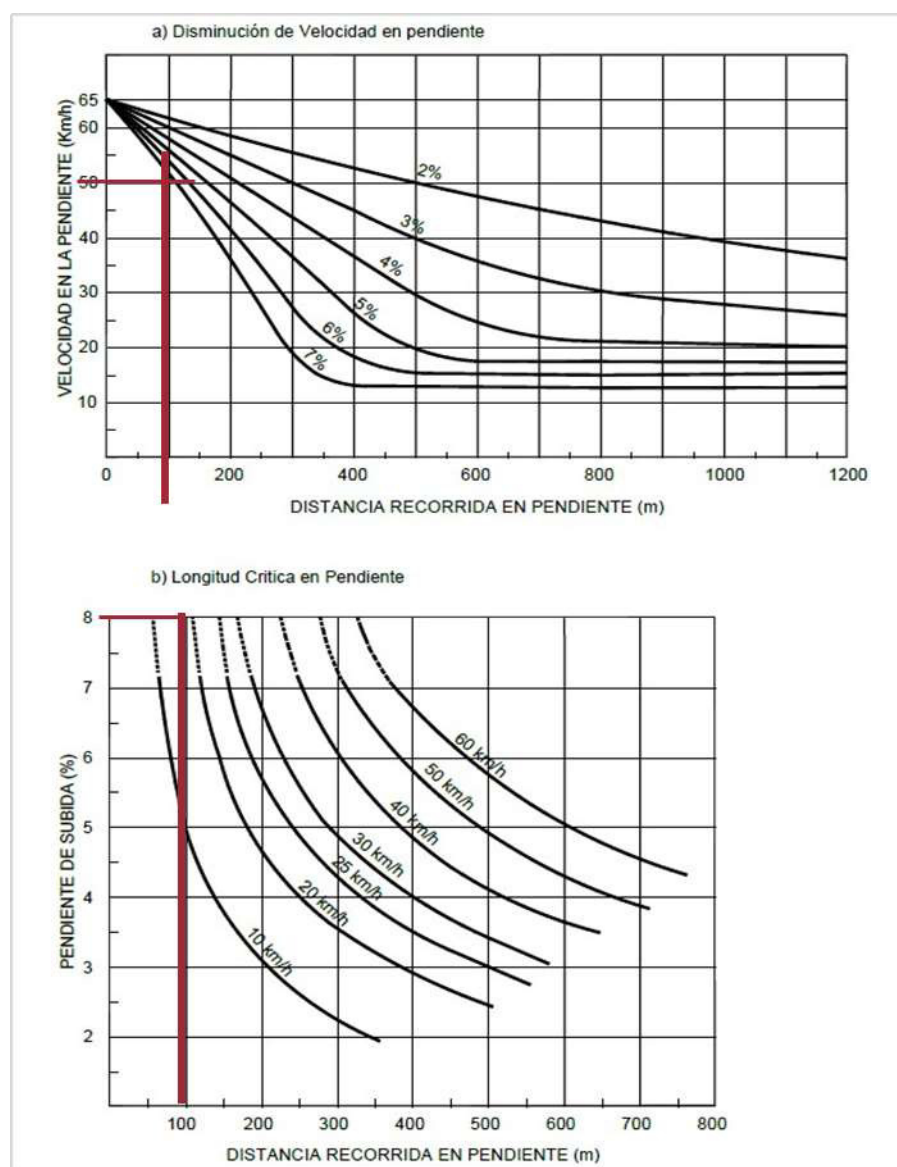
indica lo siguiente:

Artículo 14.- Las pendientes de las calzadas tendrán un máximo de 12%. Se permitirán pendientes de hasta 15% en zonas de volteo con tramos de hasta 50m de longitud

Para la longitud en pendiente, es evidente que los mayores esfuerzos y dificultades de tránsito en caso de pendientes muy elevadas, es para los vehículos pesados es por ello que se tomara las siguientes consideraciones de diseño.

Figura 22

Disminución de velocidad (a) y magnitud crítica (b), en pendientes



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

La Figura presenta el impacto de pendientes ascendentes uniformes, con longitudes determinadas, sobre la velocidad de operación de camiones pesados con remolque o semirremolque. El gráfico se basa en vehículos cuya relación peso/potencia se encuentra en el rango de 150 a 180 kg/Hp (equivalente a 203 a 244 kg/kW neto), típicos del parque vehicular de carga pesada. Se asume una aproximación en rasante prácticamente horizontal, con una velocidad inicial de 65 km/h al inicio de la pendiente. En este contexto, las curvas horizontales reflejan la velocidad límite de régimen, que no puede ser superada salvo que la pendiente disminuya.

La Figura introduce el concepto de longitud crítica en pendiente, es decir, aquella combinación de inclinación y longitud que origina una pérdida específica de velocidad (por ejemplo, una disminución de “X” km/h). Esta herramienta permite determinar la longitud máxima admisible de una pendiente determinada para evitar una reducción de velocidad superior al umbral establecido.

Cuando la combinación de longitud e inclinación produce una pérdida mayor a 25 km/h, especialmente en vías bidireccionales sin posibilidades de adelantamiento, se recomienda realizar una evaluación técnica-económica para analizar la viabilidad de implementar carriles de ascenso. Como criterio general, se considera deseable que la reducción de velocidad no supere los 15 km/h para vehículos de carga.

Ante pendientes prolongadas que generen una pérdida igual o superior a 25 km/h en la velocidad de operación, es necesario evaluar técnicamente la implementación de carriles adicionales, considerando el volumen de tránsito total y el porcentaje de vehículos pesados.

En autopistas, el carril adicional se dispondrá al lado izquierdo, reservado para tránsito rápido.

En carreteras de calzada única, se ubicará al lado derecho, destinado a vehículos lentos.

Dichos carriles deberán tener el mismo ancho que los carriles principales de la calzada.

Se evitará proyectar carriles con longitudes inferiores a 250 metros.

El tramo del carril adicional deberá mantenerse hasta que el vehículo lento logre alcanzar como mínimo el 85 % de la velocidad de diseño, sin sobrepasar los 80 km/h.

En el caso específico analizado mediante microsimulación, se determinó que, desde el punto de vista de capacidad y nivel de servicio, la vía deprimida podría operar con un solo carril por sentido. Sin embargo, dadas las características geométricas de la pendiente y los requerimientos de seguridad vial, se ha incorporado un carril adicional en el lado derecho. Este estará destinado prioritariamente a vehículos de transporte público y otros de similares características, que presentan desventajas operativas debido a su pérdida de velocidad en tramos con pendientes acentuadas.

J. Curvas Verticales y Parámetro de Curvatura. Cuando dos tramos consecutivos de rasante presentan una diferencia de pendiente superior al 1 % en vías pavimentadas, o al 2 % en aquellas no pavimentadas, deberán ser enlazados mediante curvas verticales parabólicas. Estas transiciones suavizan los cambios en la pendiente, mejorando tanto la seguridad como la comodidad en la circulación vehicular.

Las curvas verticales de tipo parabólico se caracterizan por el parámetro de curvatura K, el cual representa la longitud horizontal de la curva, expresada en metros, por cada 1 % de cambio en la pendiente. En otras palabras, el valor de K indica cuán extendida debe ser la curva para permitir una transición gradual entre las pendientes ascendentes y descendentes.

Esta tipología de curva resulta fundamental para garantizar condiciones adecuadas de visibilidad y confort, particularmente en vías urbanas y rurales donde el perfil longitudinal está condicionado por la topografía y las características del entorno construido.

$$K = L/A$$

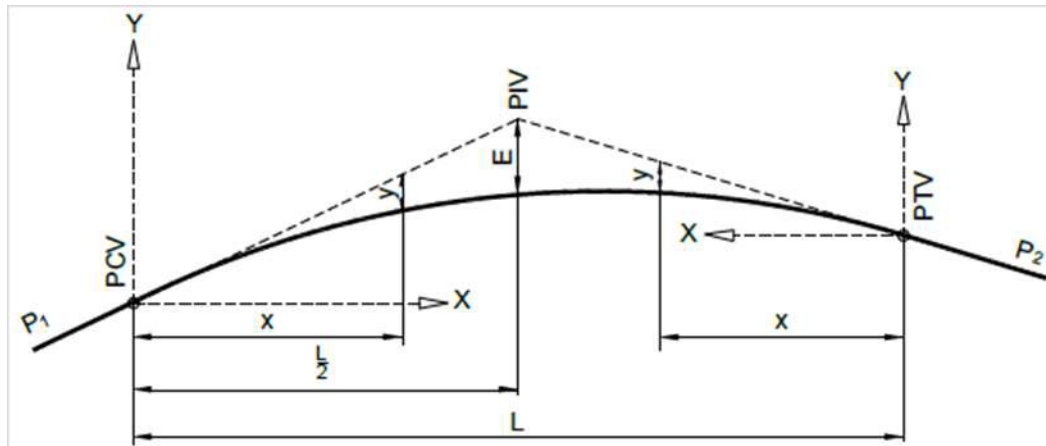
K : Parámetro de curvatura

L : Longitud de la curva vertical

A : Valor Absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

Figura 23

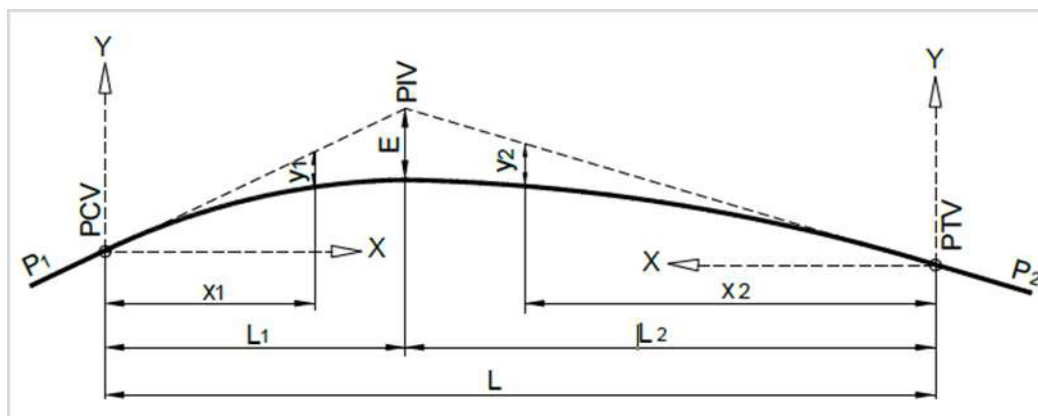
Elementos de la curva vertical simétrica



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Figura 24

Elementos de la curva vertical asimétrica



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

PCV : Principio de la curva vertical

PIV : Punto de intersección de las tangentes verticales

PTV : Término de la curva vertical

L : Longitud de la curva vertical, medida por su proyección horizontal, en metros

(m), se cumple: $L = L_1 + L_2$ y $L_1 \neq L_2$.

S1 : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%) S2 : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%)

L1 : Longitud de la primera rama, medida por su proyección horizontal en metros (m). L2 : Longitud de la segunda rama, medida por su proyección horizontal, en metros (m). A : Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje (%).

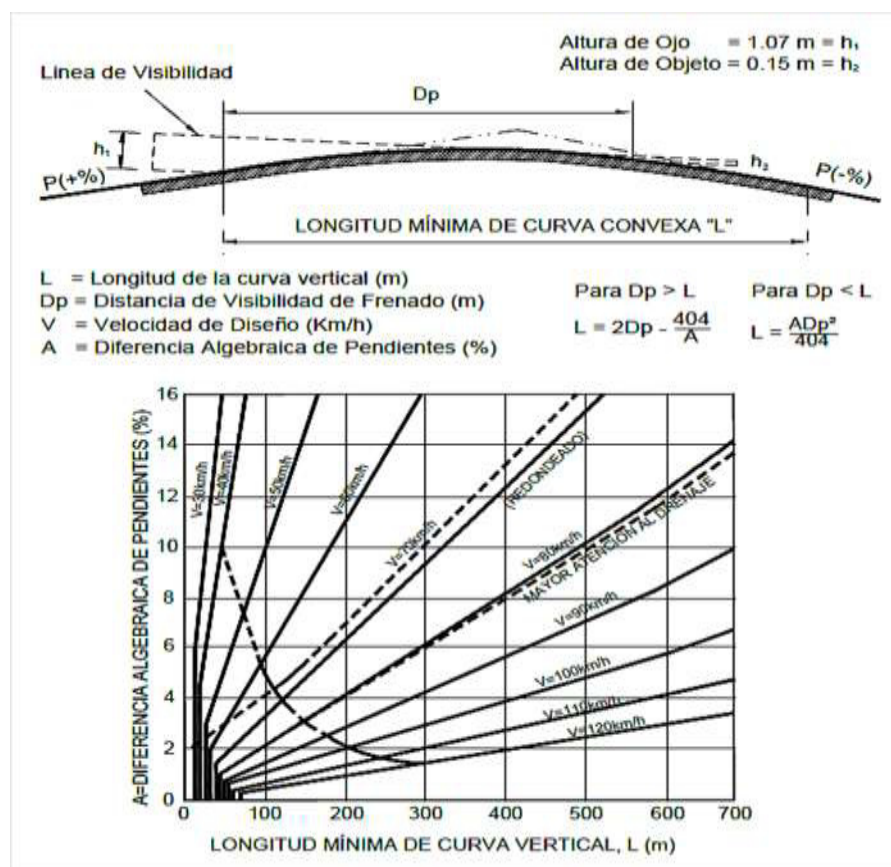
E : Externa. Ordenada vertical desde el PIV a la curva, en metros (m), se determina con la siguiente fórmula: X1 : Distancia horizontal a cualquier punto de la primera rama de la curva medida desde el PCV

X2 : Distancia horizontal a cualquier punto de la segunda rama de la curva medida desde el PTV

La longitud de las curvas verticales convexas, se determina con las siguientes fórmulas:

Figura 25

Longitud mínima de curva vertical convexa con distancias de visibilidad de parada

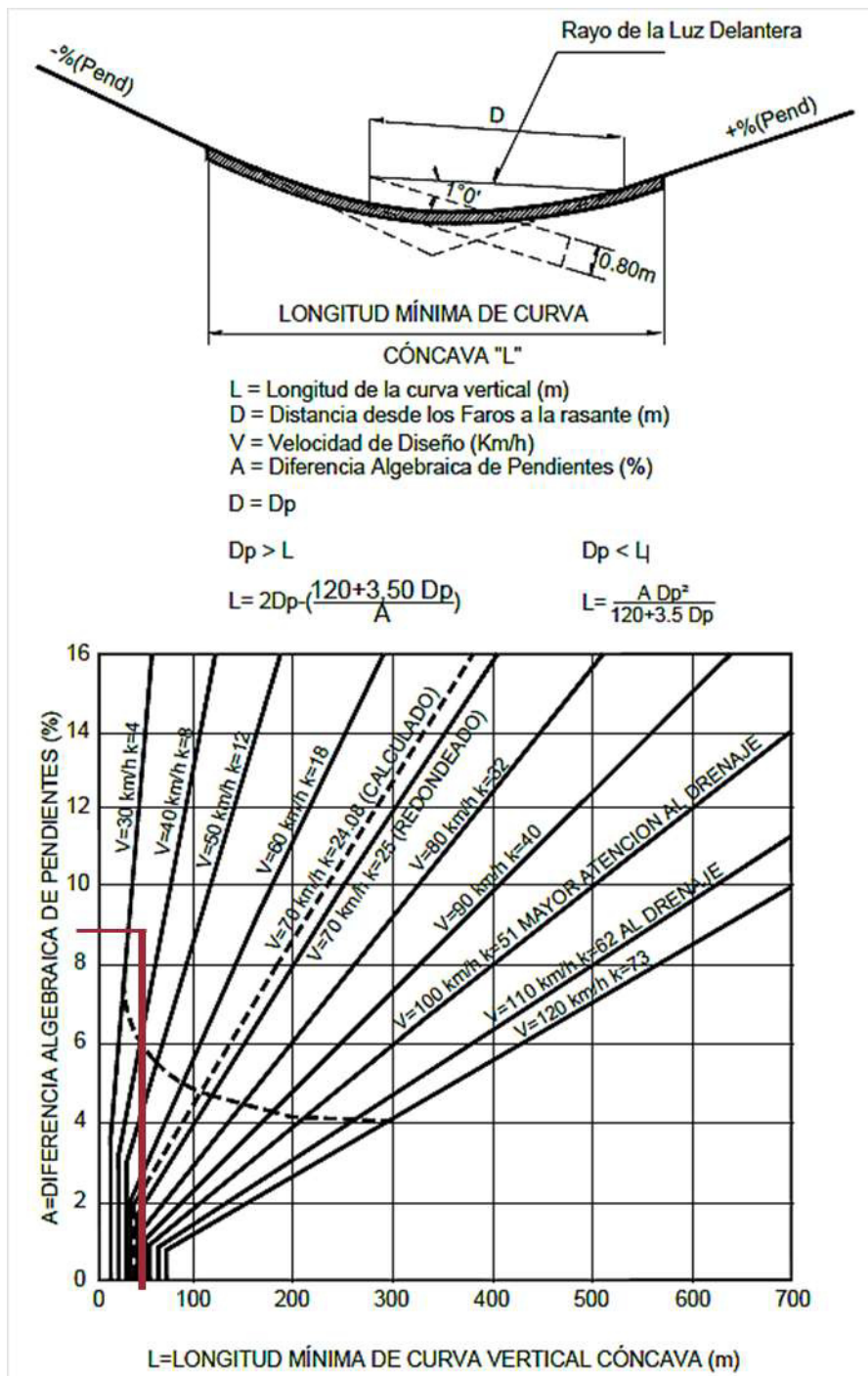


Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

K. Curvas Cóncavas

Figura 26

Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

L. Diseño geométrico de la sección transversal. El diseño de la sección transversal de una vía involucra una serie de componentes que deben definirse en función de diversos factores, tales como la demanda vehicular, la capacidad vial estimada, los criterios normativos (como los establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones o en ordenanzas municipales) y las restricciones propias del derecho de vía disponible.

Los principales elementos que conforman la sección transversal, de acuerdo con el presente manual, son los siguientes:

- Número de carriles y ancho de calzada
- Ancho de cada carril
- Pendiente transversal (bombeo y peralte)
- Bermas centrales o separadores
- Bermas laterales
- Sardineles
- Distancias libres laterales y verticales
- Secciones en túneles
- Secciones transversales tipo
- Calzada
- Número de carriles

La cantidad de carriles de una vía se encuentra relacionada principalmente con su clasificación funcional, así como con la capacidad necesaria para atender de manera eficiente el flujo vehicular. Esta decisión depende también del sentido de circulación y de las posibles restricciones en el ancho del derecho de vía.

De acuerdo con la Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011, el diseño de las secciones de vías principales y secundarias en zonas urbanas deberá basarse en módulos estandarizados: 0.60 m para veredas, entre 2.40 m y 6.00 m para estacionamientos, y

módulos de calzada conforme a la normativa vigente. En dicha norma se establece como valor mínimo para el ancho de un carril los 3.60 metros.

Por su parte, el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico – DG-2018 indica que el ancho de calzada en tramos rectos (tangentes) debe determinarse con base en el nivel de servicio proyectado al término del periodo de diseño. En consecuencia, tanto el ancho total como el número de carriles deberán definirse tras un análisis detallado de capacidad y niveles de servicio. Asimismo, este manual proporciona los anchos mínimos recomendados según la clase y funcionalidad de la vía, lo cual será desarrollado en los apartados siguientes.

Tabla 23

Anchos mínimos de calzada en tangente

Velocidad de diseño (km/h)	Auto pista 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Auto pista 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 3ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)
30																		6.00	6.00	6.00
40																	6.60	6.60	6.60	6.00
50										7.20	7.20				6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
60					7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
70			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
80	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
90	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
100	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
110	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
120	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00
130	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.00

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Asimismo, el Manual de Seguridad Vial (2017) hace referencia a la influencia del ancho de carril en la siniestralidad vial. En términos generales, se establece que carriles con un ancho de hasta aproximadamente 3.70 metros tienden a asociarse con una menor incidencia de accidentes de tránsito.

Estudios previos han evidenciado que anchos inferiores a 3.00 metros pueden contribuir al aumento de colisiones entre múltiples vehículos debido a la limitada maniobrabilidad y

reducida holgura lateral para las unidades móviles.

En esta misma línea, Federal Highway Administration(2011) presentó un análisis que correlaciona el ancho de carril con la frecuencia de accidentes. El estudio concluyó que, en contextos con alto volumen vehicular, la reducción del ancho de carril incrementa de manera significativa el riesgo de accidentes. De igual modo, se observó que a medida que la velocidad de circulación aumenta, también se intensifica la sensibilidad del índice de siniestralidad respecto a las dimensiones del carril.

A continuación, se presenta un cuadro resumen que detalla los resultados obtenidos en relación con este comportamiento.

Tabla 24

Relación entre ancho de carril y ocurrencia de accidentes. Vías con IMDA ≥ 2000 VEH/DIA.

Ancho de carril (m)	Incremento de accidentes (%)
3.60	0
3.30	5
3.0	30
2.70	50

Nota. Adaptado de FHW (2000).

En contraposición, se desaconseja proyectar carriles con dimensiones excesivas, ya que ello puede inducir a comportamientos inseguros por parte de los conductores, como el desarrollo de maniobras imprudentes que incrementan la probabilidad y gravedad de los accidentes.

M. Bermas. Además, cumplen una función estructural al proteger el pavimento y sus capas inferiores de posibles daños ocasionados por el agua o por desplazamientos vehiculares fuera del límite de la calzada, minimizando así procesos erosivos y socavaciones. Desde el punto de vista operativo, estas franjas también contribuyen a mejorar la capacidad vial, influyendo de manera positiva en el comportamiento psicológico de los usuarios.

Independientemente del material de acabado, las bermas deben mantener una pendiente similar al bombeo o peralte de la calzada, y su estructura deberá diseñarse con base en criterios técnicos y económicos. Generalmente, se emplean materiales equivalentes a los de la capa de rodadura.

Estas zonas laterales también cumplen funciones adicionales, dependiendo de su ancho, tales como permitir detenciones momentáneas, brindar un espacio de maniobra ante salidas imprevistas de la vía y ofrecer una franja de amortiguamiento en situaciones críticas.

De acuerdo con la Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011(2016), el Artículo 8 establece que las secciones viales deben considerar, entre otros elementos, módulos de bermas de 2.40 metros, aplicables a vías locales principales y secundarias en función del tipo de habilitación urbana.

Por su parte, la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14(2018) en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 señala que el ancho de las bermas debe definirse en relación con la clasificación funcional de la vía, la velocidad de diseño y la topografía del entorno. En la tabla siguiente se presentan los valores establecidos para este parámetro según los criterios mencionados.

Tabla 25

Ancho de bermas

Velocidad de diseño (km/h)	Auto pista 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Auto pista 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 1ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 2da Clase (1)	(2)	(3)	(4)	Carretera 3ra Clase (1)	(2)	(3)	(4)
30																		0.50	0.50	
40																	1.20	1.20	0.90	0.50
50																	1.20	1.20	0.90	0.50
60					3.00	3.00	2.60	2.60	3.00	3.00	2.60	2.60	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.50
70			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.50
80	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.50
90	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.50
100	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.20	1.20	1.20	1.20	0.90	0.50

110	3.00	3.00	3.00
120	3.00	3.00	3.00
130	3.00		

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

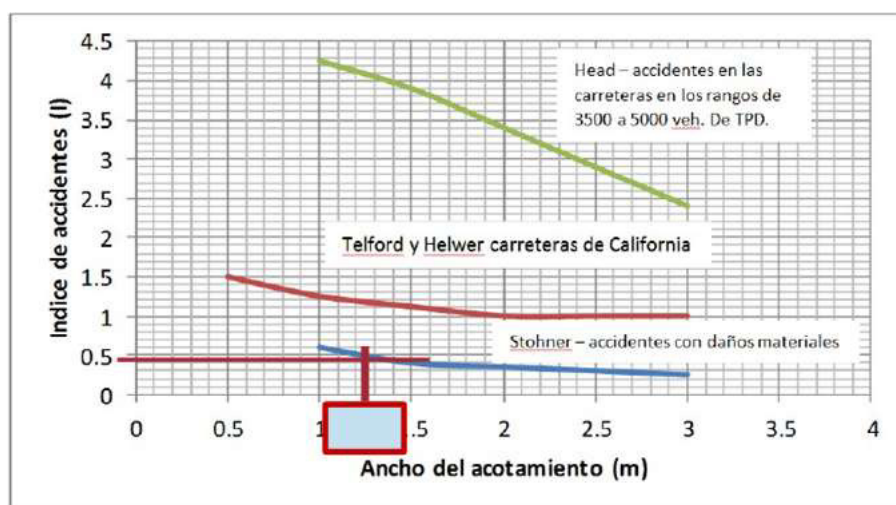
Según lo establecido por el MTC (2017) en el Manual de Seguridad Vial publicada en el año 2017, el desempeño funcional de las bermas está directamente influenciado por su ancho. En general, a mayor dimensión, mayor es la capacidad de cumplir eficientemente con sus funciones operativas y de seguridad.

Para vías de baja jerarquía, se considera aceptable un ancho mínimo de 0.60 metros; sin embargo, se recomienda que las carreteras, en especial las de mayor categoría, dispongan de bermas con anchos comprendidos entre 1.80 y 2.40 metros, asegurando uniformidad a lo largo del tramo vial, incluyendo estructuras como puentes y túneles.

Además, la seguridad en la circulación puede verse reforzada si se incorpora una diferenciación visual, ya sea mediante el color o la textura, entre la superficie de rodadura y la berma, lo cual permite una mejor percepción del límite de la calzada por parte de los conductores.

Figura 27

Índice de accidentes con relación al ancho de acotamiento o berma



Diversos factores que contribuyen a la reducción del índice de siniestralidad cuando se incrementa el ancho del acotamiento o berma. Entre los más relevantes se encuentran: la disminución de la ansiedad del conductor al disponer de mayor espacio lateral, lo que le permite enfocar mejor su atención en situaciones de tránsito complejas; la ampliación de la distancia lateral entre vehículos en sentido contrario, lo cual reduce el riesgo de colisión; y la minimización de interferencias causadas por vehículos detenidos en la vía. Asimismo, se facilita una salida controlada de la calzada en casos de emergencia, y se mejora la seguridad en las maniobras de ingreso o salida desde la vía principal. De las consideraciones anteriores se establece para el presente proyecto un ancho de berma de 1.20m como mínimo (según el índice de accidentes detallado en la figura anterior), a fin de tener un diseño óptimo en términos de espacio, confort y funcionalidad, este ancho puede ser utilizado en las rampas de ingreso y salida de la vía deprimida. El resto de calzadas mantendrán un ancho de bermas de 1.20 m como mínimo hasta un máximo de 2.40 m. La inclinación transversal de la calzada en tramos en tangente, conocida como “bombeo”, tiene como función principal permitir el escurrimiento eficiente del agua superficial. Esta pendiente puede distribuirse de forma uniforme a lo largo de todo el ancho de la vía, o dividirse en dos caídas hacia los extremos desde el eje central, dependiendo del diseño adoptado. La intensidad del bombeo está determinada por las características del pavimento y las condiciones climáticas, en particular el régimen de lluvias de la zona de emplazamiento. Al respecto, el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG – 2018 establece lo siguiente:

Tabla 26

Valores del bombeo de la calzada

Tipo de Superficie	Bombeo (%) Precipitación < 500 mm/año	Bombeo (%) Precipitación > 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.0	2.5
Tratamiento superficial Afirmado	2.5 3.0 – 3.5	2.5 – 3.0 3.0 – 4.0

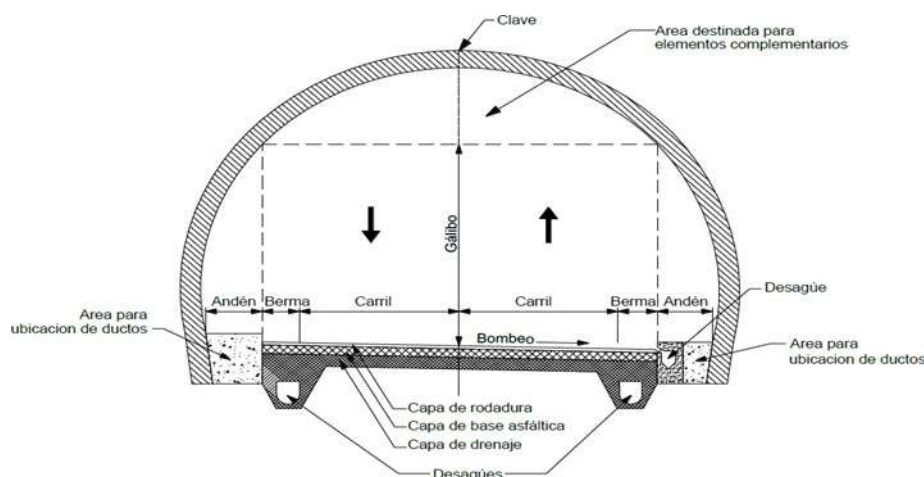
Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

El término gálibo, en el ámbito vial, hace referencia a la altura libre vertical disponible entre la superficie de rodadura y la parte inferior de la superestructura de elementos como puentes vehiculares, ferroviarios o peatonales.

En el caso específico de túneles, la medición de esta altura se realiza conforme a las especificaciones establecidas en la normativa técnica correspondiente, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 28

Sección típica de túnel



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

La Altura Libre (Gálibo) en Infraestructura Vial, en el diseño de carreteras, la altura libre mínima (gálibo vertical) será de 5.50 metros, garantizando el paso seguro de vehículos de gran envergadura. Para los puentes construidos sobre cursos de agua, la altura libre será definida en función de los requerimientos específicos de cada proyecto, no siendo en ningún caso inferior a 2.50 metros.

De acuerdo con el Manual de Puentes, elaborado por el MTC (2016), los gálidos tanto horizontales como verticales en puentes urbanos deben permitir el tránsito sin obstrucciones, cumpliendo con los estándares de circulación vehicular y, cuando corresponda, de navegación.

Particularmente, en pasos a desnivel que crucen sobre vías, el gálibo vertical deberá ser de al menos 5.50 metros, medido desde la parte inferior más baja de la superestructura hasta la cota más elevada del pavimento existente. Excepcionalmente, y solo con justificación técnica validada por el titular de la vía, este gálibo podrá reducirse hasta 5.30 metros como valor mínimo admisible.

Para el carril de cambio de velocidad se detalla:

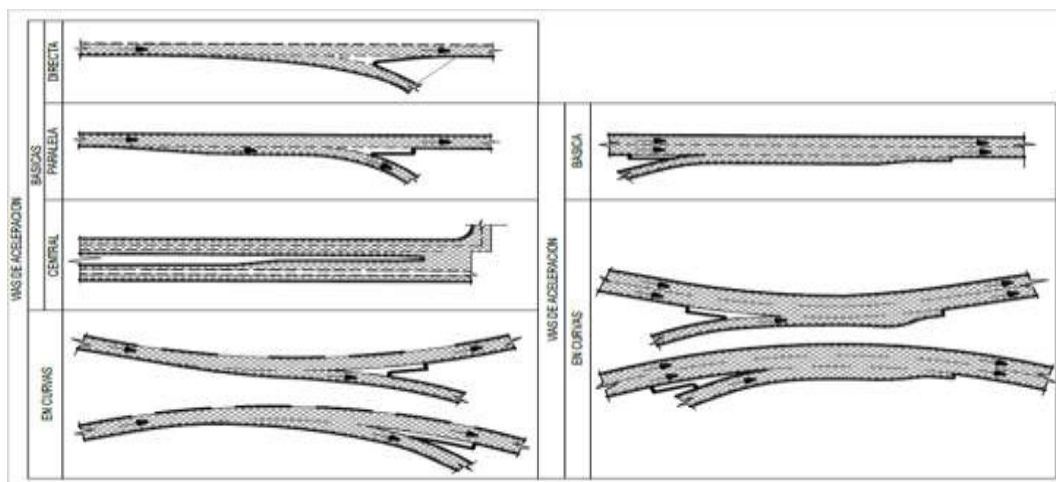
- El diseño geométrico contempla secciones transversales específicas en los siguientes contextos: accesos y salidas de autopistas; conexiones en carreteras de Primera Clase cuya velocidad de diseño supere los 60 km/h; así como en zonas destinadas a maniobras de volteo u otras situaciones que lo requieran, siempre con el correspondiente sustento técnico.
- La función principal de los carriles de cambio de velocidad es facilitar el ingreso o salida de vehículos entre vías con niveles de servicio distintos, minimizando las interferencias en el flujo vehicular principal. Además, estos carriles permiten ejecutar maniobras de retorno en U de manera segura.

Existen dos tipos:

- Carriles de aceleración, diseñados para permitir a los vehículos incorporarse progresivamente a una vía principal, manteniéndose paralelos al carril de destino y formando un ángulo de convergencia en su tramo final.
- Carriles de deceleración, empleados para facilitar el abandono de la vía principal, usualmente paralelos o con una leve desviación respecto al carril de origen.

Figura 29

Carriles de cambio de velocidad



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

N. Carriles de aceleración. El cuadro siguiente presenta valores de LT en función a velocidades de diseño, y valores de LC fijos, en aplicación de la siguiente fórmula.

$$LT = LA + LC$$

Dónde:

LT = Largo total

LA = Largo en zona de aceleración LC = Largo de la cuña

Tabla 27

Longitudes totales de carriles de aceleración (LT)

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. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Figura 30*Puntos singulares de carril de aceleración*

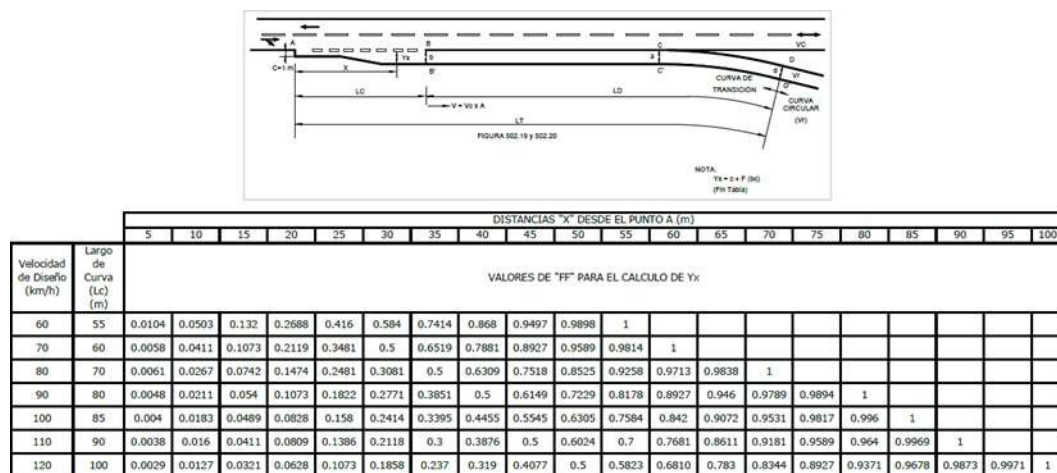
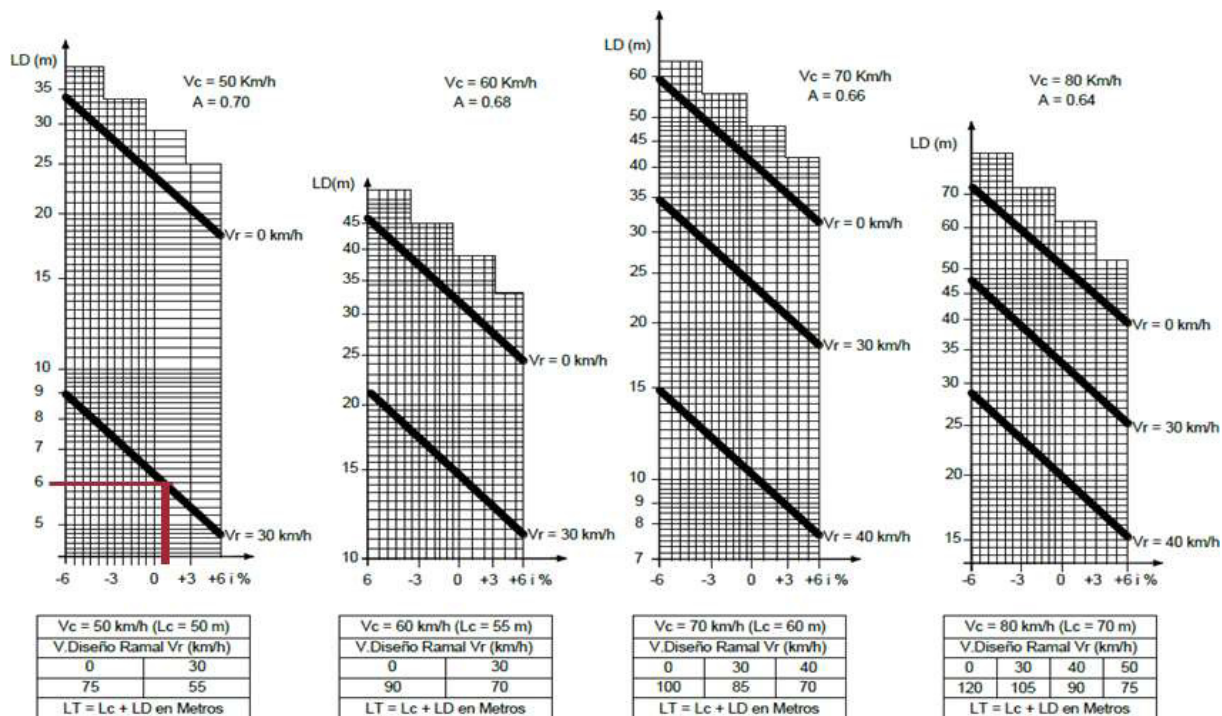
		DISTANCIAS "X" DESDE EL PUNTO B o B' (m)														
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Velocidad de Diseño (km/h)	Largo de Cuña (Lc) (m)	VALORES "F" PARA EL CÁLCULO DE Y_x														
60 - 80	50	0.0127	0.0829	0.1656	0.3190	0.5000	0.8810	0.8344	0.9371	0.9873	1.0000					
90 - 120	75	0.0053	0.0245	0.0629	0.1252	0.2129	0.3190	0.4382	0.5818	0.6810	0.7881	0.8748	0.9371	0.9755	0.9947	1.0000

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

O. Carriles de deceleración. En función de las condiciones geométricas, el diseño del carril de deceleración puede responder a distintos escenarios. Para el presente proyecto, se adopta el caso II, cuyas características se describen a continuación:

El escenario del caso II se presenta cuando la longitud de la curva de transición es inferior a la longitud requerida para la deceleración (LD) o, en su defecto, no está contemplada. En tales situaciones, se diseña una zona de transición en forma de cuña, la cual se inicia con un ancho de 1 metro. Este diseño busca compensar los efectos negativos que produce la maniobra de curva seguida de contra curva, los cuales tienden a reducir la eficacia funcional de la cuña y dificultan su percepción visual por parte del conductor.

El delineamiento del borde derecho del carril se realiza de manera análoga al Caso I, aplicando los parámetros establecidos en la figura de referencia correspondiente.

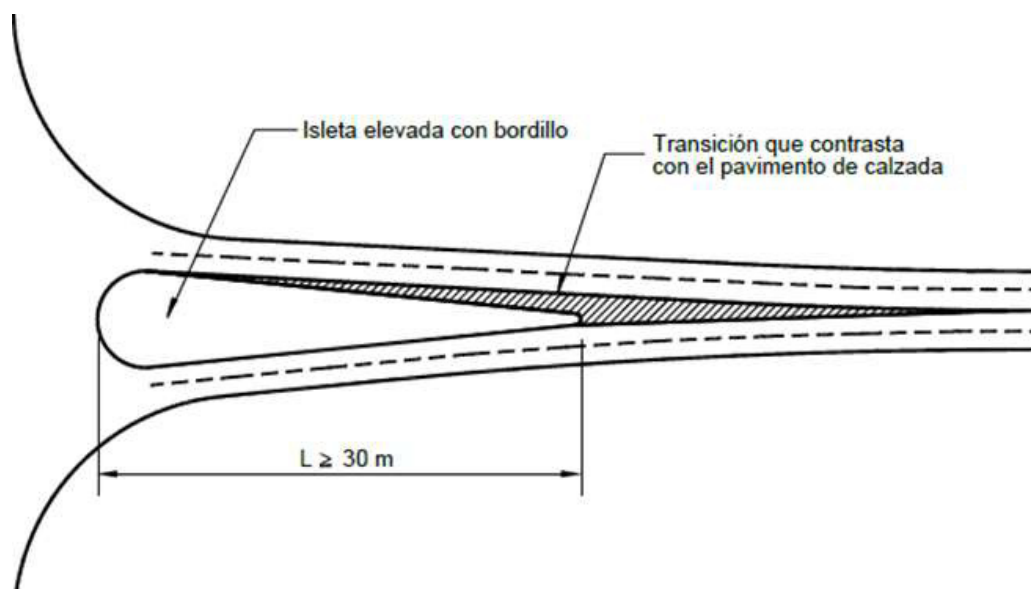
Figura 31*Carril de deceleración Caso II**Nota.* Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.**Figura 32***Longitudes de carriles de deceleración (LD=f(i))**Nota.* Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

P. Islas de canalización, encauzamiento o direccional. En áreas con alta afluencia de peatones, se debe prever la implementación de cruces peatonales debidamente acondicionados, a fin de garantizar condiciones seguras de tránsito para los usuarios vulnerables. En zonas donde el flujo peatonal no justifique la instalación de un cruce formal, se recomienda la incorporación de islas de tránsito, las cuales actúan como zonas de refugio intermedias y contribuyen a reducir el ancho efectivo de la calzada, favoreciendo así el cruce seguro.

Q. Islas Divisorias o Separadoras. Estas estructuras, generalmente con forma de lágrima, se disponen principalmente en proximidad a intersecciones en vías no divididas. Su función principal es canalizar el tránsito y separar físicamente los sentidos de circulación, ya sean iguales o contrarios. Para cumplir eficazmente su propósito, deben contar con una longitud mínima de 30 metros, siendo preferible que alcancen 100 metros o más, dependiendo de las condiciones del entorno vial.

Figura 33

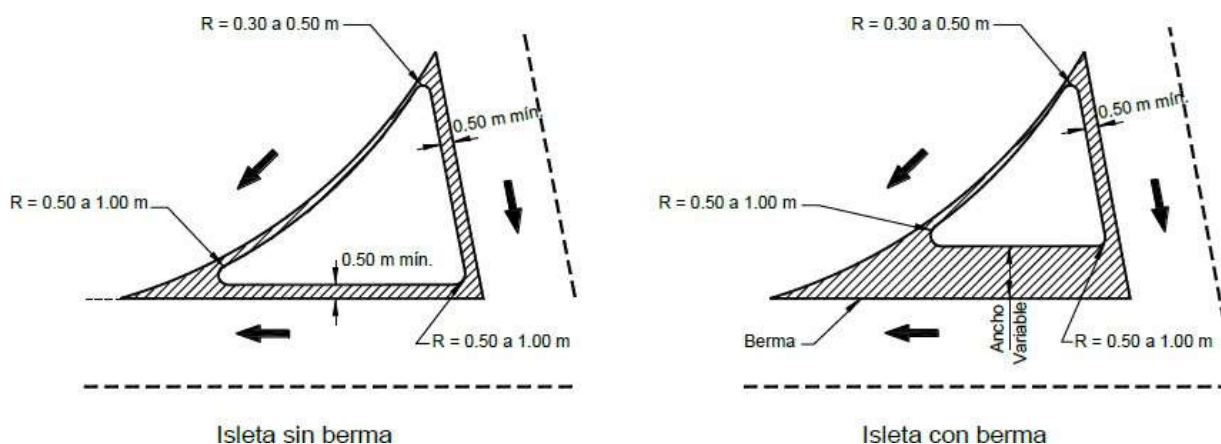
Isla divisoria o separadora con sardinel



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Figura 34

Islas de canalización, encauzamiento o direccional



Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018.

Según el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG – 2018, se usarán los siguientes criterios para el diseño de rotondas

El dimensionamiento de las islas direccionales será consecuencia de la geometría general de la solución; sin embargo, éstas deben tener como mínimo entre 4.50 m^2 y 7.00 m^2 .

El diseño geométrico de casos especiales según el Manual de Carreteras Túneles, Muros y Obras Complementarias hay tipos de Túneles (Rurales y Urbanos)

Por lo general los tipos de túneles empleados en carreteras son: por su longitud, por el tipo de material, por el tipo de sección y otros.

A continuación, se describen algunos tipos:

Por el Tipo de Material, son Artificiales (falso túnel), que son estructuras, por lo general de concreto armado, que se construye a cielo abierto luego de cortar el terreno y que posteriormente se recubre con material de relleno (propio o de préstamo).

Por la cantidad de tubo de circulación, son gemelos, túnel con dos tubos de circulación, que están emplazados uno al costado del otro, con conexiones entre sí.

Por el Tipo de Sección Rectangular:

- Diseño Geométrico en Planta

Las consideraciones de diseño utilizadas en este apartado serán las mismas que se detallaron el capítulo 2.3 del presente informe técnico.

- Diseño Geométrico en Perfil

Las consideraciones de diseño utilizadas en este apartado serán las mismas que se detallaron el capítulo 2.4 del presente informe técnico.

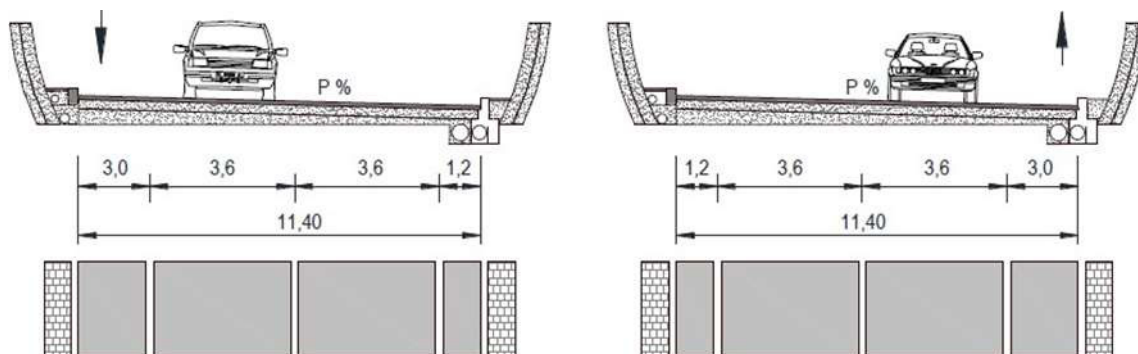
- Diseño Geométrico en Sección Transversal

En las dimensiones de Carriles y Bermas, el ancho mínimo habitual de los carriles de circulación es de 3.60 metros, conforme a lo establecido por el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018). Este valor asegura condiciones adecuadas de operación y seguridad. Carriles de menor ancho solo se contemplan en situaciones especiales, como en el caso de carriles adicionales destinados a vehículos de tránsito lento, donde puede permitirse un ancho reducido de 3.00 metros.

En cuanto a las bermas, su diseño responde a factores funcionales como el denominado efecto pared, que puede reducir la capacidad operativa de la vía, y la necesidad de disponer de un espacio lateral para la detención eventual de vehículos con fallas mecánicas. En infraestructura subterránea urbana, como los túneles, se exige una berma con un ancho mínimo de 3.00 metros, a fin de garantizar condiciones de seguridad y evacuación ante emergencias.

Figura 35

$$\text{Berma } 3.00 \text{ m} + 2 \text{ carriles de } 3.6 \text{ m} + \text{berma } 1.20 \text{ m} = 11.40 \text{ m}$$



Nota. Tomado de Manual de Carreteras Túneles, Muros y Obras Complementarias, aprobado

en la Resolución Directoral N° 36-2016- MTC14(2016).

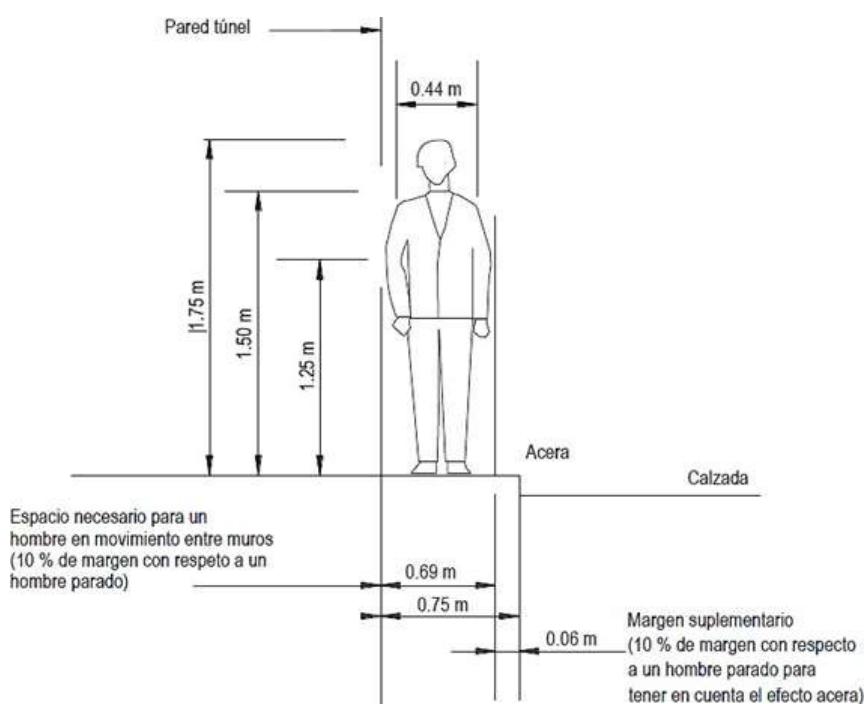
Incluso en tramos donde no se autorice el tránsito peatonal habitual, se deben prever veredas elevadas a ambos lados de la vía, con un ancho mínimo de 0.75 metros, a fin de permitir labores de conservación y brindar un espacio seguro para los ocupantes de vehículos inmovilizados por fallas mecánicas.

En el caso de túneles urbanos que permiten circulación peatonal de forma continua, se establece un ancho mínimo de 1.50 metros para las veredas, las cuales deben estar debidamente separadas de la calzada mediante barreras rígidas, flexibles o elementos equivalentes que garanticen la seguridad.

Asimismo, el ancho combinado de vereda y berma tiene influencia directa en la percepción del conductor conocido como “efecto pared” así como en la visibilidad en zonas curvas. Para mitigar dicho efecto y conservar la capacidad operativa de la vía, el conjunto de vereda y berma no debe ser inferior a 1.95 metros de ancho.

Figura 36

Ancho de vereda



La iluminación en túneles viales tiene como objetivo fundamental garantizar niveles adecuados de visibilidad y seguridad que permitan al conductor identificar el trazo del túnel, detectar posibles obstáculos y mantener una conducción fluida. Además, se deben considerar criterios de eficiencia energética en la solución adoptada.

Los requerimientos lumínicos difieren sustancialmente entre horario diurno y nocturno. Durante la noche, el diseño consiste en proporcionar una luminancia interior que iguale o supere la del entorno exterior. En cambio, el diseño diurno es más complejo, ya que el sistema visual humano no se adapta fácilmente a cambios bruscos en los niveles de luminosidad. Cuando se accede a un túnel desde un entorno muy iluminado, el ojo necesita un periodo de adaptación para percibir correctamente el interior oscuro, situación que depende no solo de la longitud del túnel, sino también de variables como el ancho, altura libre (gálibo), alineamiento y curvatura.

En referencia a las zonas de iluminación, se distinguen cinco zonas funcionales para el diseño lumínico:

- Zona de aproximación: adyacente a la boca del túnel.
- Zona umbral: con los niveles máximos de iluminación, coincidente con la distancia de frenado.
- Zona de transición: reducción progresiva de la luminancia entre la zona umbral y el tramo interior.
- Zona interior: niveles constantes y mínimos de luminancia.
- Zona de salida: posible aumento de iluminación al acercarse al exterior.

Para su clasificación y requisitos, según su longitud y visibilidad, los túneles pueden clasificarse en:

- Túneles cortos (≤ 500 m): pueden no requerir iluminación diurna, dependiendo de la visibilidad a través del túnel.

- Túneles largos (>500 m): requieren iluminación artificial y ventilación forzada.
- Túneles intermedios (>75 m): si no cuentan con iluminación diurna permanente, deben garantizar niveles mínimos durante el crepúsculo y amanecer.

Para las problemáticas visuales, entre las principales dificultades se encuentran:

- Efecto de agujero negro: dificultad para identificar objetos en el interior al aproximarse desde el exterior.
- Efecto de inducción: interferencia en la percepción del objeto debido a estímulos visuales adyacentes.
- Efecto de adaptación: respuesta del ojo ante un cambio abrupto de luminancia.
- Luminancia de velo: interferencia visual causada por luz parásita reflejada.

El diseño de iluminación debe ajustarse a los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias, aprobado mediante Resolución Directoral N° 36-2016- MTC14(2016), y será responsabilidad del especialista correspondiente determinar su necesidad mediante estudios técnicos.

La ventilación en túneles viales, en todo proyecto de túnel deberá contar con estudios específicos de ventilación que garanticen condiciones aceptables de calidad del aire, mitigando los efectos de contaminantes como óxidos de carbono y partículas suspendidas generadas por los vehículos.

Las Finalidades del Sistema de Ventilación son:

- Durante la operación normal, mantener la calidad del aire y visibilidad para los usuarios, evitando acumulación de gases tóxicos.
- En caso de incendio: extraer humo de forma localizada y suministrar aire fresco para controlar la propagación, mejorando las condiciones de evacuación y respuesta.

Las tipologías de sistemas de ventilación son:

- Natural

- Longitudinal
- Transversal
- Semitransversal
- Mixto (combinación de los anteriores)

La selección del sistema apropiado debe basarse en la longitud del túnel, el volumen de tránsito y el tipo de vehículos que lo recorren, tal como se detalla en el cuadro técnico correspondiente del manual vigente.

Tabla 28

Sistema de ventilación túnel (en relación a su longitud)

Circulación	100 m	300 m	500 m	1000 m
Unidireccional	Natural	Natural	Longitudinal	Longitudinal
Bidireccional	Natural	Longitudinal	Longitudinal	Transversal

Para la ventilación y seguridad vial en túneles, la ventilación natural es aplicable en túneles de corta longitud, estimándose como referencia los 100 metros para túneles bidireccionales y 300 metros para unidireccionales.

Las consideraciones técnicas adicionales son:

- En túneles menores a 1 km, se recomienda mantener una única pendiente longitudinal, evitando puntos altos en el interior si no se cuenta con sistemas de extracción de humos.
- Siempre que sea técnica y físicamente posible, se debe habilitar el cruce de la mediana en las inmediaciones de las bocas de los túneles de dos o más tubos.
- No se recomienda ubicar curvas inmediatas al acceso del túnel.

Para el alineamiento horizontal son:

- Para túneles de más de 500 m, puede ser beneficioso que los extremos estén en curva, a fin de reducir el efecto de “agujero negro”.
- En túneles de 100 a 500 m, se permiten tanto trazos rectos como curvos.

- En túneles menores a 100 m, se prefiere un alineamiento completamente recto.
- En todos los casos, debe garantizarse la distancia mínima de visibilidad correspondiente.

Para las Dimensiones de Carriles y Bermas:

- No se debe reducir el ancho de los carriles ni de las bermas dentro del túnel.
- La berma debe ser lo suficientemente amplia para permitir la detención de un vehículo sin afectar la operación del tránsito.
- Cuando existan veredas con sardineles montables, estas podrán complementar el espacio de detención de emergencia.

Para las funciones de las veredas:

- Facilitar el desplazamiento peatonal hacia salidas de emergencia.
- Permitir la apertura segura de puertas de vehículos detenidos.
- Incrementar el espacio útil de detención junto a la calzada.
- Se recomienda una altura de 10 a 15 cm, acompañada de sardinel montable.

En cuanto a los sistemas de contención:

- Se prioriza el uso de muros lisos verticales, que minimizan los movimientos laterales de rebote y mejoran la seguridad al combinarse con veredas elevadas.
- Los pasos a nivel ferroviarios, en los cruces a nivel entre una vía ferroviaria y una carretera o camino peatonal constituyen puntos de conflicto potencial, donde el tren siempre tiene prioridad de paso. Estos espacios deben diseñarse con criterios claros de seguridad, accesibilidad y funcionalidad para todos los usuarios: vehículos motorizados, peatones y ciclistas.

Los principios de diseño:

- Toda intersección debe proporcionar una ruta claramente definida y delimitada, tanto para vehículos como para peatones.

- Deben identificarse claramente las zonas de espera seguras y las áreas de cruce para evitar conflictos durante el paso del tren.

Las políticas generales:

- Eliminación de cruces sin uso.
- Reforzamiento de cruces existentes para mejorar seguridad y accesibilidad.
- Sustitución progresiva por pasos a desnivel.
- Incorporación de tecnologías de señalización avanzadas.
- Instalación de barreras de protección en zonas de alto riesgo.

En el diseño integral se debe considerar las características específicas de cada grupo de usuarios y garantizar:

- Accesibilidad universal, incluyendo espacio para sillas de ruedas y cochecitos.
- Integración con veredas, senderos y rutas peatonales circundantes.
- Superficies sin obstáculos y con espacios de maniobra adecuados.

En cuanto a visibilidad:

- Se deben evitar estructuras, señalizaciones u objetos que obstaculicen la visibilidad del cruce.
- La vegetación debe ser controlada de forma periódica.

La geometría del cruce debe ser:

- La alineación vertical y horizontal debe garantizar una adecuada distancia de visibilidad.
- El cruce debe aproximarse a un ángulo recto entre la vía y el eje ferroviario, siguiendo el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito vigente.

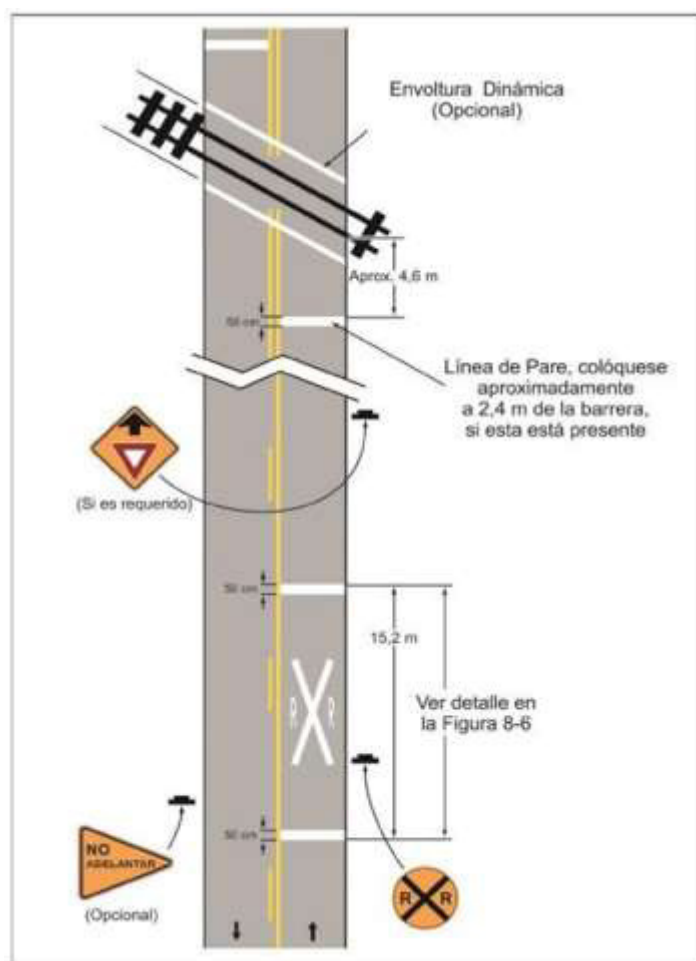
La señalización y control y los dispositivos de control pasivo deben cumplir las normativas que incluyen:

- Señalización vertical ferroviaria.

- Demarcación horizontal.
- Texturas especiales en el pavimento.
- Elementos de canalización.

Figura 37

Ejemplo de señalización vertical y horizontal y dimensiones, en un cruce ferroviario a nivel oblicuo



Nota. Tomado de Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras

Una iluminación adecuada en los cruces a nivel ferroviarios resulta fundamental para mejorar la percepción visual de los conductores, peatones y ciclistas, facilitando la identificación de los dispositivos de advertencia, el entorno vial y las condiciones del cruce. Este factor contribuye directamente a la reducción de accidentes, particularmente durante horas

de baja visibilidad o condiciones climatológicas adversas.

Las condiciones de la superficie del cruce deben garantizar condiciones óptimas en cuanto a seguridad, drenaje, accesibilidad, comodidad y facilidad de mantenimiento. Para ello, es posible implementar sistemas de paso prefabricado o desmontable, utilizando materiales como goma, plástico o concreto reforzado, los cuales permiten cubrir las necesidades funcionales y estructurales del paso.

Estos elementos deben cumplir con las siguientes características:

- Extensión mínima de 2.5 metros a cada lado del eje ferroviario, garantizando una adecuada transición entre la vía vehicular o peatonal y la vía férrea.
- Las pendientes transversales del cruce deben coincidir con la inclinación de la vía del tren, a fin de evitar discontinuidades o irregularidades que puedan comprometer la estabilidad de los usuarios al momento del cruce.

Figura 38

Ejemplo de Superficie de Cruce de un Ferrocarril



Nota. Tomado de Manual de Seguridad Vial.

Las consideraciones geométricas en intersecciones cercanas a pasos a nivel:

- Cuando una intersección vial se ubica próxima a un paso a nivel ferroviario, deben

tomarse en cuenta varios criterios de diseño geométrico orientados a garantizar la seguridad operativa. Entre ellos, se destacan:

- Es imprescindible mantener una distancia mínima de 20 metros entre la barrera ferroviaria y el inicio de la intersección, lo cual permite que vehículos de gran tamaño, como camiones articulados, no queden bloqueados entre ambos elementos.
- Se debe prever espacio suficiente para maniobra, de modo que los vehículos puedan despejar las vías férreas oportunamente ante el acercamiento de un tren.
- La incorporación de veredas elevadas o elementos de canalización lateral, como cunetas, puede disuadir a los conductores de intentar maniobras indebidas alrededor de las barreras de paso.
- Es necesario evaluar la longitud adecuada de los carriles de giro (izquierda o derecha), a fin de garantizar el almacenamiento seguro de los vehículos mientras esperan durante el paso del tren.

La Restricción de Estacionamiento es no se debe permitir el estacionamiento de vehículos dentro de los 20 metros próximos al cruce ferroviario, ya que la presencia de automóviles en esa zona puede restringir severamente la visibilidad de los dispositivos de advertencia.

El diseño geométrico de rotonda a nivel debe ser:

- Dentro de los sistemas de circulación urbana, las vías se conectan entre sí mediante intersecciones o intercambios viales, los cuales se definen según el nivel en el que se produce la conexión:
- Una intersección corresponde a un punto de cruce en el mismo nivel.
- Un intercambio vial implica el cruce a distintos niveles mediante estructuras elevadas o deprimidas.

Aunque los intercambios suelen ofrecer mayores niveles de fluidez y seguridad, su

costo elevado limita su aplicación a contextos justificados técnica y económicamente. En cambio, las intersecciones a nivel deben diseñarse buscando maximizar la seguridad vial, visibilidad operacional y capacidad de circulación.

Figura 39

Fotografía Aérea - Ovalo Higuereta Lima



El presente proyecto contempla la implementación de dos tipos de soluciones viales: una intersección a nivel y un intercambio a desnivel, representados respectivamente por una rotonda y un óvalo con paso a desnivel. Para el diseño del paso a desnivel, se han considerado los criterios geométricos establecidos en los apartados del presente trabajo de investigación.

Por su parte, el diseño de la intersección a nivel estará basado en la configuración de una rotonda, cuyas características geométricas se detallan a continuación.

La rotonda es una intersección circular en la que el tránsito vehicular se desplaza en sentido antihorario alrededor de una isleta central, y en la cual los vehículos que se incorporan deben ceder el paso a quienes ya se encuentran circulando dentro del anillo vial.

El concepto de rotonda moderna fue perfeccionado en el Reino Unido para superar las limitaciones funcionales de los antiguos círculos de tráfico. En 1966, se incorporó la norma que establece la obligación de ceder el paso al tráfico que circula dentro del anillo, regla que ha sido adoptada internacionalmente y ha demostrado ser efectiva para mejorar la seguridad y

eficiencia operacional.

La clasificación de las rotondas para fines de diseño y análisis, las rotondas se clasifican generalmente en tres tipos:

- Minirrotondas
- Rotondas de un solo carril
- Rotondas de múltiples carriles

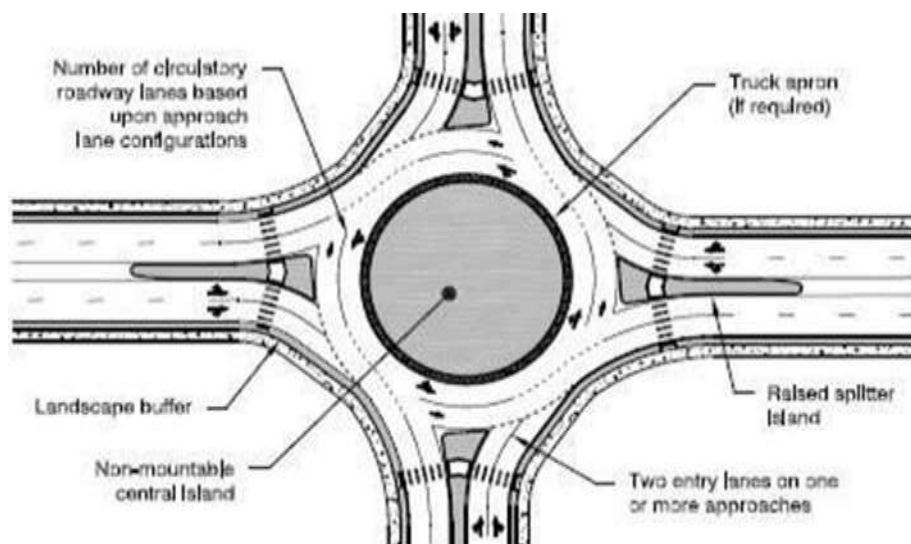
Las rotondas multicarril se caracterizan por tener al menos una vía de acceso con dos o más carriles. En ciertos casos, el número de carriles puede variar según el enfoque, por ejemplo: entradas principales con dos carriles y entradas secundarias con un solo carril. También existen configuraciones en las que las aproximaciones se ensanchan de un carril a dos o más antes de la entrada al anillo.

Las rotondas multicarril presentan velocidades de operación en la entrada, calzada circulatoria y salida que pueden ser similares o ligeramente superiores a las de una rotonda de un solo carril. Su diseño geométrico debe contemplar:

- Isletas partidoras ajardinadas, que mejoran la canalización y visibilidad.
- Delantal de camiones, para facilitar el paso de vehículos pesados sin comprometer el radio de giro.
- Isleta central no transitable, que define claramente el núcleo de la rotonda y contribuye a reducir la velocidad.
- Adecuada deflexión de entrada, para forzar una reducción de velocidad en el ingreso y mejorar la seguridad.

Figura 40

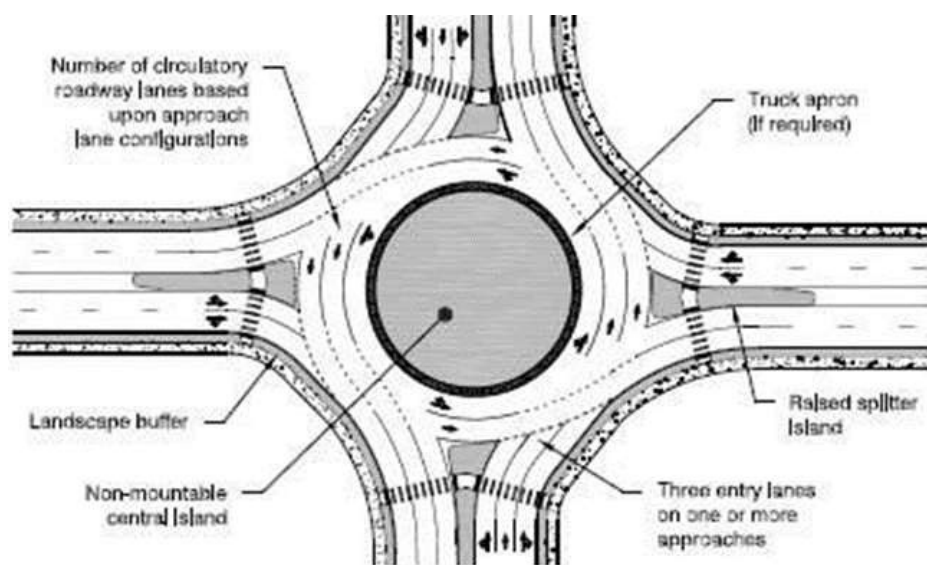
Características de una Rotonda Típica de Dos Carriles



Nota. Tomado de Rotondas Modernas Guía Informativa FHWA – 2010.

Figura 41

Características de una Rotonda Típica de Tres Carriles



Nota. Tomado de Rotondas Modernas Guía Informativa FHWA – 2010.

El planeamiento de las necesidades de carril en rotondas como uno de los aspectos fundamentales en la etapa de planeamiento de una intersección en forma de rotonda es determinar el número de carriles necesarios para atender adecuadamente la demanda vehicular proyectada. Esta decisión incide directamente en la capacidad operativa de la rotonda y en las dimensiones geométricas que esta debe asumir.

La presente sección aborda los criterios preliminares que permiten evaluar la viabilidad funcional de una rotonda, con base en estimaciones iniciales y supuestos simplificados propios de la fase de planeamiento.

La capacidad de entrada a una rotonda está determinada principalmente por el volumen de tránsito en conflicto, es decir, por el flujo de vehículos que ya se encuentran circulando por la calzada anular. A mayor volumen en conflicto, menor será la disponibilidad de oportunidades de ingreso para los vehículos que se aproximan a la intersección, reduciendo así la capacidad de dicha aproximación.

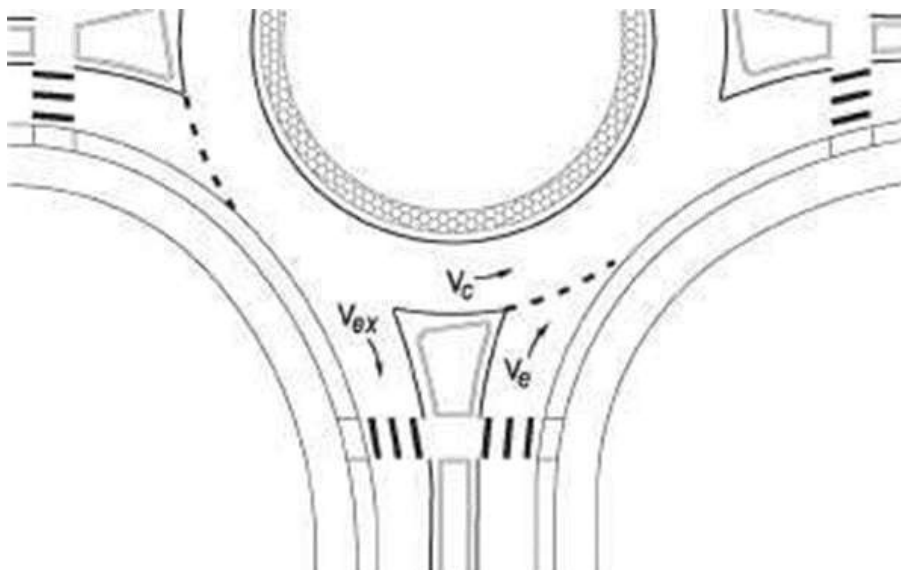
Por el contrario, cuando el volumen de tránsito en conflicto es bajo, la aproximación puede admitir un mayor número de vehículos, incrementando su capacidad operativa.

Cada ramal de aproximación debe analizarse de forma independiente, con el fin de estimar el número de carriles de ingreso requeridos, en función de la tasa de flujo vehicular en conflicto. Asimismo, el número de carriles en la calzada circulatoria se define en relación con la necesidad de garantizar la continuidad de los movimientos vehiculares en el interior de la rotonda.

En fases posteriores del estudio, una vez evaluada la demanda de manera más precisa, se podrá proceder con un análisis operacional detallado que permitirá refinar la asignación de carriles, optimizar las configuraciones geométricas y definir soluciones complementarias.

Figura 42

Flujos de tránsito en una entrada de rotonda



Nota. Tomado de Rotondas Modernas Guía Informativa FHWA – 2010.

La suma de los volúmenes de tránsito de entrada (V_e) y del tránsito en conflicto (V_c) tal como se representa en la figura anterior constituye un criterio práctico de análisis para determinar el número de carriles necesarios en la entrada de una rotonda.

Cuando dicha suma es inferior a 1.000 vehículos por hora (veh/h), se puede asumir razonablemente que una rotonda de un solo carril funcionará dentro de los límites de capacidad aceptables, garantizando una operación segura y eficiente.

Para escenarios con mayores demandas de flujo vehicular, se debe consultar la figura siguiente, la cual proporciona lineamientos preliminares respecto a los requerimientos de carriles en función de diversas combinaciones entre los volúmenes de entrada (V_e) y de circulación interna (V_c). Estos criterios permiten tomar decisiones fundamentadas en la etapa de planeamiento, asegurando que la configuración geométrica propuesta se ajuste a las condiciones operacionales proyectadas.

Tabla 29

Umbrales de volumen para determinar el número de carriles de entrada requeridos

Volume Range (sum of entering and conflicting volumes)	Number of lanes required
0 to 1000 veh/h	Single lane entry likely to be sufficient

1000 to 1300 veh/h	Two lane entry may be needed Single lane may be sufficient based upon more detailed analysis
1300 to 1800 veh/h	Two lane entry likely to be sufficient More than two entering lanes may be required
Above 1800 veh/h	A more detailed capacity evaluation should be conducted to verify lane numbers and arrangements

Nota. Tomado de Departamento de Estado de Nueva York de Transporte.

Figura 43

Flujos de Entrada (Ve) y en Conflicto (Vc) del proyecto propuesto con factor de crecimiento a 20 años



Tabla 30

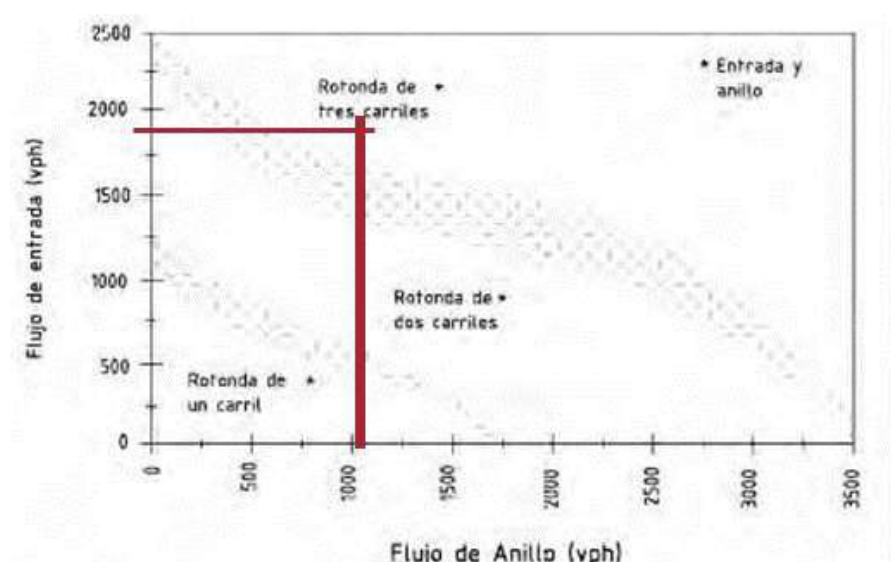
Resultados de Flujos de Entrada (Ve) y en Conflicto (Vc) del proyecto propuesto con factor de crecimiento a 20 años

DESCRIPCION	DIRECCION DE ENTRADA	Tránsito entrante (Ve)	Tránsito en conflicto (Vc)	FLUJO TOTAL (veh/h)
AV. MUNICIPAL	NB	1764	1028	2792
AV. TARAPACA	WB	172	2411	2583
AV. JORGE BASADRE SUR	SW	1083	1205	2288
AV. CUZCO	SB	442	1853	2295

AV. JORGE BASADRE OESTE	EB	690	1314	2004
AV. COLLPA	NE	753	1361	2114

Figura 44

Número requerido de entradas, y de carriles de anillo



Del análisis de capacidad y dimensionamiento de carriles sobre los volúmenes de tránsito proyectados en la intersección, se concluye que los flujos en conflicto superan los 1.800 vehículos por hora, límite recomendado para una operación eficiente de rotondas con dos carriles en la calzada circulatoria, según los lineamientos técnicos expuestos anteriormente. En consecuencia, para el presente proyecto se plantea la implementación de un tercer carril en el anillo de la rotonda, a fin de garantizar niveles adecuados de servicio durante el horizonte de evaluación.

Esta decisión está sustentada en el análisis gráfico y numérico de los flujos de entrada (V_e) y circulación (V_c), así como en los criterios de planeamiento establecidos en los manuales de diseño geométrico y seguridad vial. Con ello, se asegura que la rotonda propuesta cuente con la capacidad necesaria para absorber de forma eficiente y segura los volúmenes proyectados.

Para la seguridad vial, el empleo de rotondas como solución de intersección ha demostrado ser altamente efectivo en la mejora de la seguridad vial, reduciendo tanto la frecuencia como la severidad de los accidentes. Diversos estudios realizados en EE.UU., Europa y Australia concluyen que las rotondas presentan mejor comportamiento en seguridad comparadas con intersecciones tradicionales, por las siguientes razones:

- Reducción de puntos de conflicto: Las rotondas eliminan cruces en ángulo recto y giros a la izquierda, que son típicamente los más peligrosos.
- Menores velocidades operativas: La geometría de ingreso obliga a los conductores a reducir su velocidad, incrementando el tiempo de reacción y disminuyendo la gravedad de los accidentes.
- Flujo continuo y ordenado: Al eliminar los semáforos y mejorar la canalización, se reduce la posibilidad de colisiones por errores de anticipación o de frenado.
- Seguridad para peatones: Los peatones solo cruzan una dirección de tránsito por vez, reduciendo la complejidad del cruce. Además, las isletas de refugio permiten realizar el cruce en dos etapas, aumentando la seguridad.
- Baja velocidad relativa entre vehículos: Disminuye la severidad de los accidentes en caso de colisión.

En general, la frecuencia de siniestros viales se relaciona directamente con el número y tipo de puntos de conflicto, es decir, áreas donde convergen, se cruzan o divergen las trayectorias de vehículos, ciclistas y peatones. Las rotondas, al minimizar dichos puntos, se presentan como una solución eficaz tanto en seguridad como en funcionalidad.

Los principios y objetivos del diseño geométrico son:

- El diseño de una rotonda eficiente debe atender a una serie de principios fundamentales, que aseguren no solo la funcionalidad y la capacidad, sino también la seguridad y comodidad de todos los usuarios:

Nota. Administración de la Velocidad en Rotondas Multicarriles.

La velocidad de operación constituye uno de los factores más relevantes en el rendimiento de seguridad de una rotonda. Si bien la frecuencia de accidentes se asocia principalmente al volumen de tránsito, la gravedad de los siniestros está directamente relacionada con la velocidad vehicular. En este sentido, mantener velocidades controladas y coherentes se torna fundamental para un diseño seguro y eficiente.

Según los estándares internacionales y guías de diseño, en rotondas multicarriles se recomiendan velocidades máximas de entrada de entre 40 y 48 km/h, tomando como referencia la trayectoria más rápida posible dentro de la calzada circulatoria, en condiciones donde los vehículos no respeten necesariamente las demarcaciones viales. Estas velocidades están condicionadas por múltiples factores, tales como la geometría de la rotonda, las características de las vías de aproximación y el comportamiento operativo del tránsito.

El objetivo principal de diseño en materia de velocidad es asegurar una transición suave y constante entre las velocidades de ingreso, circulación y salida, evitando aceleraciones o desaceleraciones bruscas. A este criterio se suman dos implicaciones fundamentales:

- Minimizar la diferencia de velocidades entre elementos geométricos consecutivos.

- Minimizar la diferencia de velocidades entre los flujos vehiculares en conflicto.

La correcta disposición de los carriles dentro de una rotonda multicarril es crítica para garantizar la continuidad de trayectorias, evitar conflictos y preservar la capacidad operativa de la intersección. El número y configuración de carriles deben estar alineados con los movimientos permitidos desde cada aproximación, y reflejarse claramente mediante demarcaciones viales y señalización horizontal, integradas desde la etapa de diseño preliminar.

En algunos casos, la geometría interna del anillo circulatorio estará determinada por la necesidad de incorporar transiciones espirales, o por las exigencias de alineamiento propias de

un diseño fluido y seguro. Es indispensable que las asignaciones de carriles sean consistentes a lo largo de todas las iteraciones del diseño geométrico.

Un aspecto crítico del diseño de rotondas multicarriles es el alineamiento adecuado de las trayectorias naturales de los vehículos que ingresan y circulan por la intersección. La experiencia demuestra que los conductores tienden a evitar desplazarse en paralelo por curvas de radios reducidos, especialmente cuando uno de los vehículos es de gran tamaño (como un camión). Esta conducta se refleja también en los movimientos dentro de las rotondas, generando riesgos potenciales de traslape de trayectorias.

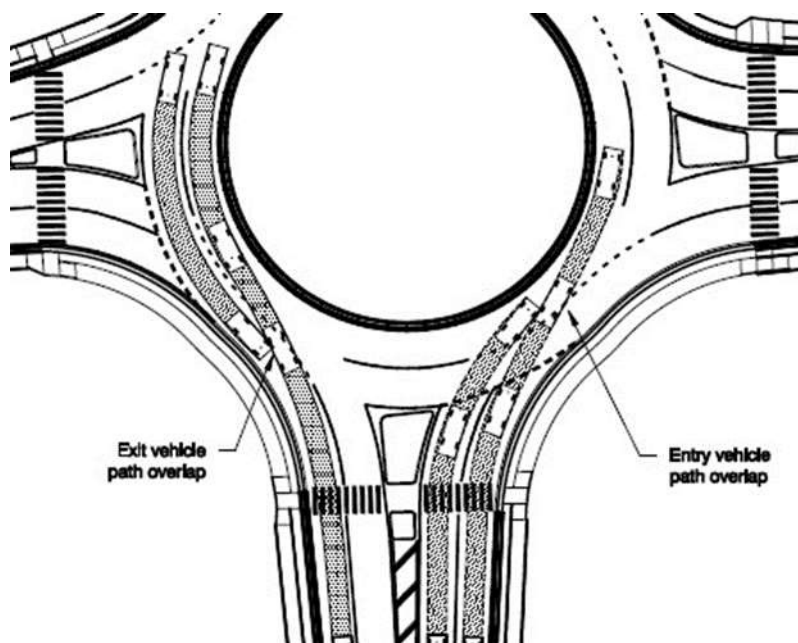
En este contexto, se entiende como trayectoria natural la línea de desplazamiento que adopta un vehículo una vez que ha cedido el paso en la línea de ingreso, determinada por su velocidad y orientación en dicho punto. Si la trayectoria natural de un carril interfiere con la de un carril adyacente, el funcionamiento de la rotonda se verá comprometido tanto en términos de seguridad como de eficiencia operativa.

Este traslape puede manifestarse en distintos grados, siendo el caso más frecuente aquel en que un vehículo procedente del carril izquierdo es invadido por otro que ingresa desde el carril derecho, debido a un diseño inadecuado de alineamiento en la entrada. Además, un radio de salida insuficiente puede inducir a la superposición de trayectorias durante la fase de egreso.

El diseño óptimo de accesos y salidas debe alinear a los vehículos con el carril correspondiente dentro del anillo circulatorio y facilitar una salida intuitiva y segura, sin comprometer la continuidad de carril ni inducir maniobras bruscas. Estos aspectos deben ser cuidadosamente equilibrados con los requerimientos de velocidad para garantizar un diseño seguro y operativo.

Figura 46

Trayectorias superpuestas en una rotonda multicarril



Además del traslape que puede producirse en la zona de ingreso, también es posible que este fenómeno ocurra en la zona de salida de una rotonda, particularmente cuando el radio de salida es insuficiente o cuando la geometría de egreso no alinea adecuadamente las trayectorias naturales de los vehículos con el carril de destino. Este mal alineamiento puede inducir a maniobras no deseadas, invasiones de carril y conflictos laterales, reduciendo la seguridad y eficiencia operativa de la intersección.

La determinación del vehículo de diseño es un aspecto fundamental que condiciona múltiples dimensiones del diseño geométrico de la rotonda. Este vehículo representa la unidad más grande que se espera circule de forma habitual por la intersección, y sus requerimientos de radio de giro, longitud total y trayectoria barrida definirán el espacio mínimo necesario para garantizar un desplazamiento seguro.

Debido a que las rotondas están concebidas para forzar la reducción de velocidad mediante radios cerrados y calzadas estrechas, es frecuente que los camiones articulados (como T3S3) y ómnibus impongan limitaciones al diseño, especialmente en rotondas de un solo carril. Si el diseño es excesivamente ajustado, estos vehículos pueden invadir otros carriles o generar riesgos al realizar maniobras complejas.

Por ello, antes de iniciar el diseño, es indispensable identificar el vehículo de diseño en coordinación con la entidad competente (local, regional o nacional), considerando el tipo de vía y el uso del suelo. En este proyecto, se ha definido como vehículo de diseño el camión articulado T3S3, cuyas características geométricas están especificadas en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

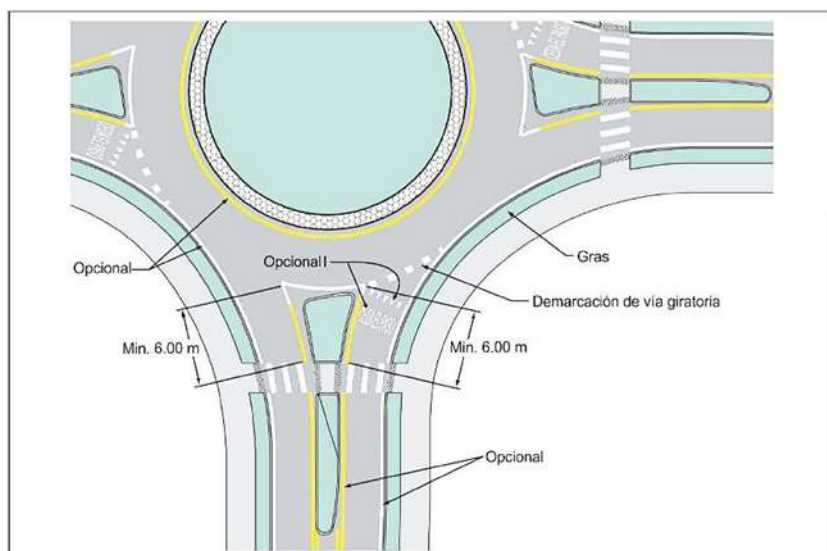
Para una adecuada verificación de las trayectorias barridas, el diseñador debe emplear plantillas de giro aprobadas o software especializado, como AutoTURN u otro módulo de simulación CAD compatible, que permita modelar con precisión los recorridos del vehículo dentro del espacio proyectado.

En cuanto a la seguridad de los usuarios vulnerables, el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, aprobado en la Resolución Directoral N° 016-2014-MTC/16 (2016) establece criterios específicos para la ubicación y diseño de pasos peatonales en rotondas. Estos deben ubicarse a una distancia prudente del anillo circulatorio, fuera de la zona de conflicto inmediata, y contar con islas de refugio cuando existan múltiples carriles de entrada o salida.

Dicha configuración garantiza que los peatones crucen un solo sentido de tránsito a la vez, reduciendo el riesgo de atropellos y mejorando la visibilidad mutua entre conductores y transeúntes. La correcta canalización peatonal, combinada con un diseño geométrico que controle la velocidad vehicular, constituye un elemento esencial para lograr una rotonda segura y funcional para todos los usuarios.

Figura 47

Ejemplo de demarcación para intersecciones tipo Rotonda o Glorieta en las aproximaciones de ingreso y salida, y de un carril giratorio

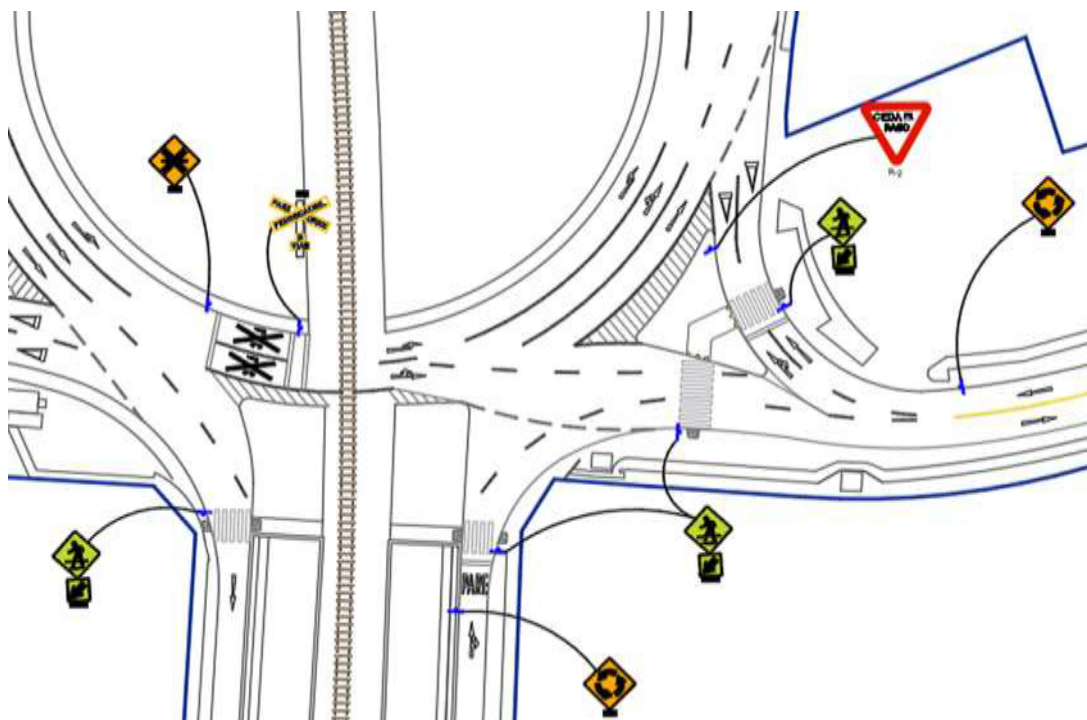


Nota. Tomado de Manual de Dispositivos de control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

De la figura anterior se observa que el manual recomienda una longitud mínima desde la entrada a la rotonda hasta el cruce peatonal propuesta, la cual es de 6.00 m

Figura 48

Esquema de señalización en Rotonda con paso de peatones



En el diseño de rotondas, la visibilidad adecuada y la distancia de visión son

fundamentales para garantizar la seguridad operacional. La literatura técnica consultada sugiere que se adopten distancias mínimas de visibilidad entre 10 y 20 metros, como rango recomendado, tanto para mejorar la percepción de la infraestructura como para optimizar la fluidez vehicular y la seguridad peatonal.

Existen dos tipos de distancias visuales que deben verificarse:

- Distancia visual de detención (DVE): es la distancia que permite a un conductor detectar un obstáculo o usuario en conflicto (como peatones o ciclistas) y detenerse de manera segura antes de alcanzarlo. Debe garantizarse en todos los puntos clave de la rotonda, incluyendo entradas, salidas y en la calzada circulatoria.
- Distancia visual de intersección (DVI): permite a los conductores que ingresan a la rotonda percibir y evaluar conflictos con vehículos circulando en el anillo o con otras aproximaciones. Esta distancia se mide considerando tanto los vehículos que circulan como los que ingresan desde accesos adyacentes.

El diseño de rotondas con múltiples carriles presenta retos significativos debido a la menor tolerancia geométrica y mayor complejidad operacional comparadas con rotondas de un solo carril. Los factores interrelacionados de capacidad, seguridad, afectación a propiedades y costos deben ser cuidadosamente balanceados para cumplir con los principios de seguridad y eficiencia.

A diferencia de soluciones repetitivas, las rotondas multicarriles deben diseñarse caso por caso, considerando:

- Geometría vehicular y trayectorias naturales;
- Marcación de pavimento y señalización integral;
- Asignación clara de carriles y continuidad de trayectoria.
- Un diseño coherente entre geometría, señalización y marcaciones facilita la circulación predecible, reduce la necesidad de cambios de carril y mejora el desempeño global

del sistema.

El diseño geométrico debe permitir una continuidad de carriles desde la aproximación hasta la salida, evitando cambios de carril dentro de la rotonda. De este modo, se asegura que el conductor pueda elegir su carril antes del ingreso y mantenerlo hasta su salida, lo cual reduce conflictos y mejora la legibilidad de la intersección.

El ancho de entrada está determinado por el número de carriles requeridos y por las dimensiones del vehículo de diseño. Los rangos típicos son:

- Entradas de dos carriles: entre 7.3 m y 9.1 m;
- Entradas de tres carriles: entre 11.0 m y 13.7 m;
- Ancho de carril individual: entre 3.7 m y 4.6 m.

Este ancho debe dimensionarse no solo por análisis de capacidad, sino también por los radios de giro requeridos para el vehículo de diseño, asegurando que cada carril sea funcional. Un ancho excesivo sin utilidad efectiva puede inducir a maniobras inseguras o a uso ineficiente del espacio vial.

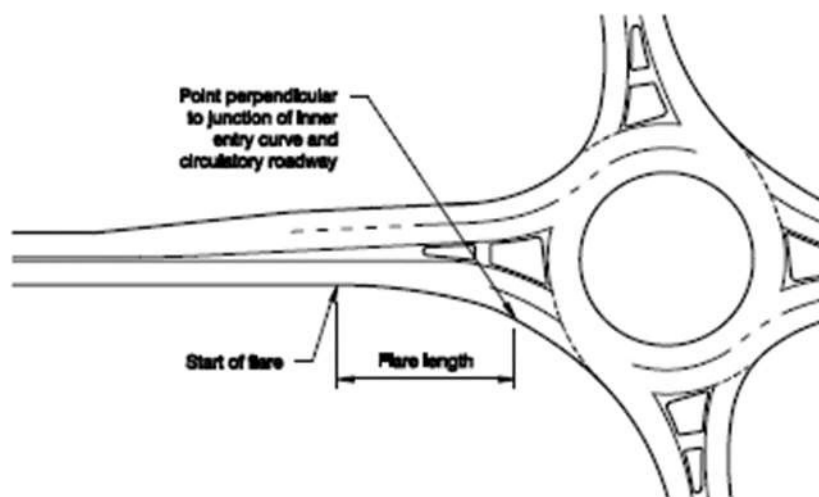
Como estrategias de mejora de capacidad en entradas ante la necesidad de mayor capacidad de entrada, pueden adoptarse dos alternativas técnicas:

- Adición de carril completo corriente arriba, manteniendo carriles paralelos hacia la entrada;
- Implementación de abocinamiento gradual (ensanchamiento progresivo), lo que incrementa la capacidad sin ampliar excesivamente el derecho de vía.

Estudios británicos indican que el largo del abocinamiento influye en la capacidad, sin impactar negativamente la seguridad, convirtiéndolo en una opción viable para mejorar el rendimiento funcional en entradas limitadas por espacio.

Figura 49

Ensanchamiento de aproximación mediante abocinamiento de entrada



El ancho de la calzada circulatoria en una rotonda multicarril está determinado por las necesidades operativas del tránsito previsto y por los requerimientos geométricos del vehículo de diseño, así como por la necesidad de mantener la disciplina de carril a través de marcaciones viales y elementos auxiliares como el delantal de camiones.

Cuando el tránsito está compuesto principalmente por automóviles y camiones unitarios (según las categorías AASHTO P y SU), y la presencia de semirremolques es marginal (menor al 10%), puede considerarse suficiente diseñar el ancho para permitir la circulación paralela de dos automóviles o de un automóvil y un camión unitario. Sin embargo, en escenarios donde los semirremolques son frecuentes (más del 10% del flujo total), el diseño debe prever su coexistencia lateral segura con vehículos ligeros o camiones unitarios dentro de la calzada circulatoria.

Los anchos típicos por carril en rotondas multicarril oscilan entre 4.3 m y 4.9 m, lo que se traduce en:

- 8.5 m a 9.8 m para calzadas circulatorias de dos carriles,
- 12.8 m a 14.6 m para calzadas circulatorias de tres carriles.

Es importante destacar que no se requiere una anchura uniforme a lo largo de toda la calzada circulatoria. Por el contrario, el diseño eficiente debe ajustar el ancho localmente, en función de la cantidad de carriles activos en cada segmento y de los radios de giro del vehículo

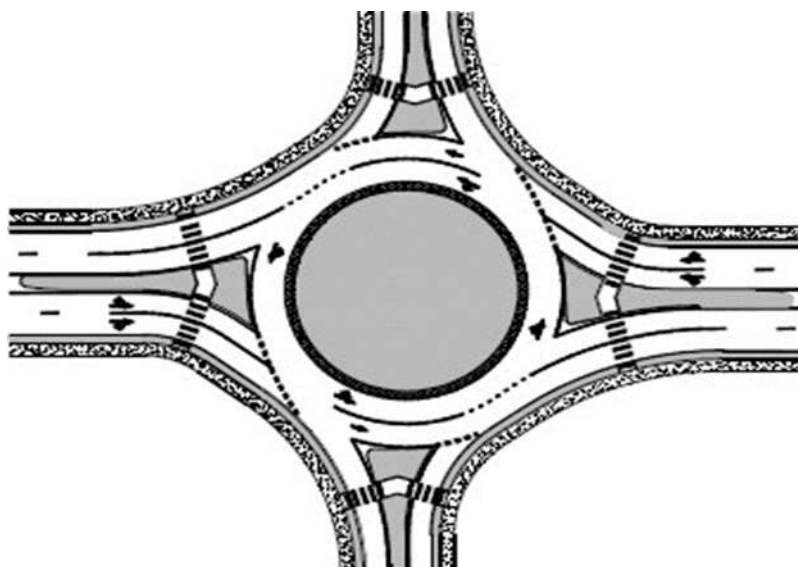
de diseño.

- Un enfoque común en rotondas urbanas multicarriles consiste en prever:
- Dos carriles de entrada y salida en las vías principales, y
- Un carril de entrada y salida en vías secundarias.

Esta configuración permite optimizar la capacidad operativa y el uso del espacio, sin sobredimensionar innecesariamente el diseño, manteniendo además niveles adecuados de seguridad vial y disciplina de carril.

Figura 50

Calle principal multicarril con un solo carril en la calle secundaria



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

En ciertos casos específicos, puede ser necesario incrementar el ancho de la calzada circulatoria más allá del ancho correspondiente de las entradas que la alimentan. Esto se justifica principalmente por requerimientos operacionales vinculados a la asignación de carriles para maniobras específicas, como los giros a la izquierda exclusivos.

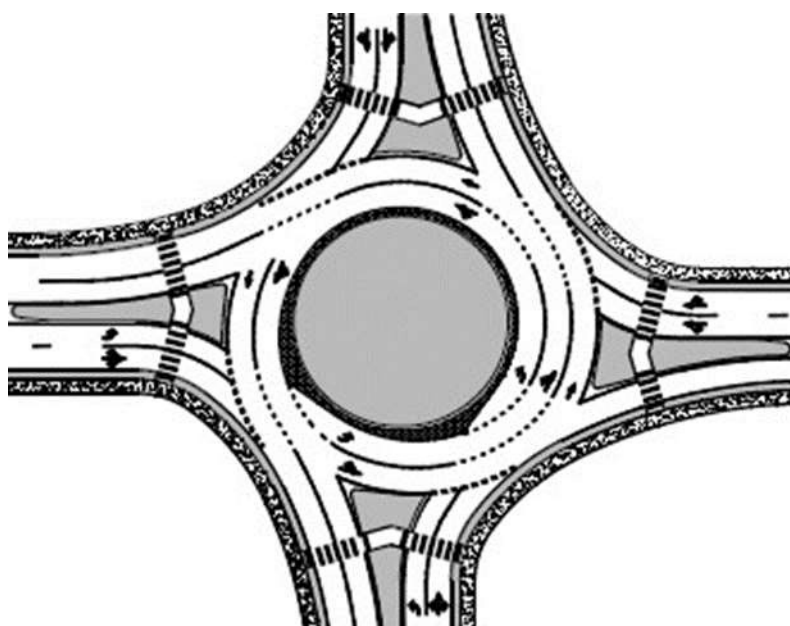
Por ejemplo, cuando dos entradas consecutivas presentan una demanda significativa de giros a la izquierda, es posible que la sección correspondiente de la calzada circulatoria deba incorporar un carril adicional. Esta medida busca garantizar que los vehículos puedan realizar

sus trayectorias deseadas sin verse forzados a realizar cambios de carril dentro de la rotonda, lo que podría generar conflictos operativos y riesgos de colisión.

Para asegurar una transición fluida y segura entre carriles, se recomienda implementar marcas en espiral que orienten de forma progresiva el desplazamiento de los vehículos dentro del anillo. Este tipo de marcación guía a los conductores a lo largo de trayectorias coherentes con sus movimientos previstos (por ejemplo, continuar recto o salir en una determinada vía), disminuyendo el riesgo de traslapes de trayectoria y mejorando la disciplina de carril en la calzada circulatoria

Figura 51

Rotonda de dos carriles con giros dobles consecutivos



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010).

La geometría de la entrada y el alineamiento de la aproximación en una rotonda multicarril son factores determinantes para lograr un funcionamiento seguro, eficiente y predecible del sistema vial. En este contexto, los parámetros geométricos clave como los radios de entrada y la trayectoria natural de los vehículos deben seleccionarse cuidadosamente para evitar conflictos operacionales y de seguridad.

Para rotondas multicarriles, los radios de entrada deben superar los 20 metros con el fin de facilitar trayectorias suaves y naturales de ingreso, reducir solapes entre carriles y minimizar colisiones laterales.

Los radios demasiado pequeños ($<13,7$ m) tienden a inducir cruces de carril involuntarios, reducen la capacidad operativa y aumentan el riesgo de accidentes.

Además, radios muy reducidos en la entrada obligan a los conductores a realizar maniobras más forzadas que pueden generar impactos sobre la isleta central, sobre todo en el caso de vehículos pesados.

Los radios R1 – trayectoria más rápida, este parámetro representa el radio del vehículo que toma el recorrido más veloz por la rotonda sin seguir las marcas. Si R1 es demasiado pequeño, aumenta la probabilidad de solape entre carriles y reduce la eficiencia.

Los valores óptimos de R1 deben ubicarse entre 53 y 84 metros, lo cual genera velocidades de operación controladas entre 40 y 50 km/h, compatibles con las recomendaciones de seguridad para rotondas multicarriles.

El Traslape de trayectorias, es un conflicto geométrico y funcional en el que las trayectorias naturales de dos carriles adyacentes se cruzan, provocando la necesidad de corrección inmediata del volante o incluso de cambio de carril no intencionado. Es más frecuente en:

- Entradas: cuando el diseño del carril externo guía erróneamente hacia el interior de la rotonda.
- Salidas: cuando vehículos del carril interno intentan salir por la derecha, invadiendo la trayectoria del carril externo.

Por ello, un diseño balanceado de entrada debe:

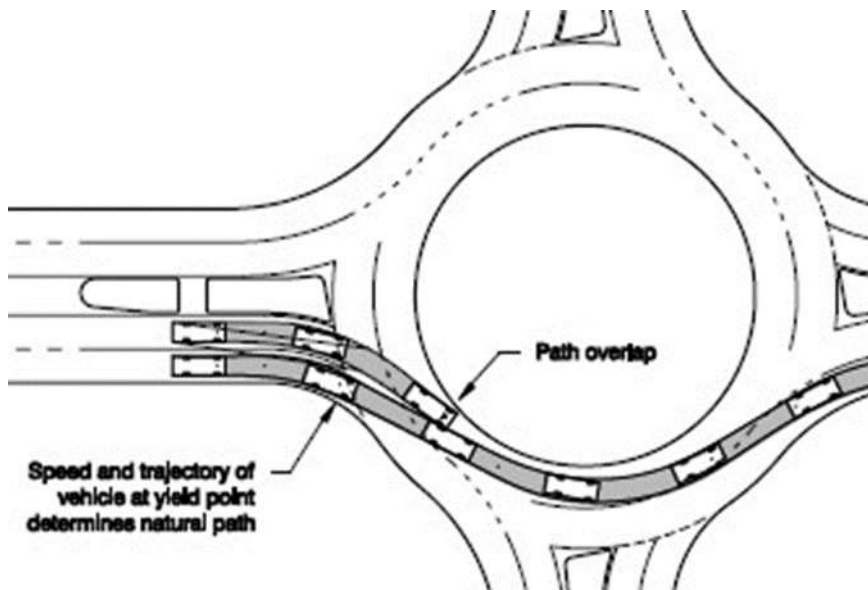
- Mantener radios amplios para suavizar el ingreso sin sacrificar control de velocidad.

- Evitar ángulos de aproximación muy agudos.
- Coordinar el alineamiento de la aproximación con las marcas de canalización y la señalización preventiva.

la señalización preventiva.

Figura 52

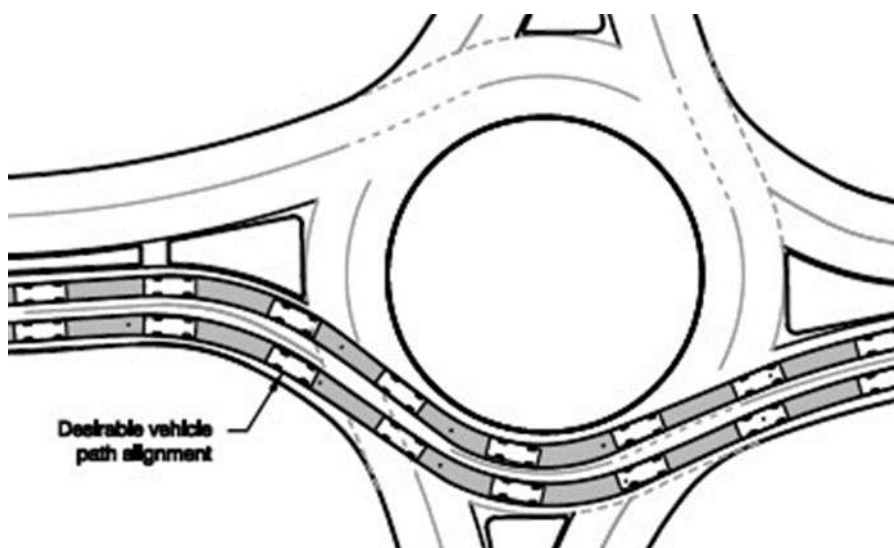
Traslapo de trayectorias vehiculares de entrada



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

Figura 53

Alineamiento deseable de trayectoria vehicular



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

En el diseño geométrico de una rotonda multicarril, las curvas de salida y los elementos peatonales como veredas son fundamentales para lograr un tránsito fluido, seguro y accesible.

Las curvas de salida, en rotondas de un solo carril, se puede usar un radio de salida más pequeño con el fin de controlar la velocidad de salida y mejorar la seguridad peatonal.

En rotondas multicarril, no se recomienda radios de salida pequeños, ya que:

Pueden inducir a que vehículos del carril interior salgan directamente hacia el carril exterior, generando solape de trayectorias y aumentando el riesgo de accidentes.

Disminuyen la eficiencia operativa de la salida al obligar a los vehículos a reducir bruscamente la velocidad o cambiar de carril.

Por lo tanto, el diseño debe asegurar un radio de salida amplio que permita una transición natural de cada carril de circulación hacia su correspondiente carril de salida sin interferencias ni invasiones de carril.

Los detalles de diseño para peatones en veredas:

- Ancho recomendable: 1,80 m.
- Ancho mínimo permitido: 1,50 m.

En zonas con alto flujo peatonal, el ancho debe aumentarse según la demanda proyectada.

Deben diseñarse con rampas accesibles para usuarios con movilidad reducida, ubicadas estratégicamente en las zonas de cruce.

El uso compartido peatón–ciclista:

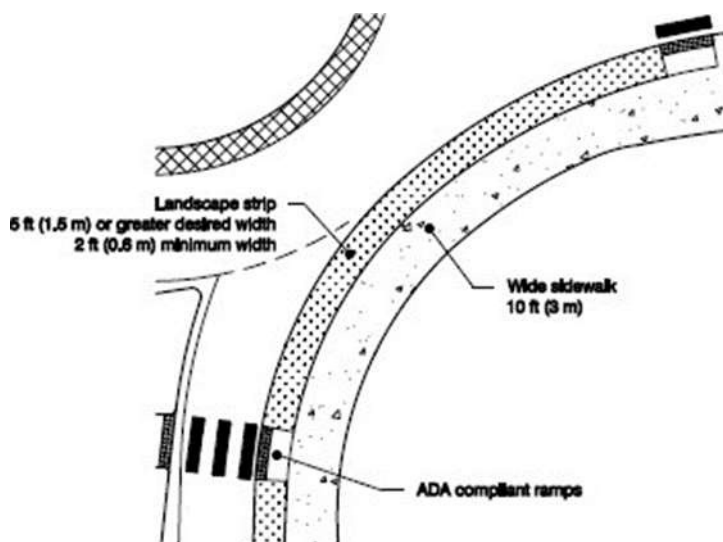
• En rotondas que contemplen rampas de acceso ciclista a la vereda, se requiere un ancho mínimo de 3,00 m para asegurar el uso compartido seguro y eficiente.

- Estas rampas deben contar con pendientes suaves y pavimento antideslizante.
- El diseño de salidas y veredas debe garantizar tanto la operatividad vehicular

como la seguridad e inclusión de los usuarios vulnerables.

Figura 54

Ejemplo de tratamiento de vereda



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

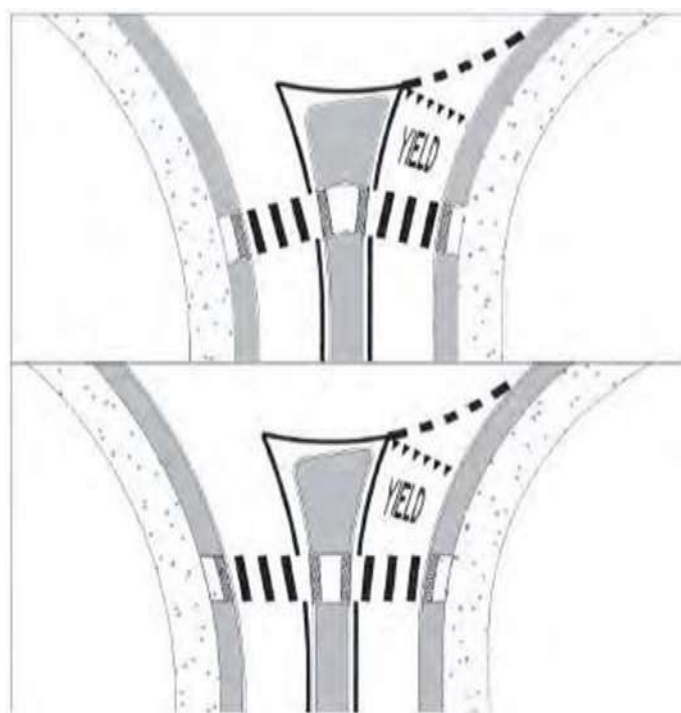
De forma óptima, los cruces peatonales deberían ubicarse a una distancia equivalente a múltiplos de la longitud de un vehículo estándar, contados desde el límite de la calzada circulatoria o desde la línea de “Ceda el paso”, según corresponda. Se recomienda, como mínimo, una separación de 6 metros, lo cual equivale al largo de un vehículo sin considerar el espacio adicional que normalmente se deja entre unidades detenidas. En ciertos casos, podría ser preferible situar el cruce a una o dos longitudes adicionales del vehículo, es decir, entre 13,5 m y 21,5 m tomando en cuenta una separación promedio de 1,5 m entre autos en espera. No obstante, es común que las condiciones geométricas de entrada y salida impidan mantener una distancia constante desde la calzada hasta el cruce peatonal.

Existen fundamentalmente dos alternativas para definir la orientación del paso peatonal en rotondas: una opción consiste en alinear cada segmento del cruce de manera casi perpendicular respecto a la acera, ubicándolo fuera de la calzada y cubriendo los carriles de entrada y salida. La otra alternativa es disponer el cruce peatonal de forma perpendicular al eje

del ramal, lo que genera trayectorias oblicuas respecto a dichos carriles. Esta segunda configuración ofrece como ventaja una caminata más corta y una distancia menos variable entre la calzada y el paso. Sin embargo, también puede generar trayectos peatonales más extensos y con mayor inclinación, especialmente cuando los carriles forman ángulos pronunciados en las zonas de cruce. Asimismo, es importante considerar que la rampa debe mantenerse perpendicular a la acera para asegurar la accesibilidad, lo cual puede afectar negativamente el alineamiento para personas con discapacidad visual si el cruce no está correctamente orientado.

Figura 55

Opciones de alineamiento de cruces peatonales



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

Las consideraciones de estacionamiento dentro de la calzada circulatoria de una rotonda no son adecuadas para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente, por lo que, por lo general, debería estar prohibido. En cuanto a las zonas de entrada y salida, los espacios de estacionamiento deben situarse a una distancia suficiente para no interferir con las maniobras vehiculares ni con la visibilidad de los peatones. Según las recomendaciones de AASHTO, es

conveniente que el estacionamiento finalice al menos a 6 metros del cruce peatonal más próximo a una intersección. Además, se sugiere el uso de extensiones de cordón, también denominadas bulbos salientes, como delimitadoras visuales del área permitida para estacionar y como elementos reductores del ancho de las calzadas en accesos y salidas.

Por razones tanto operativas como de seguridad vial, la ubicación de paraderos de ómnibus debe situarse fuera de la calzada circulatoria, así como a una distancia prudente de las entradas y salidas de la rotonda. Dependiendo del sentido del flujo vehicular, las paradas pueden clasificarse en dos tipos:

- Las paradas del lado cercano, generalmente, deben colocarse a una distancia que evite que un vehículo rebase al ómnibus detenido poniéndose en riesgo de invadir la isleta partidora, especialmente cuando el ómnibus se reincorpora al tránsito. En accesos de un solo carril, y siempre que no haya problemas de capacidad, puede considerarse su ubicación junto al cruce peatonal. No obstante, en accesos con múltiples carriles, esta práctica se desaconseja, dado que los vehículos del carril contiguo no tienen visibilidad clara de los peatones. En contextos urbanos con rotondas multicarriles, puede implementarse una parada tipo “bulbo” en el carril exterior, siempre que esta se encuentre a más de 15 metros del cruce peatonal. Esta ubicación se considera beneficiosa ya que coincide con zonas de desaceleración, lo que mejora las condiciones de seguridad.

- Paradas del lado lejano: Estas se ubican después del cruce peatonal, permitiendo una mayor visibilidad hacia los peatones por parte de los vehículos que salen de la rotonda. En estas condiciones, el paso peatonal queda a espaldas del ómnibus, lo que mejora la seguridad visual para el tránsito que egresa. Aunque los apartaderos de ómnibus pueden evitar la congestión dentro de la rotonda, también pueden comprometer la visibilidad del conductor al reincorporarse. En contextos urbanos de baja velocidad, puede omitirse el apartadero y permitir que el ómnibus se detenga directamente después del cruce peatonal, siempre que se garantice

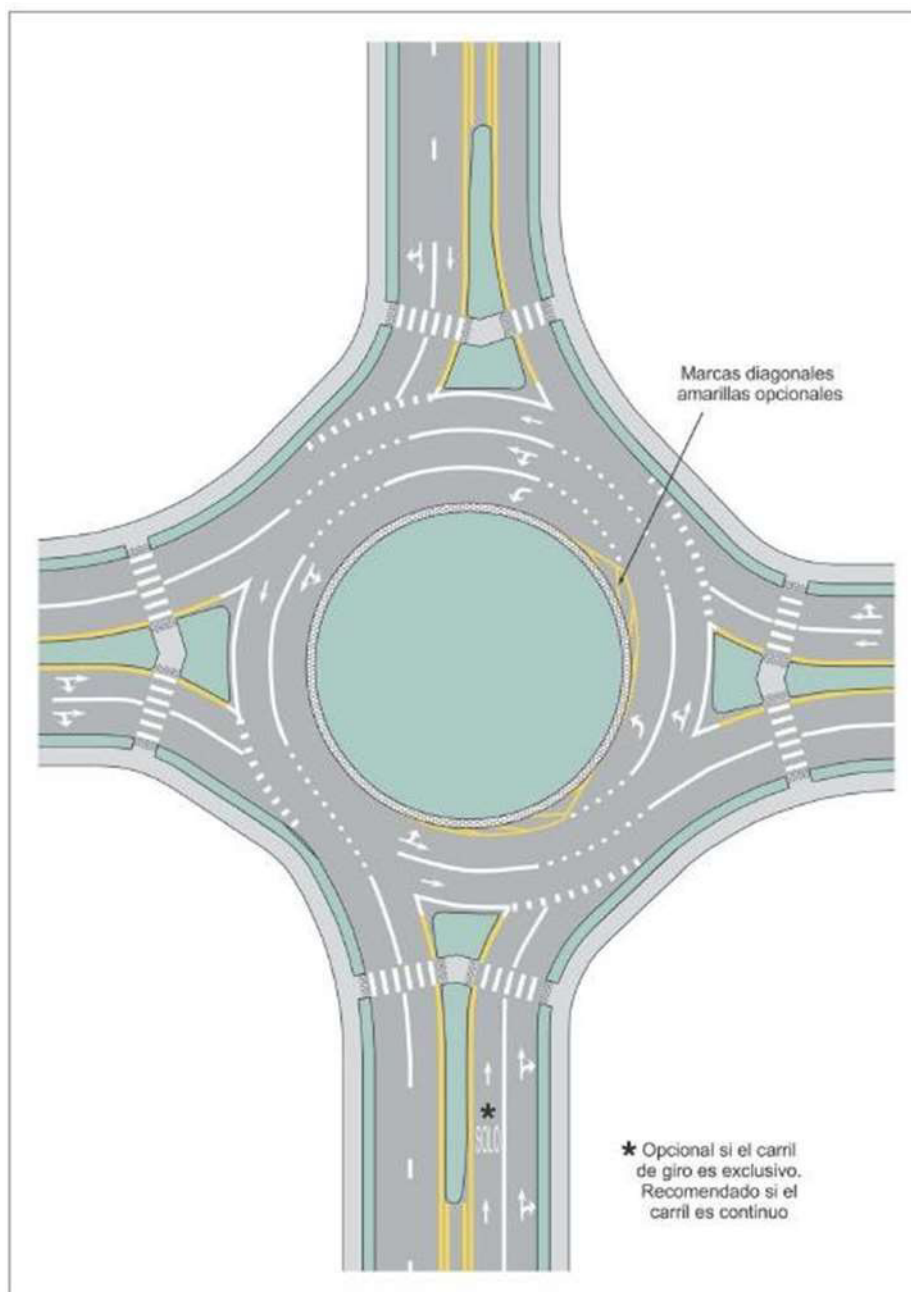
una vía de adelantamiento segura para el resto del tránsito. En zonas escolares o con medidas de tráfico calmado, la ubicación del paradero puede diseñarse de forma que desincentive el adelantamiento del ómnibus detenido.

Las Consideraciones de Alineamiento Vertical y Drenaje, usualmente, detallan que la calzada circulatoria se inclina hacia el exterior respecto a la isleta central, por lo que los sumideros deben colocarse en la línea del cordón exterior. Se recomienda evitar la colocación de sumideros en la isleta central, especialmente cuando el diseño de la rotonda se encuentra sobre una pendiente constante. Como en toda intersección, se debe prestar atención a la ubicación de los puntos bajos y asegurar que los sumideros estén posicionados antes de los pasos peatonales.

En cuanto a los dispositivos de control del tránsito, que respecta al diseño de la señalización vial, se seguirá lo establecido en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (aprobado mediante Resolución Directoral N° 016-2014-MTC/16). Si bien dicho manual excede los alcances del presente estudio, se propone una configuración referencial de señales horizontales que resulta coherente con los objetivos del proyecto planteado.

Figura 56

Ejemplo de demarcación para intersecciones tipo Rotonda o Glorieta de dos carriles con doble giro consecutivo a la izquierda



Nota. Tomado de Manual de Dispositivos de control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (Aprobado con Resolución Directoral N° 016-2014-MTC/16)

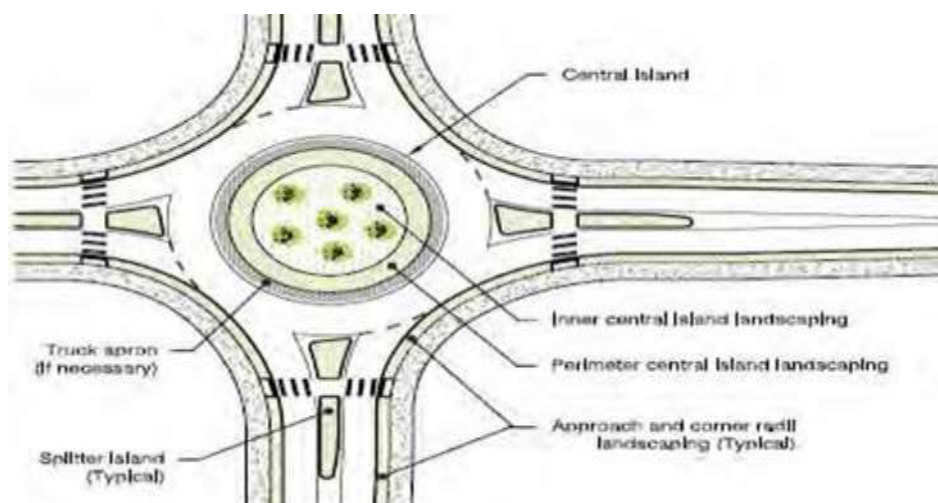
El diseño del paisajismo en una rotonda debe considerar la necesidad de que los conductores puedan identificar, con suficiente anticipación, tanto la geometría de la intersección como la señalización vial correspondiente. En ese sentido, como se señala en el capítulo 6, los requerimientos de visibilidad influyen directamente en la elección de los elementos vegetativos y decorativos apropiados para cada sector de la rotonda y sus zonas

colindantes. En las áreas denominadas de visibilidad crítica, el tratamiento paisajístico debe mantenerse por debajo de una altura máxima de 0,6 metros, con el fin de preservar una adecuada línea de visión y facilitar la toma de decisiones durante el ingreso o circulación en la rotonda.

Asimismo, es importante tener en cuenta la velocidad predominante en los caminos que confluyen en la intersección. En contextos urbanos donde el tránsito tiende a ser más lento habitualmente a velocidades iguales o inferiores a 55 km/h, se dispone de un mayor margen de maniobra en cuanto al diseño paisajístico. En contraste, en zonas suburbanas o rurales, donde las velocidades de aproximación suelen superar los 65 km/h, la elección y distribución del paisajismo debe ser más conservadora, priorizando la seguridad y la percepción oportuna del entorno vial. En consecuencia, tanto el tipo de vegetación como su ubicación deberán ajustarse al contexto operacional y al nivel de riesgo asociado.

Figura 57

Resumen de las zonas de paisajismo en una rotonda



Nota. Tomado de Roundabouts: An informational guide (2010)

La implementación de elementos paisajísticos en la isleta central puede contribuir significativamente a mejorar la seguridad vial de la intersección, ya que permite convertir este punto en un referente visual para los conductores, favoreciendo una disminución en la

velocidad de circulación. Asimismo, puede actuar como barrera frente al deslumbramiento producido por las luces altas de los vehículos que se aproximan. No obstante, es fundamental que la selección de los componentes vegetales garantice una visibilidad adecuada en los sectores donde esta sea crítica para la operación segura. En contraste, en algunos casos, el paisajismo puede emplearse estratégicamente para reducir visuales largas y, con ello, inducir velocidades más moderadas.

Cabe precisar que las características del ajardinamiento en la isleta central varían en función de su ubicación, diferenciándose las soluciones aplicables al interior y al perímetro de la misma. En todos los casos, el diseño del paisajismo debe contemplar criterios de mantenimiento sostenible, de forma que se preserve la visibilidad requerida durante toda la vida útil del proyecto.

El diámetro de la rotonda también incide directamente en el tipo de paisajismo que puede desarrollarse. En rotondas de gran tamaño, por ejemplo, se dispone de mayor espacio para integrar elementos vegetales o decorativos; además, estas permiten una mejor articulación con el entorno urbano, pudiendo incluso convertirse en elementos de identidad local. Sin embargo, su mayor dimensión también implica una mayor inversión en instalación y mantenimiento. Dado que muchas veces las entidades públicas carecen de recursos para el mantenimiento constante, suele considerarse la participación de organizaciones comunitarias o clubes de jardinería mediante convenios colaborativos. Alternativamente, si se desea un mantenimiento mínimo, se recomienda optar por tratamientos paisajísticos con materiales sólidos o de bajo requerimiento.

Es necesario advertir que algunos elementos, como árboles o estructuras ornamentales, pueden representar un riesgo como obstáculos fijos, sobre todo en contextos de velocidad elevada. Por ello, el borde exterior de la isleta central debe mantenerse con vegetación baja — como césped o cobertura vegetal rastrera—, con el propósito de garantizar la distancia visual

de detención tanto para los vehículos en la calzada circulatoria como en la línea de ingreso a la intersección. El ancho de esta zona plantada dependerá del tamaño de la rotonda y de las dimensiones de los triángulos de visibilidad.

Además, el diseño paisajístico debe evitar incentivar el tránsito peatonal dentro de la isleta central. Por lo tanto, no se recomienda la instalación de mobiliario urbano que promueva la permanencia de personas, tales como bancas o monumentos con inscripciones pequeñas.

Respecto a la iluminación, algunas entidades la utilizan para resaltar elementos paisajísticos como árboles o esculturas durante la noche. No obstante, en otras jurisdicciones, se prescinde de ella por su impacto negativo en la visibilidad astronómica y la contaminación lumínica.

En relación con la isleta partidora y las zonas de aproximación, es fundamental considerar que estas generalmente se ubican dentro de los triángulos críticos de visibilidad. Por esta razón, el paisajismo en estas áreas debe limitarse a especies de bajo porte, tales como césped o arbustos bajos, que se integran fácilmente con el entorno urbano y requieren escaso mantenimiento. Por lo general, estas isletas no deben incluir árboles, maceteros ni postes de iluminación. En su lugar, se pueden emplear tratamientos con superficies pavimentadas o de concreto simple, que ofrecen una alternativa funcional y de bajo mantenimiento.

Finalmente, es importante señalar que el diseño geométrico de las rotondas debe alinearse con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018, aprobado mediante la Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14.

Tabla 31

Criterios de diseño geométrico de rotondas

Descripción	Unidad	Magnitud
Diámetro mínimo de la isla central	m	25

Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50
Relación W/L (Sección entrecruzamiento)		Entre 0.25 y 0.40
Ancho sección entrecruzamiento (W)	m	Máximo 15
Radio interno mínimo de los accesos (De entrada y de salida)	m	30
	m	40
Ángulo ideal de entrada		60°
Ángulo ideal de salida		30°

El dimensionamiento de las islas direccionales será consecuencia de la geometría general de la solución; sin embargo, éstas deben tener como mínimo entre 4.50 m² y 7.00 m².

En el siguiente cuadro se presentan valores de diseño geométrico, para atravesamiento de zonas urbanas, para las velocidades de diseño indicadas en la misma, establecidos en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG – 2018 (Aprobado con Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14).

Tabla 32

Valores de diseño geométrico para cruce de carreteras por zonas urbanas

Descripción	Unidad	Velocidad de diseño (km/h)		
		80	60	50
Distancia mínima de visibilidad				
- De parada	m	130	90	70
- De paso	m	–	–	–
Pendiente longitudinal				
- Máxima	%	7.0	7.0	7.0
- Mínima	%	0.5	0.5	0.5
Curvas verticales				
- k mín. paso = L/A	m/%	–	–	50
- K mín. parada = L/A	m/%	15	10	5
- Longitud mínima	m	45	35	25
Peralte máximo	%	7	7	7
Eliminar bombeo no favorable si el radio es menor que	m	1,830	1,220	810
Emplear curva de transición si el radio es menor que	m	600	325	225

Descripción	Unidad	Velocidad de diseño (km/h)		
Distancia mínima a un obstáculo lateral desde el borde de la calzada	m	0.8	0.8	0.8
Altura mínima de pasos peatonales subterráneos	m	2.50	2.50	2.50
Entretangencia entre curvas de distinto sentido	m	110	80	80
Entretangencia entre curvas del mismo sentido	m	220	170	140
Intersecciones no semaforizadas: radio mínimo en las esquinas	m	15	15	5
Intersecciones semaforizadas				
- Ancho en zona peatonal	m	3.0 – 5.0 (depende del flujo peatonal)		
- Ancho en tramos en tangente	m	3.0 mínimo – 4.0 máximo		
- Ancho de carril en tramos en curva	m	4.5 mínimo – 6.0 máximo		

En el siguiente cuadro se presentan valores de diseño geométrico, para atravesamiento de zonas urbanas, para las velocidades de diseño indicadas en la misma, establecidos en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG – 2018 (Aprobado con Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14).

Tabla 33

Resumen de Parámetros de Diseño Geométrico

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
1	Clasificación	Vía Arterial y Carretera Nacional
2	Tipo de tráfico que soporta	Tráfico urbano y Tráfico Nacional
3	Uso de suelo	Zona urbana
4	Por el relieve y clima	Plano - Seco
5	Por el tipo de obra	Nueva construcción
	Por el tipo de Vía	
	Av. Municipal	: Vía Arterial
	Av. Cuzco	: Vía Arterial
6	Av. Circunvalación Sur	: Vía Arterial
	Av. Circunvalación Oeste	: Vía Arterial
	Av. Tarapacá	: Vía Arterial
	Av. Collpa	: Vía Arterial
7	Accesos	: Controlados con cruces a desnivel
8	Transporte Público	: Se prohíben paraderos para buses.
9	Estacionamientos	: Se prohíben estacionamientos cerca de las vías de ingreso y salida a la rotonda

10	Vehículo de Diseño	: Camión T3S3
11	Velocidad de Diseño	
	Paso a desnivel deprimido - Túnel Urbano	: 50 km/h
	Carriles de entrada y salida	: 40 km/h
12	Diseño en Planta	
	Tramos en tangente	: Según diseño particular
	Radios de curva	: Según diseño particular
	Sobreechancho	: Según diseño particular
13	Diseño en Perfil	
	Pendiente Mínima	: 1 - 2 %
	Pendiente Máxima	: 8 - 10 %
	Carriles adicionales	: 01 carril en paso a desnivel
	Curvas Verticales	: Según diseño particular
14	Diseño de Sección Transversal	
	Número de carriles	
	Paso a desnivel deprimido - Túnel Urbano	: 02 en ambos sentidos (01 principal + 01 adicional)
	Paso a desnivel deprimido - Rampas	: 02 en ambos sentidos (01 principal + 01 adicional)
	Rotonda	: 03 carriles
	Carriles de entrada y salida	: Según diseño particular

3.8. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos aplicables a los estudios de ingeniería y tránsito urbano, garantizando la objetividad, veracidad y confidencialidad de la información recopilada. Los datos obtenidos mediante aforos vehiculares.

IV. RESULTADOS

Con el propósito de obtener una mayor precisión en la determinación de los radios de giro, se ha tomado como fuente técnica de referencia de AASHTO (2018), cuyo documento, A policy on geometric design of highways and streets, cuyas especificaciones se detallan a continuación.

4.1. Características geométricas y físicas del óvalo cusco

El levantamiento planimétrico y topográfico permitió determinar las dimensiones y configuración actual del Óvalo Cusco. La infraestructura presenta un diseño de tipo rotonda con calzadas de circulación perimetral y accesos radiales provenientes de seis vías principales.

Principales parámetros geométricos:

Tabla 34

Características geométricas y físicas del óvalo cusco

Parámetro	Valor Actual	Estándar recomendado (MTC/RNE)	Cumplimiento
Radio interno de la rotonda	39.5 m	12 – 30 m	Sí
Radio externo	52.1 m	25 – 50 m	Sí
Ancho de calzada	3.6 m	≥ 3.00 m	Sí
Pendiente longitudinal	3 %	≤ 6 %	Sí
Número de carriles de circulación	3	Según volumen	Sí
Islas canalizadoras	Sí	Recomendado	Sí

El análisis revela que algunos parámetros geométricos cumplen con los estándares normativos, mientras que otros, como el ancho de calzada en determinados accesos y la ausencia de islas canalizadoras adecuadas, requieren ajustes para mejorar la seguridad vial.

4.2. Resultados del análisis del tránsito vehicular

Mediante aforos vehiculares realizados en horas punta (mañana y tarde), se obtuvo el volumen de tránsito por cada acceso, clasificando los vehículos según su tipología (livianos, transporte público, carga pesada y motocicletas).

Composición vehicular promedio en hora punta:

Tabla 35

Resultados del análisis del tránsito vehicular

Tipo de vehículo	% Participación
Livianos	74 %
Transporte público	15 %
Carga pesada	10 %
Motocicletas	1 %

4.3. Resultados del análisis del tránsito peatonal

Los conteos peatonales evidenciaron flujos considerables en horas punta, especialmente hacia las zonas de comercio y paraderos de transporte público.

Flujos peatonales en hora punta (máxima observada):

Tabla 36

Resultados del análisis del tránsito peatonal

Punto de cruce	Flujo (peatones/h)
Acceso Norte	28 %
Acceso Sur	18 %
Acceso Este	22 %
Acceso Oeste	32 %

Se identificó que un alto porcentaje de peatones cruza fuera de los pasos peatonales habilitados, lo que incrementa el riesgo de accidentes. Asimismo, la señalización peatonal y la iluminación son deficientes en determinados puntos.

4.4. Nivel de servicio vehicular y peatonal

Aplicando la metodología de Transportation Research Board, cuyo documento, Highway Capacity Manual 2010, para intersecciones tipo rotonda, se determinó el nivel de servicio (LOS) en los accesos.

Tabla 37*Nivel de servicio vehicular*

Acceso	LOS
Av. Municipal	B
Av. Tarapacá	B
Av. Jorge Basadre Sur	A
Av. Cuzco	B
Av. Jorge Basadre Oeste	A
Av. Collpa	B

En el análisis peatonal, considerando el flujo y el tiempo de espera para cruzar, el nivel de servicio de los cruces fue entre “B y A”, lo que indica condiciones eficientes y tiempos de espera no prolongados.

4.5. Identificación de conflictos y riesgos

Durante las observaciones de campo, se registraron conflictos viales frecuentes:

- Invasión de carriles internos por parte de vehículos pesados.
- Cruces peatonales fuera de zona segura.
- Alta velocidad en accesos pese a la proximidad de zonas comerciales y paraderos.
- Deficiencias en señalización preventiva y reguladora.
- La superposición de flujos vehiculares y peatonales sin adecuada canalización constituye el principal factor de riesgo en el área.

4.6. Propuesta técnica de mejora

En base a los resultados obtenidos, se plantean las siguientes acciones:

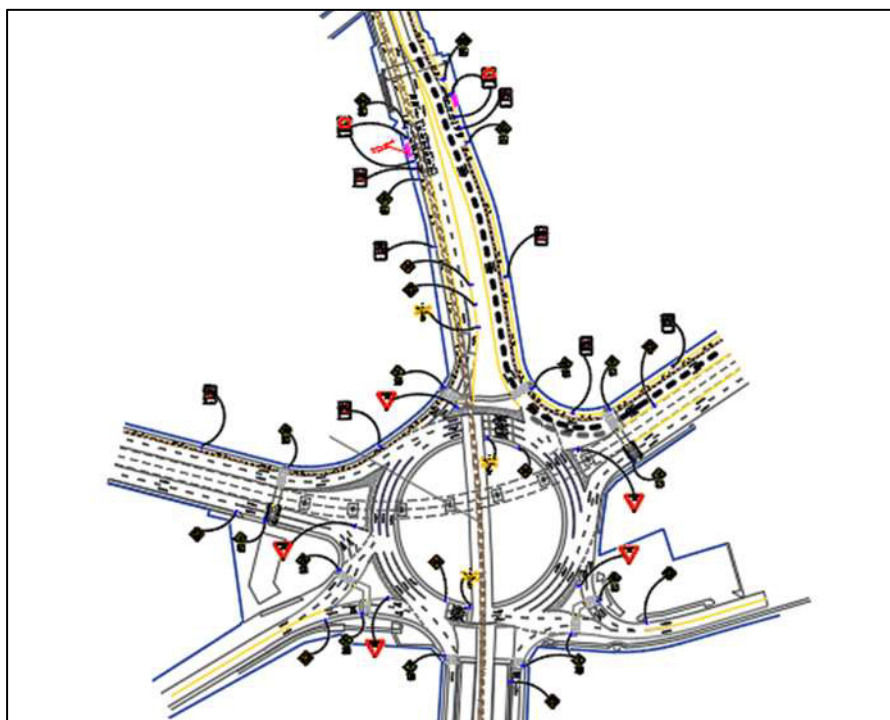
- Rediseño geométrico del óvalo con radios y anchos de calzada conforme a normativa.
- Implementación de islas canalizadoras para ordenar el flujo y proteger a

peatones.

- Mejora de señalización vertical y horizontal, incluyendo reductores de velocidad en accesos.
- Control de accesos y priorización de transporte público en horas punta.
- Modelación del escenario propuesto que, según simulaciones preliminares, disminuye y/o mantiene el nivel de servicio a C y brinda mayor seguridad y accesibilidad.

Figura 58

Propuesta de solución



Como se observa en la figura anterior el proyecto cuenta varios ejes viales, siendo entre todos el más importante el EJE MAESTRO, mediante el cual se permitió el replanteo de los demás ejes propuestos.

El eje maestro inicia en el progresivo km 0+000 y termina en el progresivo km 0+515.43. Como las progresivas de los ejes viales han quedado establecidas en el sentido del tráfico, se entiende que habrá una equivalencia de valor entre las progresivas de los ejes viales y la del eje maestro, el siguiente cuadro muestra tal equivalencia, del cual se extraen las

secciones transversales de ingeniería del proyecto

El diseño de intersecciones se realizó considerando principalmente el volumen y la composición del tránsito que circula por el área de estudio. En zonas urbanas donde confluyen varias vías con alta intensidad vehicular o velocidades elevadas, puede justificarse la implementación de una intersección a desnivel como solución técnica.

Cabe señalar que un elevado porcentaje de siniestros viales ocurre precisamente en las intersecciones. Por tal motivo, una medida eficaz para reducir conflictos entre flujos vehiculares o mitigar la congestión severa es la construcción de pasos a desnivel. Este tipo de infraestructura resulta especialmente eficiente para gestionar altos volúmenes de tránsito continuo, aunque presenta limitaciones funcionales, ya que restringe la ejecución de ciertos giros directos hacia otras vías.

Asimismo, existen intersecciones formadas por pasos a nivel entre carreteras y líneas ferroviarias, las cuales requieren una atención particular debido al riesgo evidente que implica la interacción vehículo-tren. En estos casos, deben aplicarse rigurosamente los lineamientos establecidos en el Estudio de Señalización y Seguridad Vial correspondiente, a fin de garantizar condiciones adecuadas de prevención y control.

En relación con el paso a desnivel planteado, este ha sido diseñado con bermas de ancho suficiente para permitir el estacionamiento de vehículos averiados, evitando así obstrucciones en el flujo continuo del tránsito.

Entre las principales ventajas que ofrecen los pasos a desnivel destacan: la reducción significativa de accidentes en puntos de intersección, la mejora del flujo vehicular al evitar detenciones frecuentes, y la simplificación de maniobras complejas que normalmente se presentan en intersecciones de tres o más ramales.

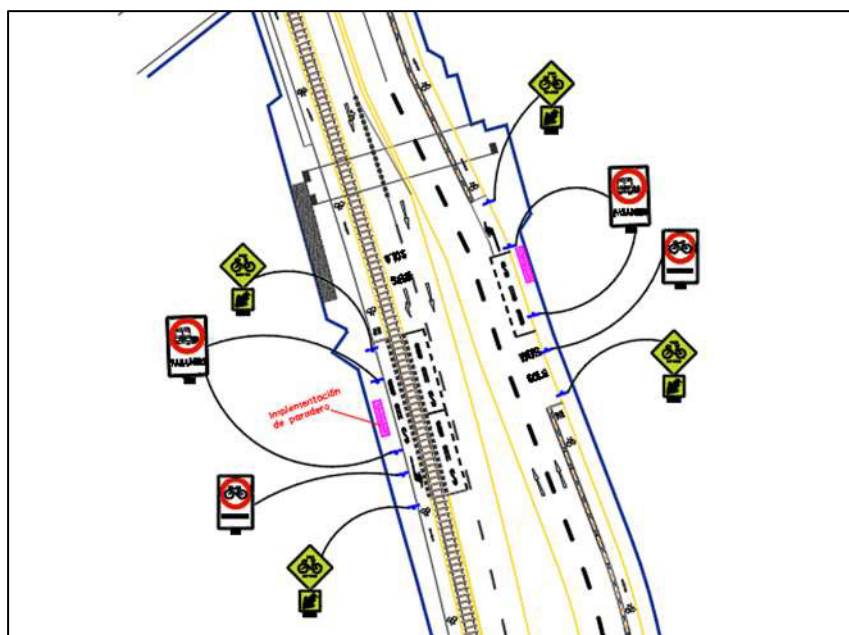
En lo referente a la ubicación de paraderos, el presente análisis desaconseja la instalación de estos cerca de los accesos o salidas del óvalo, ya que podrían afectar

negativamente la operación y visibilidad del sistema. Es importante considerar que los recorridos del transporte público se desarrollan principalmente por la Av. Municipal y la Av. Cuzco, en sentido rectilíneo. En ese contexto, una vez habilitado el paso a desnivel, se prevé que será utilizado plenamente por dicho servicio, lo que elimina la necesidad de implementar paraderos en la superficie próxima al Óvalo Cuzco.

Por consiguiente, se sugiere que los paraderos se ubiquen en el lado cercano a la intersección, preferentemente a media cuadra antes del cruce entre la Av. Cuzco y la calle Miraflores, con el propósito de preservar la fluidez vehicular y la seguridad en el entorno.

Figura 59

Paraderos propuestos



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. En comparación con otros trabajos de investigación que abordan problemas de seguridad vial y transitabilidad en intersecciones complejas, los resultados obtenidos en el análisis del Óvalo Cusco coinciden con varias conclusiones comunes. Por ejemplo, en estudios similares realizados en otras ciudades con características viales densamente urbanizadas, se ha observado que los problemas de congestión y accidentes en intersecciones como los óvalos o rotondas son principalmente causados por un diseño geométrico deficiente y la falta de infraestructura adecuada para el transporte peatonal. Investigaciones en áreas urbanas como las de Bogotá (Colombia) y Lima (Perú) también han señalado que la inadecuada señalización y los radios de giro insuficientes son factores clave en la congestión vehicular y en el incremento de los accidentes. Estos resultados refuerzan la necesidad de una reforma estructural en el diseño vial del Óvalo Cusco, similar a lo que se ha recomendado en esos estudios.

5.2. Al comparar la composición del tráfico vehicular y peatonal con otros estudios similares, los datos obtenidos en el Óvalo Cusco también se alinean con investigaciones previas realizadas en zonas de alta densidad vehicular y peatonal. Estudios en ciudades como Buenos Aires (Argentina) y Quito (Ecuador) han documentado cómo el flujo simultáneo de vehículos y peatones en intersecciones no adecuadamente adaptadas conduce a riesgos elevados, especialmente cuando no se han implementado soluciones específicas como carriles exclusivos para el transporte público y pasos peatonales elevados. Este patrón de problemas es recurrente en ciudades en vías de desarrollo, donde las infraestructuras viales no siempre han sido diseñadas para satisfacer las demandas de tráfico actuales. En este sentido, las propuestas de mejorar la infraestructura peatonal y los carriles para transporte público se alinean con soluciones que han tenido éxito en otros contextos similares.

5.3. En cuanto a la medición del nivel de servicio, se observa que los resultados en el Óvalo Cusco son consistentes con otros estudios sobre intersecciones urbanas congestionadas. En investigaciones realizadas en zonas como Santiago de Chile y Ciudad de México, se ha comprobado que la falta de una regulación eficiente del flujo vehicular y peatonal, combinada con una infraestructura inadecuada, reduce significativamente el nivel de servicio. En estos estudios, se ha utilizado el modelo del Highway Capacity Manual 2010 para evaluar el rendimiento de las intersecciones, lo que coincide con el enfoque metodológico adoptado en este trabajo. Estos hallazgos sugieren que la mejora del nivel de servicio en el Óvalo Cusco requiere medidas de control del tráfico, como semáforos inteligentes y la reconfiguración de los carriles, que han demostrado ser efectivas en otras ciudades.

5.4. Las propuestas de mejora basadas en la evidencia obtenida en el Óvalo Cusco también encuentran respaldo en investigaciones previas realizadas en intersecciones críticas en otras ciudades. En trabajos similares, como los realizados en San Salvador (El Salvador) y Lima, se ha recomendado la reconfiguración geométrica de óvalos y rotondas para mejorar el flujo vehicular y reducir accidentes. Las propuestas de instalar semáforos inteligentes y mejorar la señalización se basan en experiencias exitosas de ciudades como Bogotá y Medellín, donde la implementación de estos sistemas ha optimizado el control del tráfico y reducido significativamente los tiempos de espera y la congestión.

5.5. Finalmente, en cuanto al monitoreo y evaluación continua, varios estudios similares en ciudades como Sao Paulo (Brasil) y Caracas (Venezuela) destacan la importancia de la retroalimentación constante para evaluar la efectividad de las intervenciones. El uso de tecnologías de monitoreo y análisis de datos en tiempo real ha demostrado ser crucial para hacer ajustes y mejorar las intervenciones en el tiempo. En este sentido, la recomendación de implementar un sistema de monitoreo en el Óvalo Cusco está en línea con las mejores prácticas observadas en otros estudios internacionales.

5.6. En resumen, los hallazgos del análisis del Óvalo Cusco se alinean con los resultados de investigaciones previas sobre problemas similares en intersecciones urbanas congestionadas. Las soluciones propuestas, como la reconfiguración geométrica, la mejora de la infraestructura peatonal y el uso de tecnologías inteligentes para el control del tráfico, han sido efectivas en contextos similares y podrían ser implementadas con éxito en esta zona para mejorar la seguridad vial y la transitabilidad.

VI. CONCLUSIONES

6.1. El análisis de las características geométricas y físicas del Óvalo Cusco reveló deficiencias en su diseño y estructura, como radios de giro insuficientes y señalización deficiente, que afectan negativamente el flujo vehicular y peatonal. Estas observaciones permitieron identificar áreas clave para la intervención y mejora.

6.2. El estudio de la composición del tráfico vehicular y peatonal demostró un alto volumen de vehículos particulares y transporte público, combinado con un flujo peatonal significativo en zonas críticas.

6.3. La evaluación del nivel de servicio vehicular y peatonal indicó que el Óvalo Cusco opera con un nivel de servicio bajo, es decir su tránsito como la seguridad de los usuarios, lo que refuerza la urgencia de implementar estrategias que optimicen la circulación y prioricen la seguridad vial.

6.4. La implementación de mejoras integrales en el Óvalo Cusco, como la reconfiguración geométrica, modernización de la señalización, infraestructura peatonal segura, optimización del transporte público y sistemas inteligentes de control del tráfico, permitirá incrementar significativamente la seguridad vial y la transitabilidad.

6.5. La implementación de medidas adecuadas basadas en el análisis geométrico, físico, y funcional del Óvalo Cusco ha permitido mejorar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad. Este logro se refleja en una circulación vehicular más fluida, una reducción de los riesgos de accidentes y una mayor comodidad para los peatones.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda realizar un rediseño geométrico del Óvalo Cusco considerando radios de giro adecuados, secciones viales normativas y la incorporación de islas canalizadoras que mejoren la maniobrabilidad vehicular y la seguridad peatonal.
- 7.2. Es conveniente implementar un plan integral de señalización vertical y horizontal, con énfasis en zonas de cruce peatonal y accesos al óvalo, reforzando la visibilidad y comprensión de las normas de tránsito.
- 7.3. Se sugiere establecer medidas de gestión de tránsito que regulen la interacción entre vehículos particulares, transporte público y peatones, priorizando el transporte masivo y el tránsito seguro de los usuarios vulnerables.
- 7.4. Es recomendable incorporar tecnologías de control de tráfico, como semaforización sincronizada e inteligencia artificial aplicada a la gestión vehicular, con el fin de optimizar el flujo en horas punta y reducir la congestión.
- 7.5. Se recomienda desarrollar un plan de mantenimiento periódico de la infraestructura vial y peatonal del óvalo, asegurando la sostenibilidad de las mejoras implementadas y garantizando una movilidad eficiente y segura en el tiempo.

VIII. REFERENCIAS

- Acero, N. (2021). *Análisis de la capacidad vial por efecto de paraderos en acera de los autobuses del sistema integrado de transporte público de Bogotá*. [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional ECIJG. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1831>
- Akcelik, R. (1981). *Traffic signals: Capacity and timing analysis*. Australian Road Research Board. <https://trid.trb.org/View/173392>
- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2018). *A policy on geometric design of highways and streets*. https://kankakeerecycling.com/wp-content/uploads/2023/04/THE_GREEN_BOOK_A_Policy_on_Geometric_Des.pdf
- Ancco, T. (2020). *Análisis y Evaluación de la Capacidad y del Nivel de Servicio de la Intersección Semaforizada Fermín Arbulú y Tacna de la ciudad de Puno aplicando las Metodologías HCM 2000 y Synchro 8*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio Institucional UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/items/586c7547-e196-4841-8822-f6fbc7a0a412>
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2013). *Infraestructura urbana y movilidad en América Latina*. <https://idbinvest.org/es/download/8742>
- Cal, R. y Cárdenas, J. (2019). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones* (9° ed.). Alfa Omega.
- Celis, J. (2022). *Análisis de la capacidad vial y necesidad de flujo en la avenida Participación del distrito de Belén – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. <https://repositorio.ucp.edu.pe/items/6af3ac8a-a268-4721-82de-e77f60b59cfl>
- Chuna, J. (2019). *Diseño de la infraestructura vial para mejorar la transitabilidad usando el*

- método AASHTO 93 en la Urbanización Santa Rosa Ventanilla-Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44498>
- Colchado, C. y Díaz, A. (2018). *Investigación de las condiciones de transitabilidad del camino vecinal Simbron - Farrat - Colpa - Sacha Grande, provincia de Gran Chimú - La Libertad*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/item/7b1b96c5-eb76-f7ab-e050-010a1c030756>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2002). *Panorama del transporte en América Latina y el Caribe en el 2001*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/36104-panorama-transporte-america-latina-caribe-2001>
- Cruz, C. y Melgarejo, G. (2020). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular del Camino Vecinal Recuay – Huancapampa – Ancash – 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48328>
- Decreto Supremo N.º 016-2009-MTC. Aprueban Texto Único Ordenado del Reglamento Nacional de Tránsito – Código de Tránsito. (21 de abril de 2009). <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/08/Texto-%C3%9Anico-Ordenado-del-Reglamento-Nacional-de-Tr%C3%A1nsito-DS-N%C2%BA-016-2009-MTC.pdf>
- Decreto Supremo N.º 017-2007-MTC. Aprueban Reglamento de Jerarquización Vial. (26 de mayo de 2007). <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10027-017-2007-mtc>

Decreto Supremo N.º 058-2003-MTC. Aprueban el Reglamento Nacional de Vehículos. (07 de octubre de 2003).

<https://portal.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/licencias/documentos/D.S.%20058-2003-MTC%20%20Reglamento%20Nacional%20de%20Veh%C3%ADculos.pdf>

Federal Highway Administration. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (6th ed.). U.S. Department of Transportation.
<https://highways.dot.gov/safety/pedestrian-bicyclist/safety-tools/417-policy-geometric-design-highways-and-streets-6th>

Gómez, C. y Larrota, B. (2020). *Transitabilidad de la vía terciaria en la vereda el Cucharal, municipio de Fusagasugá*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCC.
<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/99c8317b-4872-45a3-b37d-b1b65f9cafae>

Gómez, P. (2018). *Diseño y planificación de infraestructuras viales*. Editorial Universitaria.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education

Hoel, J. (2004). *Ingeniería de tránsito y carreteras*. (3º ed.). Universidad de Virginia-Thomson

Huamán, C. (2017). *Incidencia de actos y condiciones sub estándares en la generación de accidentes de tránsito en la Av. Circunvalación del Golf – Calle Orión, Lima 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional UPA.
<https://repositorio.upla.edu.pe/item/25fe07e1-5dc1-480c-862e-e0e20778bd9e>

Larrota, B y Gómez, C. (2020). *Transitabilidad de la vía terciaria en la vereda el Cucharal, municipio de Fusagasugá*. Universidad Católica de Colombia.

- Leiva, C. (2003). *Análisis de accidentes viales aplicando la ingeniería de tránsito*. [Tesis de pregrado, Universidad San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC. <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T6073.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). *Manual de puentes*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUAL%20DE%20PUENTES%20PDF.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2017). *Manual de seguridad vial*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2018). *Manual De Dispositivos De Control Del Transito Automotor Para Calles Y Carreteras*.
- Montoya, G. (2005). *Ingeniería de tránsito*. <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>
- Municipalidad Provincial de Tacna. (2015). *Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Tacna 2015–2025*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Plan%20de%20desarrollo%20urbano%20de%20la%20ciudad%20de%20Tacna%202015-2025.pdf>
- Naranjo, V. (2008). *Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unal.edu.co/items/ad84fcc8-f62a-4aff-80f3-1cde4f2801eb>
- National Association of City Transportation Officials [NACTO] (2013). *Urban street design guide*. Island Press. <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>

Norma GH 020 Componentes de Diseño Urbano DS N° 006-2011. Componentes de Diseño Urbano (24 de mayo de 2016).

<https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619672-norma-gh-020-componentes-de-diseno-urbano-ds-n-006-2011>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV] (2022). *Mapa de Calor y Puntos de Accidentes*. <https://www.onsv.gob.pe/>

Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV] (s.f.). *Controles para el diseño geométrico*.

Ocoró, M. (2014). *Análisis de capacidad y nivel de servicio del corredor vial Cali-Jamundí*.

[Tesis de pregrado, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional UDV.

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/a9dfbf0f-8dea-45a6-9b62-3c445ae255e5/content>

Ordenanza N° 341-2001-MML. Aprueban el Plano del Sistema Vial Metropolitano de Lima (09 de noviembre de 2001).

https://www.munichaclacayo.gob.pe/portals/pdf/GDU/LicenciaDeEdificacion/Ord-N%C2%B0%20341-2001-MML_Plano-del-Sistema-Vial-Metropolitano-de-Lima.pdf

Otero, L. (2015). *Alternativa de solución vial en la intersección de las Av. Cáceres y Av. Ramón*

Mugica, Piura. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional

UDEP. <https://pirhua.udep.edu.pe/item/30447f33-3749-480e-9b87-b2f02cbe8b47>

Ramos, M. (2019). *Evaluación de la capacidad vehicular y niveles de servicio en*

intersecciones semaforizadas del corredor vial prolongación Av. de la cultura en el

distrito de San Sebastián y propuesta de solución. [Tesis de pregrado, Universidad

Andina del Cuzco]. Repositorio Institucional UAC.

<https://repositorio.uandina.edu.pe/item/4ab919ac-8805-42c5-908a-0c936d98ca6a>

Resolución Directoral N° 03-2018-MTC/14. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 (30 de enero de 2018).

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_1%20DG-2018.pdf

Resolución Directoral N° 016-2016-MTC/14. Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras (31 de mayo de 2016).

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_6%20DCT-2016.pdf

Resolución Directoral N° 36-2016-MTC/14. Manual de Carreteras: Túneles, Muros y Obras Complementarias (27 de octubre de 2016).

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10382-036-2016-mtc-14>

Ríos, E. (2018). *Modelación del tránsito y propuesta de solución vial a la Av. Cáceres con Infracor y Synchro 8* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional UDEP. <https://pirhua.udep.edu.pe/item/67444a97-a9a8-4063-8b5a-243c11164441>

Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., Moule, M., Persaud, B., Lyon, C., Hallmark, S., Isebrands, H., Crown, R., Guichet, B. y O'Brien, A. (2010). *Roundabouts: An informational guide*. Transportation Research Board. <https://www.dot.state.al.us/publications/Design/pdf/TrafficSafetyOp/NCHRP672Roundabouts.pdf>

Serrano, R. (2018). *Movilidad Urbana y Espacio Público: Reflexiones, métodos y contextos*. Universidad Piloto de Colombia, 2018.

Transportation Research Board [TRB]. (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board. <https://www.jpautoceste.ba/wp-content/uploads/2022/05/Highway-Capacity-Manual-2010-PDFDrive-.pdf>

- Ubillús, C. (2019). *Análisis de la capacidad vehicular en la intersección Eloy Alfaro y Granados en la ciudad de Quito*. [Tesis de pregrado, Pontifica Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.
<https://repositorio.puce.edu.ec/items/f53481cd-2c47-400c-8fdb-cd26d2eba401>
- Universidad Piloto de Colombia [UPC] (2019). *Movilidad urbana y espacio público: Reflexiones, métodos y contextos*. Universidad Piloto de Colombia.
https://www.unipiloto.edu.co/descargas/LIB_Movilidad-Urbana-y-espacio-publico_17OCT.pdf
- Vasconcellos, E. (2014). *Movilidad Urbana: Desarrollo Sostenible e Inclusivo*.
- Vega, C. (2018). *Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.
<https://repositorio.unc.edu.pe/items/a2bef6ad-11e3-4c05-911a-603daf85b392>
- Vera, F. (2012). *Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima*. [Tesis de pregrado, Pontifica Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
<https://tesis.pucp.edu.pe/items/c448a69b-d7d1-4bce-b99f-911dffdad348>
- World Resources Institute. (s. f.). *Vision Zero Challenge*.
<https://www.wri.org/initiatives/vision-zero-challenge>

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz De Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Diseño metodológico
Problema general: ¿Cuál es el estado del tránsito vehicular y peatonal y de qué manera se puede mejorar la seguridad vial en el Óvalo Cusco, distrito de Tacna y Coronel Gregorio Albarracín? Problemas específicos: • ¿Cuáles son las características geométricas y físicas del Óvalo Cusco y de qué manera influyen en la transitabilidad y seguridad vial? • ¿Cuál es la composición de tráfico vehicular y peatonal en el Óvalo Cusco y de qué manera influye en la transitabilidad y seguridad vial? • ¿Cuál es el nivel de servicio vehicular y peatonal en el Óvalo Cusco y de qué manera influye en la transitabilidad y seguridad vial? • ¿Qué criterios técnicos se deben considerar para mejorar la seguridad vial en el Óvalo Cusco?	Objetivo general: Mejorar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad en el Óvalo Cusco, distrito de Tacna y Coronel Gregorio Albarracín. Objetivos específicos: • Determinar las características geométricas y físicas del Óvalo Cusco. • Determinar la composición del tráfico vehicular y peatonal. • Determinar el nivel de servicio vehicular y peatonal. • Proponer mejoras que permitan optimizar la seguridad vial y transitabilidad.	Hipótesis general: La implementación de mejoras geométricas, físicas y funcionales en el Óvalo Cusco permitirá optimizar las condiciones de seguridad vial y transitabilidad tanto vehicular como peatonal. Hipótesis específicas: • La identificación de las características geométricas y físicas del Óvalo Cusco permitirá detectar deficiencias de diseño que influyen en la transitabilidad y seguridad vial. • El análisis de la composición del tráfico vehicular y peatonal evidenciará una alta participación de transporte público y peatones en zonas críticas. • La evaluación del nivel de servicio vehicular y peatonal demostrará que el Óvalo Cusco opera con un nivel de servicio bajo. • La propuesta de intervenciones integrales en geometría, señalización e infraestructura contribuirá a mejorar significativamente la seguridad vial y	Variable independiente: Estudio de tránsito vehicular y peatonal.	Dimensión 1: Flujo vehicular Dimensión 2: Capacidad y nivel de servicio	- Volúmenes de tránsito - Composición vehicular - Factor de hora punta - Capacidad de la vía - Relación volumen/capacidad - Velocidad promedio de operación - Demora vehicular	Tipo de estudio: Aplicado. Área de estudio: Óvalo Cusco (Tacna y Coronel Gregorio Albarracín). Población y muestra: Óvalo Cusco como población unitaria; muestra conformada por vehículos y peatones en hora punta. Técnica: Observación estructurada + simulación. Instrumentos: Software VISSIM + ficha de observación.

transitabilidad.

Variable dependiente: Propuesta de mejoramiento vial.	Dimensión 3: Flujo peatonal	- Intensidad peatonal - Cruces conflictivos observados. - Tiempo de espera peatonal
	Dimensión 1: Infraestructura vial	- Estado físico de la infraestructura - Diseño geométrico de la vía
	Dimensión 2: Seguridad vial	- Señalización horizontal (presencia, estado, visibilidad). - Señalización vertical - Accesibilidad peatonal - Nivel de servicio proyectado
	Dimensión 3: Operación vial	- Medidas de control de tránsito aplicables
