

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES



**EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR PARA MEJORAR EL NIVEL
DE SERVICIO VEHICULAR DEL PARQUE ROTONDA DE AZAPA
MEDIANTE PROGRAMAS DE MODELACIÓN VIAL,
ARICA-CHILE, 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Roberts Hern Redsir Cuya Quispe

ORCID: 0000-0002-6346-8183

Asesor:

Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez

ORCID: 0000-0002-6766-7665

Para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN
TRANSPORTES

Tesis

**“EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR PARA MEJORAR EL NIVEL
DE SERVICIO VEHICULAR DEL PARQUE ROTONDA DE AZAPA
MEDIANTE PROGRAMAS DE MODELACIÓN VIAL,
ARICA-CHILE, 2025”**

Presentada por:

Bach. Roberts Hern Redsir Cuya Quispe

**Tesis sustentada y aprobada el 09 de Julio de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: Mtro. Rolando Gonzalo SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

SECRETARIO: Dr. Oscar Walther NOVOA CASTILLO

VOCAL: Dr. Martin PAUCARA ROJAS

ASESOR: Dr. Edgar Vidal HURTADO CHÁVEZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Roberts Hern Redsir Cuya Quispe, en calidad de: egresado de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Transportes de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado(a) con DNI N° 72605088

Soy autor de la tesis titulada:

“EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO VEHICULAR DEL PARQUE ROTONDA DE AZAPA MEDIANTE PROGRAMAS DE MODELACIÓN VIAL, ARICA-CHILE, 2025”, con asesor: Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN TRANSPORTES, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara **01% de similitud**, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha utilizado los formatos recomendados por el MTC, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 09 de Julio de 2026



Nombre y apellidos: Roberts Hern Redsir Cuya Quispe

DNI : 72605088

DEDICATORIA

A mis padres, que desde siempre sembraron en mí la disciplina del esfuerzo y la convicción de no rendirme cuando el camino se vuelve difícil.

A mi familia, por sostenerme con su apoyo constante y su afecto sincero, incluso en los días más exigentes.

A mis docentes y mentores, por su orientación rigurosa, su paciencia y la generosidad de compartir no solo conocimientos, sino también criterio y ejemplo.

A mis amigos, por acompañarme en este proceso con lealtad, ánimo y conversaciones que, sin darse cuenta, también formaron parte del aprendizaje.

Y a todos quienes confiaron en mí, especialmente cuando las dudas aparecieron, recordándome que la confianza a veces también se aprende a través de los demás.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta tesis. Aunque representa un esfuerzo personal sostenido, sería injusto considerarla únicamente como un logro individual; detrás de cada avance hubo apoyo, orientación y confianza de quienes estuvieron presentes en este proceso.

De manera especial, expreso mi profundo reconocimiento a mi asesor de tesis, el Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez, por su guía académica rigurosa, su paciencia y su compromiso con mi formación. Su acompañamiento no solo fortaleció el desarrollo intelectual de esta investigación, sino también mi crecimiento personal a lo largo del proceso.

Asimismo, agradezco a las instituciones y a las personas que facilitaron información, datos y recursos indispensables para el desarrollo del estudio. Sus aportes fueron determinantes para alcanzar los objetivos planteados.

A todos ellos, mi gratitud sincera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	2
EL PROBLEMA.....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema Principal	3
1.2.2. Problemas Secundarios	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.1. Justificación social.	5
1.3.2. Justificación práctica.	5
1.3.3. Justificación metodológica.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO REFERENCIAL	8
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	8
2.2. NORMATIVA VIGENTE	10
2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS	12
2.3.1. Flujo Vehicular.....	12
2.3.2. Volumen vehicular	14
2.3.3. Volumen horario equivalente.....	15
2.3.4. Flujo de saturación:	16

2.3.5.	Velocidad de desplazamientos	17
2.3.6.	Tiempo de demora por vehículo	18
2.3.7.	Velocidad promedio	19
2.3.8.	Grado de congestión.....	20
2.3.9.	Densidad vehicular	21
2.3.10.	Relación volumen/capacidad (grado de saturación)	21
2.3.11.	Nivel de Servicio.....	22
2.3.12.	Capacidad vial efectiva	23
2.3.13.	Capacidad vial estimada.....	24
2.3.14.	Retardos y tiempos de viaje	24
2.3.15.	Tiempos de demora promedio.....	25
2.3.16.	Condiciones de operación y confort.....	26
2.3.17.	Clasificación del nivel de servicio:	26
CAPÍTULO III	28	
METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO	28	
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA.....	28	
3.1.1.	Tipo de investigación	28
3.1.2.	Nivel de investigación.....	29
3.1.3.	Justificación del enfoque aplicado	29
3.2. DISEÑO DEL PROYECTO.....	30	
3.2.1.	Etapas del proyecto	30
3.2.2.	Herramientas y/o softwares utilizados	32
3.3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD.....	34	
3.3.1.	Análisis del volumen del tránsito vehicular	34
3.3.2.	Análisis de la capacidad vial	45
3.3.3.	Análisis de demoras y tiempos de viaje	47
3.3.4.	Análisis de condiciones de operación y confort.....	48
3.4. PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN.....	49	
3.4.1.	Cronograma de actividades	49
3.4.2.	Asignación de recursos	52
3.4.3.	Costos y financiamiento.....	53

CAPÍTULO IV.....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1. DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO	55
4.2. ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES	75
4.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS	77
4.4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN	79
4.5. EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	89
APÉNDICE	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado jueves 21/01/2026</i>	35
Tabla 2 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado jueves 21/01/2026</i>	36
Tabla 3 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado viernes 22/01/2026</i>	36
Tabla 4 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado viernes 22/01/2026</i>	37
Tabla 5 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado sábado 23/01/2026</i>	37
Tabla 6 <i>Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado sábado 23/01/2026</i>	38
Tabla 7 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, jueves 21/01/2026</i>	38
Tabla 8 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, jueves 21/01/2026</i>	39
Tabla 9 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, viernes 22/01/2026</i>	40
Tabla 10 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, viernes 22/01/2026</i>	40
Tabla 11 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, sábado 23/01/2026</i>	41
Tabla 12 <i>Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, sábado 23/01/2026</i>	42
Tabla 13 <i>Distribución del volumen vehicular clasificado por tipo y variación diaria</i>	42
Tabla 14 <i>Distribución horaria del flujo vehicular de jueves a sábado y representatividad de mayor volumen de tráfico el viernes</i>	44
Tabla 15 <i>Presupuesto estimado para la investigación.</i>	53

Tabla 16	<i>Aforo direccional en la Av. Diego Portales sentido E-W</i>	61
Tabla 17	<i>Aforo direccional en la Av. Senador Humberto Palza sentido W-E</i>	62
Tabla 18	<i>Aforo direccional en la Av. Capitán Ávalos sentido N-S.....</i>	63
Tabla 19	<i>Aforo direccional en la Av. Capitán Ávalos sentido S-N.....</i>	64
Tabla 20	<i>Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Diego Portales, en el sentido Este–Oeste</i>	65
Tabla 21	<i>Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Senador Humberto Palza, en el sentido Oeste-Este</i>	66
Tabla 22	<i>Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Capitán Ávalos, en el sentido Norte–Sur</i>	66
Tabla 23	<i>Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Capitán Ávalos, en el sentido Sur–Norte</i>	67
Tabla 24	<i>Comparación de la relación volumen/capacidad (v/c) por acceso: escenario actual vs propuesta</i>	70
Tabla 25	<i>Resumen global de desempeño de la rotonda: escenario actual vs propuesta</i>	70
Tabla 26	<i>Resumen global de desempeño de la rotonda: escenario actual vs propuesta</i>	74
Tabla 27	<i>Resumen comparativo de resultados de acuerdo con el desempeño operacional de la rotonda Azapa</i>	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Distribución del volumen vehicular clasificado por tipo y variación diaria</i>	43
Figura 2 <i>Distribución horaria del flujo vehicular de jueves a sábado y representatividad de mayor volumen de tráfico el viernes.....</i>	44
Figura 3 <i>Cronograma de actividades Óvalo Azapa.....</i>	52
Figura 4 <i>Configuración de carriles.....</i>	56
Figura 5 <i>Análisis de flujo vehicular de la rotonda Azapa para determinar el ICU</i>	57
Figura 6 <i>Análisis de flujo vehicular en el núcleo de la rotonda Azapa</i>	58
Figura 7 <i>Valor del ICU en la rotonda Azapa.....</i>	58
Figura 8 <i>Resultados de la microsimulación y nivel de servicio tras la implementación de carriles de giro exclusivo</i>	60
Figura 9 <i>Configuración de volumen vehicular</i>	68
Figura 10 <i>Resultado de factor de utilización reducida y relación v/c</i>	69
Figura 11 <i>Ampliación de la longitud de carriles exclusivos de giro a la derecha y su efecto en la operación vehicular de la rotonda</i>	72
Figura 12 <i>Microsimulación con Simtraffic generando condiciones de confort. 74</i>	
Figura 13 <i>Análisis de capacidad operativa post-intervención: Factor de utilización del 29.3%</i>	80
Figura 14 <i>Evaluación de la capacidad operativa post-intervención: Factor de utilización del 29.3%</i>	81

RESUMEN

El estudio se desarrolló en el contexto de la congestión vehicular presente en el Parque Rotonda de Azapa, en la ciudad de Arica, donde el incremento sostenido del flujo ha generado condiciones críticas de operación. El objetivo fue evaluar el comportamiento del tránsito para optimizar el nivel de servicio mediante herramientas de modelación vial. Se adoptó un enfoque cuantitativo de tipo aplicado, utilizando técnicas de observación directa y microsimulación para analizar la operación en horas de máxima demanda. Los resultados evidenciaron, en primer lugar, una condición de sobresaturación con niveles de servicio deficiente F; en segundo lugar, la insuficiencia de la geometría existente frente al crecimiento vehicular; y en tercer lugar, que la implementación de mejoras geométricas permitió una reducción significativa de los indicadores operacionales, destacando la disminución del índice crítico de utilización desde 115,9% valores superiores a la saturación hacia condiciones de baja demanda relativa igual a 29,3%, pasando de un nivel de servicio crítico F a uno estable A/C, así como la mejora de la relación volumen-capacidad hacia rangos propios de operación eficiente de 1,43 a 0,76. En consecuencia, se concluyó que la propuesta es técnica y operativamente viable, permitiendo la transición hacia condiciones de flujo más estables. Estos hallazgos aportan criterios para la toma de decisiones en planificación vial y refuerzan el uso de herramientas de simulación en el análisis del transporte urbano.

Palabras clave: flujo vehicular; nivel de servicio; microsimulación; capacidad vial; congestión urbana.

ABSTRACT

The study was conducted in the context of vehicular congestion at Parque Rotonda de Azapa, in the city of Arica, where the sustained increase in traffic flow has generated critical operating conditions. The objective was to evaluate traffic behavior in order to optimize the level of service through the use of traffic modeling tools. A quantitative, applied approach was adopted, using direct observation techniques and microsimulation to analyze operations during peak demand periods. The results revealed, first, a condition of oversaturation with deficient level of service F; second, the inadequacy of the existing geometry in response to traffic growth; and third, that the implementation of geometric improvements led to a significant reduction in operational indicators, highlighting the decrease in the critical utilization index from 115.9%, exceeding saturation levels, to conditions of low relative demand of 29.3%, transitioning from a critical level of service F to a stable A/C condition, as well as the improvement in the volume-to-capacity ratio from 1.43 to 0.76, reflecting efficient operating ranges. Consequently, it was concluded that the proposal is technically and operationally viable, enabling a transition toward more stable flow conditions. These findings provide criteria for decision-making in transportation planning and reinforce the use of simulation tools in urban traffic analysis.

Keywords: traffic flow; level of service; microsimulation; road capacity; urban congestion.

INTRODUCCIÓN

La creciente complejidad de la movilidad urbana en ciudades intermedias ha transformado las intersecciones viales en puntos críticos de congestión. En Arica, Chile, la Rotonda Azapa constituye un nodo neurálgico que articula el flujo vehicular hacia el valle y el acceso a la zona urbana; sin embargo, el incremento sostenido del parque automotor ha llevado a esta infraestructura a operar en condiciones de saturación que comprometen la eficiencia, la seguridad vial y la calidad de vida de los usuarios.

La presente investigación se estructura en cuatro capítulos fundamentales para abordar esta problemática. El Capítulo I establece el planteamiento del problema, la justificación del problema, objetivos, situando la necesidad de optimizar el flujo vehicular mediante herramientas de simulación avanzada. El Capítulo II desarrolla el marco referencial y los antecedentes, analizando los modelos de capacidad vial y los estándares internacionales de nivel de servicio. Por su parte, el Capítulo III describe la metodología y diseño del proyecto, evaluación técnica y factibilidad, planificación y ejecución. Finalmente, el Capítulo IV presenta los resultados y discusión, donde se evalúa el impacto de la reconfiguración geométrica propuesta, la viabilidad técnica y los beneficios de sostenibilidad obtenidos.

Esta tesis demuestra, a través de la microsimulación, que una intervención enfocada en la ampliación de carriles en los accesos de la Rotonda Azapa constituye una solución viable para mitigar el flujo forzado y los fenómenos de *spillback*. El estudio culmina con conclusiones que validan la transición del nivel de servicio hacia rangos de mayor estabilidad y recomendaciones estratégicas dirigidas a las autoridades viales y equipos técnicos para la ejecución y monitoreo de la mejora.

Con este trabajo se busca aportar evidencia técnica rigurosa que permita a las personas jurídicas y naturales involucradas en la gestión del transporte en Arica tomar decisiones basadas en datos, asegurando una infraestructura resiliente, eficiente y alineada con los estándares de movilidad urbana sostenible.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Parque Rotonda de Azapa, ubicado en la ciudad de Arica-Chile, enfrenta un creciente problema de congestión vehicular, que impacta negativamente el nivel de servicio en esta intersección clave para la movilidad urbana. El aumento del flujo vehicular, impulsado por el crecimiento poblacional y la expansión urbana, ha sobrecargado la capacidad de la infraestructura vial existente, resultando en largas colas, esperas prolongadas y menor eficiencia en el tránsito.

A nivel internacional, investigaciones como la de Shaaban et al. (2020) subrayan que el rendimiento de las rotondas modernas está intrínsecamente ligado no solo a la geometría, sino a la conducta agresiva o conservadora del conductor al aceptar brechas, un factor que los modelos estáticos suelen subestimar en contextos de saturación.

Este fenómeno ha generado importantes efectos negativos no solo en la calidad de vida de los habitantes, sino también en la economía local, debido a la disminución de la productividad de los habitantes y la ineficiencia en la logística. En el contexto nacional chileno, estudios sobre nodos críticos han demostrado que la falta de sincronización entre la planificación del uso de suelo y el diseño vial convierte a las rotondas en cuellos de botella inevitables; al respecto, Valenzuela y Matus (2021) señalan que, en ciudades intermedias de Chile, la resiliencia de la red vial depende de la capacidad de respuesta de los nodos principales ante variaciones estacionales de la demanda.

Según datos de estudios previos, el Parque Rotonda de Azapa es uno de los puntos más críticos de congestión en Arica, lo que resalta la necesidad urgente de adoptar medidas eficaces para optimizar el nivel de servicio. A nivel local, diagnósticos de movilidad urbana en la Región de Arica y Parinacota sugieren que la configuración actual de la Rotonda de Azapa ha quedado obsoleta frente a la composición del parque automotor actual, donde la alta presencia de vehículos de

carga pesada altera los tiempos de despeje y la capacidad de las entradas (Gobernación Regional de Arica, 2023).

En particular, la modelación vial y el uso de programas de simulación se presentan como soluciones potenciales. A nivel internacional, investigaciones como las de Paucara (2020) muestran que el principal problema es el flujo vehicular, cuya inadecuada gestión genera congestión, evidenciando que el uso de herramientas como Synchro, junto con el HCM 2010, permite evaluar con mayor precisión el comportamiento del tránsito. En el caso específico de las rotondas, su desempeño depende en gran medida de la geometría de acceso, la deflexión y el ángulo de entrada (Kalašová et al., 2024). Asimismo, la microsimulación permite analizar interacciones complejas y validar alternativas (Campi et al., 2024).

Estos estudios muestran que el flujo vehicular constituye un desafío recurrente tanto a nivel internacional como en contextos nacionales, y que la aplicación de herramientas de análisis, modelación y rediseño vial ha permitido mejorar de manera significativa el servicio vehicular. Esta evidencia respalda la necesidad de emplear programas de simulación y evaluación en el caso del Parque Rotonda de Azapa, donde la congestión actual afecta la fluidez y el nivel de servicio del tránsito urbano.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema Principal

¿Cómo se evalúa el flujo vehicular para mejorar el nivel de servicio vehicular, del Parque Rotonda de Azapa, mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025?

1.2.2. Problemas Secundarios

- a) ¿Cómo se estima el volumen de tránsito vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, Arica-Chile, 2025?
- b) ¿Cómo se evalúa el flujo vehicular para mejorar la capacidad vial efectiva en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025?
- c) ¿Cómo se evalúa el flujo vehicular para mejorar retardo y tiempos de

viaje en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025?

- d) ¿Cómo se evalúa el flujo vehicular para mejorar condiciones de operación y confort en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La congestión vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, en Arica, no constituye únicamente una dificultad operativa asociada al incremento del flujo vehicular, sino un problema estructural que afecta la dinámica urbana, la eficiencia del transporte y la calidad de vida de la población. El crecimiento sostenido de la demanda vehicular, sumado a limitaciones geométricas y operativas de la intersección, ha generado niveles de servicio que tienden a la saturación en horas punta. Al respecto, estudios recientes enfatizan que, en nodos críticos de ciudades costeras con alto flujo de carga, la saturación no es solo un evento temporal, sino una consecuencia de la degradación del Nivel de Servicio (LOS) debido a la interacción de flujos heterogéneos (Brishely y Luna, 2022). Esto evidencia la necesidad de una evaluación técnica rigurosa que permita comprender el fenómeno más allá de la percepción cotidiana de congestión.

En este contexto, la modelación vial basada en los criterios del Highway Capacity Manual se presenta como una herramienta metodológicamente sólida para diagnosticar, simular y comparar alternativas de mejora bajo parámetros objetivos de capacidad, demora y desempeño operacional. Como sostienen Bhuyan y Nayak (2013), la aplicación del HCM permite normalizar las variables de flujo mediante el factor de hora punta (PHF), garantizando que las intervenciones propuestas sean resilientes ante las fluctuaciones de la demanda urbana. Justificar el problema implica, por tanto, reconocer que no se trata solo de reducir tiempos de viaje, sino de sustentar técnicamente decisiones de intervención que impacten en la movilidad sostenible, la seguridad vial y la planificación urbana de manera integral.

1.3.1. Justificación social.

El problema de congestión vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, en la ciudad de Arica, no es únicamente un asunto técnico de capacidad vial; es, en esencia, un problema urbano con implicancias sociales directas. Las demoras prolongadas, el incremento de colas y la inestabilidad operativa afectan la calidad de vida de los usuarios, elevan los niveles de estrés, reducen la productividad diaria y deterioran el entorno urbano inmediato. En un nodo estratégico de conectividad, estos efectos se amplifican, impactando tanto a residentes como a actividades comerciales y de transporte público. Desde la perspectiva de desarrollo sostenible, la investigación se vincula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), que promueve sistemas de transporte seguros, accesibles y sostenibles; el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), que impulsa infraestructura resiliente y eficiente; y el ODS 13 (Acción por el Clima), considerando que la reducción de congestión contribuye a disminuir emisiones asociadas al ralentí y a los ciclos de aceleración–frenado (Ceplan, 2020). En ese sentido, optimizar el nivel de servicio (LOS) mediante herramientas de modelación vial no solo mejora indicadores operativos (demora, v/c, colas), sino que contribuye a una movilidad urbana más equitativa y ambientalmente responsable. Una intersección que funciona mejor reduce tiempos improductivos, mejora la seguridad vial y fortalece la competitividad local. No es exagerado decir que pequeñas mejoras en nodos críticos pueden tener efectos acumulativos relevantes en la estructura urbana.

1.3.2. Justificación práctica.

En el plano práctico, la investigación responde a una necesidad concreta de gestión urbana. La Rotonda de Azapa constituye un punto crítico de circulación que presenta condiciones de saturación en horas punta, con impactos en tiempos de viaje, seguridad y eficiencia logística. El uso de programas de modelación vial permite anticipar el desempeño de alternativas de rediseño (canalización, flare, ajustes geométricos o incluso una configuración tipo turbo) sin necesidad de intervenir físicamente el entorno en una primera etapa. Esto reduce riesgos técnicos

y financieros, ya que las decisiones de inversión pueden basarse en simulaciones validadas y análisis comparativos con intervalos de confianza. En otras palabras, se minimiza la improvisación en la toma de decisiones públicas.

Asimismo, El estudio no se queda solo en lo teórico y eso se agradece, sino que aterriza en productos técnicos bastante concretos. Por un lado, plantea parámetros locales de operación ya calibrados, algo clave si se quiere evitar copiar modelos que no encajan del todo. Además, incorpora tablas comparativas del nivel de servicio (LOS) por cada aproximación, lo que permite una lectura más fina del desempeño. También incluye una evaluación preliminar de factibilidad técnica, institucional y económica, que, siendo honesto, suele ser donde muchos trabajos se quedan cortos. Y, finalmente, propone lineamientos de implementación alineados con la normativa chilena vigente, lo que le da cierta viabilidad práctica y no lo deja como un ejercicio puramente académico. En términos prácticos, la investigación no se queda en el diagnóstico; propone alternativas evaluadas bajo criterios objetivos de desempeño ($LOS \geq D$, $v/c < 0,85$ y colas dentro del almacenamiento disponible). Esto la convierte en una herramienta útil para la planificación municipal y regional.

En síntesis, la justificación del problema trasciende el análisis operativo de una intersección: aborda un desafío urbano con impacto social, aporta rigor metodológico al uso de modelación vial en contextos locales y ofrece soluciones prácticas orientadas a mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del sistema de transporte en Arica.

1.3.3. Justificación metodológica.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación fortalece el enfoque cuantitativo en el análisis de intersecciones urbanas al integrar de manera sistemática herramientas reconocidas internacionalmente, como el Highway Capacity Manual, implementadas mediante software especializado como SYNCHRO v12. Su relevancia se sostiene, creo, en tres ideas bastante claras: la estandarización del diagnóstico a partir de métricas formalmente aceptadas (retardo de control, capacidad, relación v/c , densidad y colas); la calibración local de parámetros críticos, como el hueco crítico (t^c) y el tiempo de seguimiento (t^f)

evitando usar valores externos sin cuestionarlos; y la comparación estructurada entre escenarios base y alternativas bajo un diseño cuasi-experimental que permite evaluar con cierto rigor los efectos de cada intervención (Highway Capacity Manual 7, 2022). Además, el estudio deja algo útil: un procedimiento replicable para intersecciones similares en Chile o en ciudades intermedias latinoamericanas. Al final, no solo aplica modelos existentes, sino que los ajusta y valida en un contexto específico, lo que, la verdad, termina reforzando la validez externa de los resultados.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el flujo vehicular para mejorar el nivel de servicio vehicular, del Parque Rotonda de Azapa, mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Estimar el volumen de tránsito vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, Arica-Chile, 2025.
- b) Evaluar el flujo vehicular para mejorar la capacidad vial efectiva en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025.
- c) Evaluar el flujo vehicular para mejorar retardo y tiempos de viaje en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025.
- d) Evaluar el flujo vehicular para mejorar condiciones de operación y confort en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Antecedentes internacionales

Liang et al. (2024) en su artículo A Three-Stage Cellular Automata Model of Complex Large Roundabout Traffic Flow, with a Flow-Efficiency- and Safety-Enhancing Strategy, analiza el comportamiento del flujo vehicular en rotondas de gran escala en China, utilizando un modelo de autómatas celulares. Concluye que la implementación de estrategias de optimización mejora la eficiencia del flujo y la seguridad en las intersecciones. Proporciona evidencia reciente sobre el impacto de la geometría vial en el comportamiento del tráfico en grandes rotondas.

Lloor (2021) en su artículo Análisis del nivel de servicio en la intersección urbana: Estudio de caso de una ciudad intermedia de Ecuador, analiza el desempeño de las intersecciones urbanas con alto flujo vehicular en ciudades intermedias, utilizando el método de simulación HCM 2016. Concluye que la optimización de los ciclos semafóricos mejora el nivel de servicio (LOS) y reduce las demoras en un 20%. Este estudio aporta evidencia nacional sobre la importancia de aplicar herramientas técnicas para mejorar el flujo vehicular en ciudades latinoamericanas.

Villavicencio y Delgado, (2023) en su artículo Análisis del nivel de servicio en intersección semaforizada, evalúa el desempeño operativo de intersecciones semaforizadas en áreas urbanas de Colombia. Utilizando aforos manuales y el método HCM, concluye que la mejora en la sincronización de luces y la redistribución de los flujos vehiculares reduce el tiempo de espera promedio en un 18%. Proporciona evidencia relevante de cómo las intervenciones en la infraestructura vial pueden mejorar el flujo de tráfico y el nivel de servicio en ciudades de América Latina.

Antecedentes nacionales

Fuenzalida y Heinrich (2025) en el artículo titulado Gestión de infraestructura por niveles de servicios en concesiones viales en Chile, profundiza en la aplicación del

concepto de nivel de servicio (LOS) como criterio de mantenimiento y control de concesiones viales. Es una de las pocas fuentes chilenas que usa este indicador como herramienta de evaluación del desempeño vial. Concluye en evidenciar que el Nivel de Servicio puede adaptarse también a vías urbanas, reforzando la validez técnica del indicador aplicado en tu tesis al entorno del Parque Rotonda de Azapa.

Núñez y Villalobos (2024) en su tesis de magíster, Evaluación de la congestión vehicular en el eje Américo Vespucio – La Florida mediante microsimulación, emplea un enfoque cuantitativo con VISSIM para modelar la congestión urbana. Concluyen que cambios de fase semafórica mejoran el flujo un 18 % y elevan el nivel de servicio. Su importancia radica en ser un estudio chileno de posgrado con validación empírica.

Morales y Carrasco (2021) en revista obras proyectos, universidad del bio bio en su publicación. En su artículo evaluación del desempeño operativo de intersecciones urbanas bajo alta demanda vehicular, analiza el nivel de servicio en intersecciones urbanas con flujos sobrecargados, utilizando el método del HCM 2016. Concluye que el rediseño geométrico y la optimización de fases reducen hasta 25 % la demora promedio. Proporciona evidencia nacional reciente sobre la importancia del análisis de capacidad y (LOS) en entornos urbanos similares a Arica

Antecedentes locales

Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. (2022). Manual de Carreteras, Vol. 7: Mantenimiento Vial (ed. 2022). Actualiza lineamientos de conservación y operación; referencia obligatoria para intervenciones viales. Concluye que cualquier propuesta en Azapa cumpla estándares nacionales de operación/seguridad.

Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte SOCHITRAN.(2024). Comenta la Revista arbitrada chilena con casos y métodos de operación urbana, SIDRA/Synchro/Aimsun. Donde concluye que la fuente reciente para citas metodológicas nacionales y comparación con evidencia local 2024.

Ilustre Municipalidad de Arica. (2022). Planes y Políticas Comunes: PLADECO (2020–2030) y Plan Regulador Comunal. Comenta que el Marco local

de desarrollo urbano y vialidad; contiene líneas de acción que afectan el área Azapa. Asimismo, concluye y Aporta coherencia plan–proyecto, clave para justificar la prioridad de intervención en la rotonda.

2.2. NORMATIVA VIGENTE

Normatividad internacional

- a. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). Highway Capacity Manual (7th ed.): A guide for multimodal mobility analysis. National Academies Press. Es la base para capacidad, demora y LOS en rotondas con “ceda el paso” e intersecciones; úsalo para todos tus cálculos y reportes comparables (Synchro/HCS/VISSIM).
- b. Federal Highway Administration / TRB. (2010). NCHRP Report 672: Roundabouts—An Informational Guide (2nd ed.). Guía integral de planificación, diseño geométrico, operación, señalización y seguridad de rotondas; sirve para justificar canalizaciones, radios, deflexiones y prioridades en tus escenarios (incluida opción turbo).
- c. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (7th ed.). AASHTO. El “Green Book” fija parámetros geométricos (visibilidad, radios, peraltes, pendientes). Úsalo como chequeo geométrico de las alternativas de acceso/salida de la rotonda.
- d. Federal Highway Administration. (2023). Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD, 11th ed.). Estándar de dispositivos de control (señales y marcas) a nivel internacional; te sirve como referencia comparativa para coherencia con la señalización chilena (tu norma obligatoria sigue siendo CONASET).
- e. International Organization for Standardization. (2012; Amd. 1: 2024). ISO 39001: Road traffic safety (RTS) management systems—Requirements with guidance for use. Marco de gestión de seguridad vial; úsalo para incluir auditoría/indicadores de seguridad junto al análisis operativo (LOS), y alinear tu propuesta con buenas prácticas de seguridad.

- f. World Road Association (PIARC). (2025). Road Safety Manual (4.^a ed., en línea). Aplica el enfoque Safe System y CMF para justificar medidas de seguridad (islas, control de velocidad, guías de carril); útil para tu matriz de mitigaciones.
- g. Federal Highway Administration. (2025). Roundabouts – Proven Safety Countermeasure. Respaldo institucional: las rotondas reducen choques graves y mejoran desempeño. Úsalo en la justificación de alternativa de rediseño (p. ej., turbo o mejoras de canalización).

Normatividad nacional

- a. Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Vialidad. (2018). Manual de Carreteras, Volumen 3: Instrucciones y Criterios de Diseño. Norma chilena de diseño geométrico (intersecciones/rotondas, radios, visibilidad, carriles de entrada/salida). Úsalo para dimensionar entradas, islas, deflexiones en Azapa.
- b. MOP, Dirección de Vialidad. (2022). Manual de Carreteras, Volumen 7: Mantenimiento Vial (ed. 2022). Criterios de operación y condición de servicio; asegura que las mejoras geométricas sean operables y mantenibles a nivel comunal/regional.
- c. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones – CONASET. (2020). Manual de Señalización de Tránsito. Obligatorio para señales, demarcaciones y “ceda el paso” en accesos a rotondas; define la canalización y prioridades que aplicarás en el rediseño.
- d. CONASET. (2001/2003). Guía para realizar una Auditoría de Seguridad Vial (ASV). Procedimiento para auditoría de seguridad en proyectos viales (listas de chequeo, etapas); úsalo para evaluar si la propuesta reduce riesgos además de mejorar el LOS.
- e. Ley N° 18.290 de Tránsito. Biblioteca del Congreso Nacional. Marco legal de circulación y control del tránsito. Cítala al justificar prioridades, velocidades y fiscalización asociadas a tu intervención.
- f. MINVU – D.S. N.º 47/1992. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) (actualizada 2025). Reglamenta estándares técnicos

urbanísticos y procedimientos; verifica compatibilidad urbana y exigencias que condicionan obras en el entorno de la rotonda.

- g. MINVU – D.F.L. N.º 458/1976. Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) (actualizada 2025). Base legal urbanística; define competencias, permisos y exigencias. Útil para el encaje regulatorio de la intervención en el PRC y DOM.
- h. SECTRA / Ministerio de Desarrollo Social (SNI). (2022). Instructivo metodológico para la incorporación de emisiones en proyectos de transporte vial urbano. Integra emisiones (CO₂ y otros) a la evaluación social; te permite comparar escenarios (rotonda actual vs. rediseño) con criterio ambiental.
- i. SECTRA – MTT. (s. f.). Plan Maestro de Transporte Público de Arica (PMTP Arica). Marco de planificación local; alinea tu propuesta con metas y jerarquía de la red de Arica para consistencia de proyecto-ciudad.
- j. Ilustre Municipalidad de Arica. (2022). Plan Regulador Comunal (PRC) – Ordenanza Local. Define usos de suelo, jerarquía vial y anchos en el área; revisa restricciones y condiciones locales que afectan el diseño en el Parque Rotonda de Azapa.

2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

2.3.1. Flujo Vehicular

El flujo vehicular no debe entenderse únicamente como la cantidad de vehículos que atraviesan una sección vial en un intervalo de tiempo, sino como la manifestación dinámica de la interacción entre demanda, capacidad y restricciones geométrico-operacionales del sistema. Desde la teoría macroscópica del tránsito, Roess et al. (2019) sostienen que el comportamiento del flujo se interpreta a partir de la relación funcional entre caudal, velocidad y densidad, expresada en el diagrama fundamental $q=k \cdot v$, donde pequeñas variaciones en la densidad pueden desencadenar cambios no lineales en la velocidad y, por consiguiente, en la estabilidad operativa. Sin embargo, asumir que esta relación es universal y lineal en todos los contextos resulta metodológicamente limitado, ya que en intersecciones circulares la interacción no depende solo del volumen circulante, sino también de

la aceptación de brechas, la fricción lateral y la prioridad de ingreso, elementos que alteran el patrón clásico de flujo continuo.

En ese sentido, diversos autores coinciden en que la sola medición del caudal vehicular bruto no representa con fidelidad la demanda real cuando existe heterogeneidad en la composición del tránsito. Garber y Hoel (2021) argumentan que la presencia de vehículos pesados modifica los tiempos de aceleración, la longitud de ocupación y la capacidad de disipación de colas, generando una reducción efectiva de la capacidad que no puede ser advertida si todos los vehículos se contabilizan como unidades homogéneas. Bajo esta premisa, la conversión a unidades equivalentes de automóvil mediante factores de equivalencia vehicular y el ajuste por factor de hora punta no constituyen simples correcciones estadísticas, sino una reinterpretación funcional de la demanda, en la que el flujo deja de ser un conteo absoluto y pasa a convertirse en una medida de presión operativa sobre la infraestructura.

No obstante, la literatura reciente advierte que incluso el flujo equivalente pierde capacidad explicativa si se analiza de forma aislada de la geometría y del comportamiento conflictivo de los accesos. Bhuyan y Nayak (2013) sostienen que en intersecciones urbanas la eficiencia del tránsito no depende exclusivamente del volumen que llega al nodo, sino de cómo ese volumen interactúa con la configuración física, el número de carriles, los radios de entrada y la longitud de almacenamiento disponible. Esto implica que dos accesos con igual caudal equivalente pueden presentar desempeños operacionales radicalmente distintos si sus condiciones geométricas no ofrecen la misma capacidad de absorción. Desde esta perspectiva, el flujo vehicular adquiere un carácter sistémico: no es únicamente una variable de entrada, sino el detonante que evidencia las limitaciones estructurales de la intersección.

Por ello, en investigaciones orientadas a la optimización del nivel de servicio, el flujo vehicular debe ser abordado como una variable integradora que articula volumen, composición, velocidad y grado de congestión. Su tratamiento teórico no se agota en cuantificar vehículos por hora, sino en comprender cómo la demanda transformada en unidades equivalentes interactúa con la capacidad disponible para

producir fenómenos de saturación, demoras y pérdida de confort operacional. Esta visión supera el enfoque meramente descriptivo y permite fundamentar el uso de modelos de simulación vial, donde el flujo vehicular constituye el insumo central para proyectar escenarios de mejora y evaluar la respuesta del sistema ante modificaciones geométricas u operativas (National Academies of Sciences, 2022).

2.3.2. Volumen vehicular

El volumen vehicular representa la magnitud de la demanda que incide sobre una sección vial o intersección durante el periodo de análisis; sin embargo, su interpretación no puede reducirse a un simple conteo de vehículos por hora. Desde la ingeniería de tránsito, Roess et al. (2019) sostienen que el volumen bruto pierde capacidad explicativa cuando la corriente vehicular presenta heterogeneidad en tamaño, desempeño mecánico y tiempos de ocupación espacial, debido a que no todos los vehículos ejercen la misma presión sobre la infraestructura. Bajo esta consideración, la transformación del caudal a unidades equivalentes de automóvil mediante el factor de hora punta y los factores de equivalencia para vehículos pesados constituye una necesidad metodológica orientada a expresar la demanda en términos funcionales y no meramente cuantitativos.

Esta homogeneización implica reconocer que la congestión no depende exclusivamente del número de vehículos que llegan al nodo, sino del efecto combinado que produce su composición sobre la capacidad de maniobra, la aceptación de brechas y la disipación de colas. Garber y Hoel (2021) señalan que la presencia de buses y camiones incrementa los tiempos de aceleración y desaceleración, ocupa mayores longitudes efectivas y reduce la velocidad de recuperación del flujo, alterando sensiblemente la operación en accesos conflictivos. Por ello, mantener un conteo vehicular sin equivalencias conduciría a subestimar la demanda real y, en consecuencia, a sobreestimar la eficiencia de la intersección.

Desde una perspectiva aplicada, el volumen vehicular equivalente constituye el insumo principal para la determinación de la capacidad vial, la relación volumen/capacidad y las demoras promedio, ya que permite modelar con mayor

fidelidad el comportamiento operativo del tránsito. En entornos de microsimulación, este parámetro no funciona solo como dato de ingreso al software, sino como representación cuantificada de la presión que el sistema debe absorber bajo condiciones reales de mezcla vehicular. En tal sentido, la correcta estimación del volumen equivalente no es un procedimiento accesorio, sino una condición indispensable para garantizar la validez analítica de los escenarios de simulación y de las propuestas de optimización derivadas del estudio.

2.3.3. Volumen horario equivalente

El volumen horario equivalente constituye una representación funcional de la demanda vehicular durante la hora de análisis, expresada en unidades equivalentes de automóvil con el propósito de corregir la distorsión que produce la heterogeneidad del tránsito. Su importancia teórica radica en que la corriente vehicular urbana no está compuesta por unidades homogéneas, sino por una combinación de automóviles, buses, camiones y motocicletas cuyas diferencias de aceleración, longitud efectiva y ocupación espacial alteran de manera desigual la capacidad de la infraestructura. En este sentido, Mannering y Washburn (2020) sostienen que el conteo bruto por sí solo resulta insuficiente para representar la presión real ejercida sobre una intersección, debido a que un mismo número de vehículos puede generar demandas operacionales distintas según su composición y su distribución temporal dentro de la hora pico.

Bajo esta premisa, la aplicación del factor de hora punta y del ajuste por vehículos pesados no debe entenderse únicamente como una conversión matemática, sino como un proceso de depuración analítica que transforma un flujo heterogéneo en una magnitud comparable y operacionalmente interpretable. El factor de hora punta permite identificar el grado de concentración intrahoraria de la demanda, evidenciando si el flujo se distribuye uniformemente o si se intensifica en intervalos cortos que incrementan la posibilidad de saturación momentánea. Paralelamente, el ajuste por vehículos pesados incorpora el efecto que estos generan sobre la capacidad de maniobra, la disipación de colas y los tiempos de recuperación del

flujo. Por ello, el volumen horario equivalente no representa solo cuántos vehículos circulan, sino cuánta exigencia funcional impone esa circulación sobre el nodo vial. Desde una perspectiva operativa, esta variable adquiere centralidad porque constituye el parámetro base para el cálculo de la relación volumen/capacidad, las demoras promedio y la estimación del nivel de servicio conforme a los procedimientos del Highway Capacity Manual. No obstante, su valor trasciende el análisis estático, ya que en modelos de microsimulación el volumen horario equivalente se convierte en el insumo que condiciona la generación, distribución e interacción de trayectorias vehiculares dentro del sistema. En consecuencia, la validez de cualquier escenario simulado depende de que dicha demanda haya sido previamente homogeneizada con rigor metodológico, puesto que una representación deficiente del flujo inicial conduciría a interpretaciones erróneas sobre la capacidad real y la efectividad de las propuestas de mejora.

2.3.4. Flujo de saturación:

En intersecciones tipo rotonda, la capacidad vial efectiva no puede interpretarse como un valor estático asociado únicamente al ancho de la calzada, sino como el resultado de una interacción compleja entre demanda circulante, condiciones geométricas y comportamiento de cedencia en los accesos. A diferencia de una intersección convencional canalizada o semaforizada, donde la capacidad suele estar regulada por fases de control relativamente predecibles, en las rotondas el ingreso de vehículos depende de la disponibilidad y aceptación de brechas en el flujo circulante. En este contexto, la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022) señala que la capacidad de entrada por aproximación está condicionada por el hueco crítico y el tiempo de seguimiento, parámetros que reflejan la disposición del conductor para incorporarse al anillo y la rapidez con que los vehículos consecutivos aprovechan una brecha disponible.

No obstante, reducir la capacidad de entrada únicamente a variables de comportamiento conduciría a una lectura incompleta del fenómeno, ya que la literatura contemporánea ha demostrado que la geometría del acceso modifica sustancialmente la eficiencia con la que dichas brechas son utilizadas. Elementos

como el ancho de entrada, la presencia de flare, la longitud de almacenamiento y la deflexión de trayectoria alteran la velocidad de aproximación, la alineación de maniobras y la facilidad de incorporación al flujo circulante. Esto implica que la capacidad no es una propiedad inherente e inmutable de la rotonda, sino una respuesta funcional de la infraestructura frente a una determinada configuración geométrica y un determinado patrón de demanda. En consecuencia, dos rotondas con volúmenes similares pueden exhibir desempeños muy distintos si la calidad geométrica de sus accesos no ofrece iguales condiciones de absorción vehicular.

Desde una perspectiva metodológica, esta sensibilidad geométrica exige superar el uso de capacidades teóricas genéricas y avanzar hacia procesos de calibración local antes de establecer comparaciones de nivel de servicio o proyectar escenarios de mejora. La razón es sencilla, aunque a veces se subestima: utilizar valores normativos sin contrastarlos con las condiciones reales del nodo puede generar una falsa percepción de suficiencia o de déficit operacional. Por ello, la capacidad vial efectiva en rotondas debe asumirse como un indicador dinámico, expresado en vehículos por hora o unidades equivalentes de automóvil por hora, cuya estimación solo adquiere validez cuando integra simultáneamente variables de flujo circulante, comportamiento de cedencia y restricciones geométricas del acceso. Esta comprensión resulta esencial para fundamentar técnicamente cualquier propuesta de optimización vial basada en modelación y microsimulación.

2.3.5. Velocidad de desplazamientos

La velocidad de desplazamiento constituye uno de los indicadores más sensibles para interpretar el desempeño funcional del tránsito, debido a que refleja de manera inmediata la capacidad del sistema para mantener continuidad en la circulación. Aunque en términos simples puede entenderse como la tasa de recorrido de los vehículos en un tramo o acceso, su valor analítico no reside únicamente en medir cuán rápido se movilizan, sino en evidenciar el grado de interferencia que enfrentan durante su trayecto. En entornos urbanos, donde las condiciones de circulación están influenciadas por detenciones, desaceleraciones, cambios de carril y formación de colas, la velocidad deja de ser una magnitud puramente cinemática y

pasa a convertirse en una manifestación directa del nivel de fricción operacional existente en la infraestructura vial.

La National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022) sostiene que, para fines de análisis de capacidad y nivel de servicio, la velocidad media espacial ofrece una representación más realista que la velocidad media temporal, debido a que incorpora el tiempo efectivamente consumido por los vehículos en recorrer una distancia determinada, incluyendo periodos de ralentización o detención. Esta distinción no es menor: mientras la media temporal puede sobreestimar el desempeño al privilegiar vehículos en movimiento, la media espacial permite capturar la experiencia operativa total del flujo y, por tanto, diagnosticar con mayor precisión la pérdida de continuidad vehicular. En otras palabras, una reducción sostenida de la velocidad espacial no solo indica menor rapidez, sino un incremento de la resistencia interna del sistema frente a la demanda circulante.

Su relevancia teórica se amplía al integrarse con el caudal vehicular dentro del diagrama fundamental del tránsito, donde la relación entre flujo, velocidad y densidad permite identificar la transición entre estados de operación fluida y condiciones de congestión. Cuando el volumen vehicular aumenta sin una capacidad equivalente de absorción, la velocidad tiende a disminuir y la densidad se incrementa, generando un deterioro progresivo de la estabilidad del flujo. Bajo esta lógica, la velocidad de desplazamiento no debe ser interpretada como un indicador aislado, sino como una variable de síntesis que conecta el comportamiento individual de los vehículos con la respuesta colectiva del sistema vial. Su medición resulta, por tanto, indispensable para diagnosticar la eficiencia operativa de una intersección y para valorar el efecto real de las intervenciones geométricas propuestas en los escenarios de microsimulación.

2.3.6. Tiempo de demora por vehículo

La demora de control es uno de los indicadores más representativos del desempeño operacional de una intersección, ya que expresa el tiempo adicional que

experimenta un vehículo debido a procesos de desaceleración, espera, detención, cedencia y reaceleración durante su paso por el nodo vial. Más que una simple pérdida temporal, este indicador refleja el grado de fricción que existe entre la demanda vehicular y la capacidad funcional de la infraestructura. En tal sentido, la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022) la reconoce como la métrica principal para evaluar intersecciones no semaforizadas y rotondas, debido a que resume en una sola variable el efecto combinado de la geometría, la disponibilidad de brechas y la conflictividad de movimientos.

Su importancia radica en que permite diagnosticar la eficiencia real del tránsito y medir con alta sensibilidad el impacto de las propuestas de mejora. Shetty (2024) señala que en rotondas urbanas pequeñas restricciones geométricas pueden generar incrementos significativos en los tiempos de espera, aun cuando el volumen vehicular no varíe sustancialmente. Por ello, la demora debe analizarse por movimientos, accesos y de manera global, complementando su estimación con observaciones de campo o microsimulación calibrada, a fin de garantizar una representación confiable del comportamiento vehicular y del nivel de servicio de la intersección.

2.3.7. Velocidad promedio

La velocidad media espacial constituye la medida más apropiada para describir el comportamiento operativo del tránsito en entornos urbanos, debido a que relaciona la distancia recorrida con el tiempo total empleado por los vehículos, incorporando de manera implícita las desaceleraciones, detenciones y permanencias en cola. A diferencia de la velocidad media temporal, que registra únicamente la rapidez instantánea de los vehículos en movimiento, esta permite representar con mayor fidelidad la experiencia real de circulación bajo condiciones de interferencia. Según la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022), su uso es fundamental en estudios de intersecciones y corredores urbanos porque refleja el grado de continuidad o interrupción del flujo vehicular.

Asimismo, la velocidad media espacial adquiere relevancia analítica al combinarse con el caudal vehicular para estimar la densidad del tránsito, permitiendo

diagnosticar el nivel de congestión y la estabilidad operativa del sistema mediante la relación entre flujo, velocidad y ocupación vial. Una disminución de este indicador suele evidenciar mayor fricción vehicular y pérdida de eficiencia en el desplazamiento. Por ello, se recomienda su medición mediante técnicas de seguimiento como placa a placa, dispositivos GPS o análisis de video-trazas, las cuales permiten obtener registros más precisos del tiempo efectivo de recorrido en la intersección estudiada.

2.3.8. Grado de congestión

El grado de congestión expresa el nivel de aproximación de la demanda vehicular respecto a la capacidad disponible de la infraestructura, así como el grado de compactación que presenta el flujo dentro de la intersección. Su interpretación se sustenta principalmente en dos indicadores complementarios: la densidad vehicular y la relación volumen/capacidad. La densidad, derivada de la interacción entre flujo, velocidad y ocupación vial, permite identificar cuántos vehículos se concentran en una determinada longitud de carril; mientras que la relación volumen/capacidad muestra qué tan exigido se encuentra el sistema frente a la demanda que debe absorber. En conjunto, ambos parámetros permiten reconocer el estado operativo del nodo vial y anticipar el tránsito desde condiciones fluidas hacia escenarios de saturación.

Desde una perspectiva funcional, cuando la densidad vehicular se incrementa y la relación volumen/capacidad se aproxima o supera la unidad, el sistema comienza a perder estabilidad, generándose colas persistentes, mayores tiempos de espera y reducción de la velocidad de circulación. Esto significa que la congestión no debe analizarse únicamente como acumulación de vehículos, sino como una condición progresiva de deterioro del desempeño operacional. Por ello, estos indicadores requieren ser interpretados de manera articulada con la demora de control, ya que es esta última la que evidencia temporalmente el impacto de la sobresaturación sobre la movilidad y el nivel de servicio de la intersección estudiada (Bramich, Menéndez, y Ambühl, 2022).

2.3.9. Densidad vehicular

La densidad vehicular mide el grado de compactación del flujo en función del número de vehículos que ocupan una determinada longitud de carril, constituyéndose en un indicador directo del nivel de ocupación de la infraestructura vial. Su fundamento teórico se encuentra en el diagrama fundamental del tránsito, donde se relaciona con el caudal y la velocidad a través de la expresión que vincula flujo, densidad y desplazamiento. Esta interacción permite comprender que, a medida que aumenta la concentración de vehículos dentro del sistema, disminuye el espacio disponible para maniobras y se reduce progresivamente la velocidad de circulación.

En vías urbanas e intersecciones sometidas a alta demanda, densidades elevadas acompañadas de velocidades bajas evidencian condiciones de congestión sostenida, ya que el tránsito pierde continuidad y la capacidad práctica de absorción comienza a deteriorarse. No obstante, la densidad por sí sola no explica completamente el impacto operacional del fenómeno, razón por la cual debe analizarse de manera conjunta con la demora de control. Mientras la densidad muestra cuán comprimido se encuentra el flujo, la demora permite identificar cuánto afecta dicha compactación al tiempo efectivo de desplazamiento, ofreciendo así una interpretación más integral del desempeño vehicular en la intersección estudiada (Bramich, Menéndez, y Ambühl, 2022).

2.3.10. Relación volumen/capacidad (grado de saturación)

El grado de saturación, expresado mediante la relación volumen/capacidad, compara la demanda vehicular que ingresa a la intersección con la capacidad efectiva que esta posee para absorberla. Este indicador permite conocer el nivel de exigencia operativa del sistema, ya que valores alejados de la unidad reflejan condiciones de funcionamiento holgadas, mientras que valores cercanos a uno evidencian una infraestructura trabajando al límite de su rendimiento. En términos funcionales, cuando la demanda se aproxima a la capacidad disponible, cualquier pequeña perturbación en el flujo puede generar inestabilidad, disminución de velocidad y formación progresiva de colas.

Cuando el grado de saturación alcanza o supera la unidad, la intersección entra en un estado de sobresaturación, caracterizado por la acumulación sostenida de vehículos, pérdida de continuidad en los movimientos y deterioro del nivel de servicio. Sin embargo, este parámetro no debe interpretarse de manera aislada, ya que por sí solo no revela la magnitud temporal del problema. Las guías del Highway Capacity Manual recomiendan complementarlo con la demora de control y con el análisis de colas percentil noventa y cinco, debido a que esta combinación permite identificar no solo qué tan demandado está el nodo vial, sino también cómo esa presión se traduce en tiempos de espera y extensión de filas vehiculares dentro de la operación real (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022).

2.3.11. Nivel de Servicio.

El nivel de servicio constituye la medida sintética de la calidad operacional con la que funciona una intersección, permitiendo clasificar su desempeño en categorías que van desde condiciones altamente fluidas hasta estados críticos de congestión. Más que una simple escala de letras, este indicador resume la experiencia de circulación del usuario al integrar variables como continuidad del desplazamiento, tiempos de espera, formación de colas y facilidad de maniobra. En intersecciones no semaforizadas y rotondas, el parámetro rector para su determinación es la demora de control promedio por vehículo, ya que esta refleja el tiempo adicional generado por desaceleración, cedencia, espera en cola, detención y posterior reaceleración durante el cruce o incorporación al flujo.

De acuerdo con el Transportation Research Board (2022), la clasificación del nivel de servicio en rotondas adopta umbrales más exigentes que en intersecciones semaforizadas, debido a que la naturaleza de este tipo de infraestructura está asociada a expectativas de circulación continua y menores interrupciones. En consecuencia, incrementos relativamente pequeños en la demora ya representan una pérdida perceptible de calidad operacional. Bajo los criterios del Highway Capacity Manual, niveles de servicio comprendidos entre A y C describen condiciones estables y aceptables de movilidad, mientras que los niveles D y E reflejan una

operación tensionada con pérdida de confort y eficiencia; finalmente, el nivel F corresponde a estados de sobresaturación donde la infraestructura ya no responde adecuadamente a la demanda. Por ello, el nivel de servicio no solo clasifica el funcionamiento del nodo vial, sino que se convierte en el principal referente para valorar técnicamente la necesidad y efectividad de las intervenciones de mejora.

2.3.12. Capacidad vial efectiva

La capacidad vial efectiva representa el límite operativo máximo que una aproximación de la rotonda puede atender de manera sostenible bajo sus condiciones geométricas, de prioridad de paso y de composición vehicular existentes. No se trata únicamente de un valor teórico de flujo máximo, sino de la expresión de cuánto tránsito puede absorber la infraestructura antes de que la operación pierda estabilidad. En el enfoque del Highway Capacity Manual, la capacidad de entrada se estima en función del flujo circulante y del comportamiento de cedencia de los conductores, particularmente a través del hueco crítico y el tiempo de seguimiento, variables que determinan la facilidad con la que los vehículos logran incorporarse al anillo de circulación. Esto evidencia que la capacidad no depende solo de la demanda que llega, sino también de la interacción entre conducta vehicular y restricciones físicas del acceso.

Sin embargo, la literatura reciente coincide en que esta capacidad presenta una marcada sensibilidad frente a la geometría local, por lo que no puede asumirse como un parámetro universal ni constante. Elementos como el ancho de entrada, la presencia de flare, la deflexión, el ángulo de incorporación y la visibilidad modifican la velocidad de aproximación y la eficiencia con la que se aprovechan las brechas disponibles. En ese sentido, Cafiso et al. (2021) demuestran que pequeñas variaciones geométricas pueden alterar de manera significativa la capacidad real de ingreso, afectando el comportamiento de aceptación de huecos y el rendimiento global del nodo. Por ello, la estimación de la capacidad vial efectiva exige procesos de calibración local antes de comparar escenarios operacionales, ya que solo así es posible representar con fidelidad el comportamiento del conductor y valorar técnicamente la pertinencia de las propuestas de optimización vial.

2.3.13. Capacidad vial estimada

La capacidad vial efectiva constituye el techo operativo de cada acceso de la rotonda, entendido como el flujo máximo que puede ser atendido de manera sostenida bajo las condiciones geométricas, de prioridad de paso y de composición vehicular presentes. Su importancia radica en que define el límite funcional entre una operación estable y una condición de saturación progresiva. En las rotondas, esta capacidad no depende exclusivamente del número de vehículos que llegan al acceso, sino de la posibilidad real de incorporarse al flujo circulante, la cual está condicionada por el hueco crítico y el tiempo de seguimiento aceptado por los conductores. Según la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022), estos parámetros permiten estimar la capacidad por aproximación en función de la interacción entre demanda entrante y disponibilidad de brechas.

No obstante, la capacidad vial efectiva presenta una elevada sensibilidad frente a la geometría del acceso, por lo que no puede asumirse como un valor fijo o transferible entre diferentes contextos. Variables como el ancho de entrada, la presencia de flare y la deflexión de trayectoria modifican la velocidad de aproximación, la alineación del ingreso y la facilidad de aprovechamiento de las brechas circulantes. En consecuencia, pequeñas variaciones geométricas pueden generar cambios sustanciales en el rendimiento operativo del nodo. Por ello, su estimación exige una calibración local rigurosa, de manera que la capacidad calculada refleje con fidelidad las condiciones reales de operación y permita comparar con sustento técnico los escenarios de mejora propuestos.

2.3.14. Retardos y tiempos de viaje

Las condiciones de operación y confort representan la calidad funcional con la que las personas usuarias experimentan el tránsito dentro de una intersección, siendo un reflejo directo de la continuidad, fluidez y facilidad de desplazamiento vehicular. Aunque este concepto involucra percepciones asociadas a seguridad, estabilidad y menor esfuerzo de conducción, su evaluación técnica se sintetiza principalmente a través del retardo de control, entendido como el tiempo adicional que demanda el recorrido respecto a una circulación a velocidad libre. Este retardo incorpora las

fases de desaceleración, espera en cola, detención y reaceleración, convirtiéndose en una medida objetiva de las interferencias que el sistema impone sobre el usuario durante su paso por el nodo vial.

En intersecciones no semaforizadas y rotondas, la National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022) reconoce al retardo de control como la métrica rectora para valorar el desempeño operacional, debido a que resume la interacción entre demanda, geometría y disponibilidad de brechas de ingreso. Complementariamente, Shetty (2024) señala que este indicador debe analizarse por movimientos, por aproximación y de manera global, ya que el confort vehicular no es uniforme en todos los accesos y puede ocultar puntos críticos si solo se observan promedios generales. En consecuencia, su estimación requiere contrastarse con tiempos de recorrido y longitudes de cola observadas en campo o reproducidas mediante microsimulación calibrada, a fin de garantizar una evaluación confiable de la calidad operativa y del nivel de servicio alcanzado por la intersección.

2.3.15. Tiempos de demora promedio

Las condiciones de operación y confort sintetizan la calidad de funcionamiento que percibe el usuario al transitar por una intersección, y su evaluación técnica se expresa principalmente mediante la demora de control. Este indicador representa el tiempo adicional que experimenta un vehículo respecto a un desplazamiento a velocidad libre, incluyendo procesos de desaceleración, espera en cola, detención y reaceleración. Por ello, no solo cuantifica pérdida de tiempo, sino también el grado de continuidad, estabilidad y facilidad con que se desarrolla la circulación vehicular dentro del nodo vial.

En rotondas e intersecciones no semaforizadas, el Transportation Research Board (2022) establece que la demora de control constituye la métrica principal para valorar el desempeño operacional, debido a que resume en una sola variable el efecto de la geometría, la demanda y la disponibilidad de brechas de ingreso. Asimismo, este indicador debe analizarse por movimiento, por aproximación y de manera global, ya que la calidad operativa puede variar significativamente entre

accesos. Para garantizar una evaluación confiable, su estimación requiere ser validada mediante observación directa en campo o a través de microsimulación calibrada, permitiendo así representar con mayor fidelidad las condiciones reales de operación y confort vehicular.

2.3.16. Condiciones de operación y confort

Las condiciones de operación y confort se operacionalizan mediante la clasificación del nivel de servicio, el cual permite traducir el desempeño vehicular en categorías de funcionamiento que van desde condiciones altamente fluidas hasta escenarios críticos de congestión. En el caso de rotondas e intersecciones no semaforizadas, esta clasificación se determina a partir del retardo de control promedio por vehículo, debido a que dicho indicador resume el tiempo adicional generado por desaceleraciones, esperas, detenciones y reaceleraciones durante el recorrido. Así, niveles de servicio ubicados en las categorías A, B y C reflejan una circulación estable y aceptable, mientras que las categorías D, E y F evidencian pérdida progresiva de fluidez, incremento del discomfort y deterioro del desempeño operacional.

No obstante, la clasificación del nivel de servicio no debe interpretarse de forma aislada, ya que una sola categoría puede ocultar particularidades importantes del comportamiento vehicular en determinados accesos. Paucara-Rojas (2018) advierte que para evitar diagnósticos parciales es necesario complementar el análisis con la relación volumen/capacidad y con la evaluación de colas percentil noventa y cinco, puesto que estos parámetros permiten identificar el grado de exigencia de la infraestructura y la persistencia de acumulación vehicular. En consecuencia, la operacionalización del confort y de las condiciones de operación requiere una lectura integrada de estos indicadores para obtener una valoración más objetiva y técnicamente consistente del nivel de servicio alcanzado por la intersección.

2.3.17. Clasificación del nivel de servicio:

Las condiciones de operación y confort se expresan mediante la clasificación del nivel de servicio, la cual permite valorar la calidad de funcionamiento de la rotonda

en categorías comprendidas entre A y F. En este tipo de intersecciones, dicha clasificación se basa exclusivamente en el retardo de control promedio por vehículo, ya que este indicador concentra el tiempo adicional ocasionado por desaceleración, espera en cola, detención y reaceleración durante el recorrido. Conforme a los criterios establecidos por el Transportation Research Board (2022), niveles de servicio bajos representan una circulación fluida y con mínimas interferencias, mientras que niveles altos evidencian pérdida de continuidad, mayores tiempos de espera y una experiencia operativa deficiente para el usuario.

Sin embargo, el nivel de servicio por sí solo no resulta suficiente para describir de manera integral el desempeño del nodo vial, debido a que una misma categoría puede encubrir diferencias significativas en la presión de demanda o en la acumulación vehicular de ciertos accesos. Por ello, el Transportation Research Board (2022) recomienda complementar su interpretación con la relación volumen/capacidad y con el análisis de colas percentil noventa y cinco, ya que estos indicadores permiten identificar el grado de exigencia de la infraestructura y la persistencia de filas críticas. De esta manera, la evaluación conjunta proporciona un diagnóstico más completo y técnicamente confiable de las condiciones de operación y confort en la intersección analizada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es aplicada porque utiliza conocimientos teóricos y metodologías ya establecidas para resolver problemas específicos en un contexto real, centrado en la optimización del flujo vehicular y el análisis de intersecciones urbanas (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Su propósito es mejorar el nivel de servicio (LOS) y reducir la congestión en la intersección de la Parque Rotonda de Azapa, a través de simulaciones de tráfico con herramientas como VISSIM y SYNCHRO (Shetty, 2024)

Es de enfoque cuantitativo porque se mide y analiza numéricamente el rendimiento del sistema de transporte mediante la recolección de datos operacionales, como los tiempos de espera, los volúmenes de tráfico y las capacidades de la intersección (Mohajan, 2020). El análisis se basa en la obtención de resultados objetivos que permitan cuantificar el impacto de las intervenciones propuestas en el flujo vehicular.

El nivel de investigación es aplicativo ya que busca implementar soluciones concretas y efectivas en la infraestructura vial urbana. Este tipo de investigación no solo contribuye al conocimiento teórico, sino que también tiene un impacto directo en la mejora de la calidad del servicio de transporte en el área de estudio (Shetty, 2024).

Su diseño es no experimental porque no se manipulan variables de manera controlada, sino que se observan y analizan los datos de tráfico existentes para determinar el efecto de posibles mejoras en la intersección. Este diseño permite estudiar el fenómeno en su contexto real, utilizando simulaciones y modelos matemáticos para predecir resultados sin intervenir físicamente en el entorno. (Núñez, 2024).

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la presente investigación es claramente aplicativo, porque no se restringe a describir la congestión vehicular existente en el Óvalo Azapa, en Arica, ni a cuantificar sus efectos en términos de demora o saturación. Su propósito es más ambicioso: diseñar y validar una propuesta técnica concreta orientada a optimizar el flujo vehicular mediante modelación y microsimulación del tránsito. En ese sentido, el estudio supera el alcance descriptivo o meramente correlacional, ya que construye escenarios alternativos, los modela con base en parámetros operacionales y evalúa su impacto en indicadores como retardo de control, velocidad media espacial y relación volumen/capacidad (v/c). Como sostienen Aguirre y Huamán (2021), la investigación aplicada utiliza marcos teóricos consolidados para resolver problemas específicos en contextos reales, generando soluciones con viabilidad técnica y potencial de implementación.

Este carácter aplicativo se refuerza porque el resultado esperado no es únicamente un diagnóstico del nivel de servicio actual del óvalo, sino una propuesta optimizada sustentada en simulaciones calibradas y en la comparación rigurosa de alternativas. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2022), la investigación aplicada implica emplear métodos científicos de manera sistemática para intervenir y transformar una realidad problemática a partir de evidencia verificable. En coherencia con ello, el presente estudio integra medición empírica en campo, modelación digital basada en el Highway Capacity Manual y validación estadística de resultados, configurando un proceso metodológico orientado a respaldar decisiones técnicas en la gestión del tránsito urbano del Óvalo Azapa.

3.1.3. Justificación del enfoque aplicado

El enfoque aplicado se justifica porque el problema identificado en el Óvalo Azapa, en Arica, no demanda únicamente comprensión teórica, sino intervención técnica sustentada. La congestión observada en horas punta tiene efectos concretos y medibles de demoras prolongadas, v/c cercano a la saturación, colas que superan la capacidad de almacenamiento y, por tanto, requiere soluciones igualmente concretas. No basta con caracterizar el fenómeno; es necesario proponer

alternativas viables que puedan implementarse bajo criterios normativos y operativos reales. En ese sentido, el enfoque aplicado permite cerrar la brecha entre diagnóstico académico y toma de decisiones en infraestructura vial.

Además, el uso de herramientas basadas en el Highway Capacity Manual refuerza la pertinencia de este enfoque, ya que se emplean metodologías estandarizadas internacionalmente para estimar capacidad, demora y nivel de servicio. La aplicación de estos modelos no se realiza de manera abstracta, sino contextualizada a parámetros locales de volumen horario equivalente, porcentaje de vehículos pesados, hueco crítico, lo que permite adaptar la teoría a las condiciones específicas del óvalo. Este proceso convierte el estudio en un ejercicio técnico-operativo con impacto directo en la planificación urbana.

Otro elemento que sustenta el enfoque aplicado es la posibilidad de simular escenarios alternativos antes de ejecutar intervenciones físicas. La microsimulación permite evaluar modificaciones geométricas, ajustes de prioridad o mejoras de canalización sin incurrir inicialmente en costos constructivos. Esto reduce la incertidumbre técnica y financiera, y aporta evidencia cuantitativa para sustentar decisiones públicas. En términos prácticos, se trata de anticipar resultados, medir impactos y seleccionar la alternativa más eficiente bajo criterios objetivos.

Finalmente, el enfoque aplicado se alinea con la necesidad institucional de contar con estudios que no solo describan problemas, sino que entreguen propuestas estructuradas y evaluables. La investigación integra levantamiento empírico, modelación digital y validación comparativa, configurando un proceso orientado a la mejora efectiva del nivel de servicio. En consecuencia, su aporte no es únicamente académico, sino técnico y estratégico, con potencial de replicabilidad en otras intersecciones urbanas de características similares.

3.2. DISEÑO DEL PROYECTO

3.2.1. Etapas del proyecto

El diseño del proyecto es cuasi-experimental (caso único) y compara escenarios antes–después (base vs. alternativas) en la Rotonda de Azapa. La unidad de análisis es cada aproximación en hora punta (AM/PM). Se emplea el marco del HCM-7

para estimar retardo de control (métrica rectora de LOS), relación v/c, colas (media) y capacidad de entrada por aproximación, implementado en HCS 2025. Cuando se requiere mayor detalle de la conducta de cedencia/seguimiento se usa microsimulación calibrada.

Etapa 1: Preparación y permisos: definición de periodos AM/PM, fichas TMC, ubicación de cámaras (mástil/dron), gestiones municipales y de seguridad.

Etapa 2: Levantamiento de datos: aforos 15 minutos por movimiento y clasificación de % pesados para calcular PHF y convertir a pcu/h; tiempos de recorrido (placa-a-placa/GPS/video-trazas) para obtener velocidad media espacial; medición continua de colas (longitud y duración; media y P95) por aproximación; y levantamiento de geometría (anchos de entrada, islas, radios, flare y deflexión).

Etapa 3: Normalización y control de calidad: depuración de videos/conteos, cálculo de PHF, conversión a pcu/h con PCE y verificación interna de consistencia; estimación de densidad a partir de q/v (media espacial).

Etapa 4: Diagnóstico base: con HCS 2025 se obtiene capacidad por entrada, v/c, demoras y colas P95, identificando cuellos de botella y riesgos de sobresaturación.

Etapa 5: Calibración y validación: estimación de hueco crítico (t_c) y tiempo de seguimiento (t_f) por entrada con datos locales; ajuste fino de car-following y aceptación de huecos (si se usa VISSIM/SINCHRO 12) hasta reproducir demoras y colas observadas. Criterios: RMSE/MAE/MAPE sobre demoras, validación con día hold-out y revisión visual de colas/descargas.

Etapa 6: Formulación y simulación de alternativas: A1) canalización de accesos y mejora de deflexión; A2) flare en accesos dominantes; A3) ajustes de prioridad/cedencia y señalización; A4) rotonda turbo cuando la asimetría de demanda lo justifique. Cada alternativa se modela con HCS y, de requerirse, con microsimulación para efectos de maniobra.

Etapa 7: Comparación y criterios de decisión: múltiples corridas (semillas) para obtener medias e intervalos de confianza del 95% de demoras y colas; contrastes pareados base vs. alternativa y análisis de sensibilidad (%HV, PHF, t_c y t_f). Selección de la opción que logre LOS D o mejor en todas las entradas, mantenga

$v/c < 0,85$ y colas P95 dentro del almacenamiento disponible, y reduzca la demora global de manera significativa.

Etapa 8: Entrega técnica e implementación: anteproyecto/planos, parámetros locales de cedencia, tablas LOS por aproximación, ruta de obras y estimación de beneficios operativos antes–después, todo verificado contra el Manual de Carreteras y el Manual de Señalización de Tránsito vigentes en Chile.

3.2.2. Herramientas y/o softwares utilizados

Para la ejecución del proyecto, se emplearán diversas herramientas tecnológicas y software especializado en modelación vial, simulación de tráfico y análisis de datos.

a) Herramientas de Recolección de Datos

Cámaras de Video (Mástil/Dron)

Propósito: Las cámaras serán utilizadas para capturar imágenes y videos en tiempo real durante el levantamiento de datos en terreno. La instalación de cámaras en diferentes puntos estratégicos de la intersección permitirá obtener datos visuales sobre los flujos vehiculares, tiempos de espera y la formación de colas.

Características: Las cámaras deberán tener una resolución mínima de 1080p a 30 fps, con marca de tiempo para garantizar la precisión de los datos.

GPS y Dispositivos de Medición de Tiempo de Recorrido (Placa-a-Placa)

Propósito: El GPS será utilizado para registrar los tiempos de recorrido de los vehículos a lo largo de la rotonda y las avenidas adyacentes. Los dispositivos placa-a-placa permitirán medir la velocidad media espacial, un indicador clave en el análisis de la operación urbana.

Herramientas GIS (Sistemas de Información Geográfica)

Propósito: Las herramientas GIS, como QGIS, se utilizarán para realizar el levantamiento geométrico de la intersección, incluyendo la medición de anchos de entrada, radios, islas y otros parámetros geométricos relevantes.

b) Software de Modelación y Simulación Vial

SYNCHRO (v12)

Propósito: El software SYNCHRO será utilizado para modelar la capacidad vial y el nivel de servicio (LOS) de la Rotonda de Azapa. Permite la simulación de intersecciones viales, el cálculo de flujos vehiculares y la optimización de ciclos semafóricos.

Características: SYNCHRO ofrece herramientas para crear modelos de intersecciones con base en HCM 7 (Manual de Capacidad de Carreteras), y realiza análisis detallados de demoras, colas y relación volumen/capacidad (v/c).

VISSIM

Propósito: El software VISSIM será utilizado para realizar microsimulación del tráfico. Este software permite representar con detalle el comportamiento de los vehículos, simulando las maniobras de cedencia, car-following y cambios de carril. Es ideal para analizar el comportamiento de tráfico en condiciones más complejas.

Características: VISSIM será usado para validar las simulaciones obtenidas de SYNCHRO y proporcionar un análisis de flujos vehiculares a nivel de cada carril y entrada. También permite realizar ajustes en los parámetros de seguimiento de vehículos y aceptación de huecos.

Excel y Python

Propósito: Excel se utilizará para procesar los datos recolectados, realizar cálculos de estadísticas descriptivas y presentar los resultados de forma tabular. Python se empleará para automatizar el procesamiento de datos y realizar análisis más complejos, como simulaciones estadísticas y análisis de sensibilidad.

c) Software para Análisis y Presentación de Resultados

AutoCAD/Civil 3D

Propósito: AutoCAD y Civil 3D serán utilizados para la creación de planos de situación y alternativas de diseño para la rotonda. Estos programas permitirán representar gráficamente las alternativas de diseño vial, como la canalización de accesos y la instalación de flare o rotondas turbo.

Características: Se emplearán para la elaboración de planos detallados que representen las mejoras propuestas y su implementación en la infraestructura vial.

d) QGIS

Propósito: QGIS se utilizará para realizar el análisis geoespacial de los datos de aforos y niveles de servicio. Además, se empleará para crear mapas de saturación y colapsos que servirán para evaluar el impacto de las intervenciones propuestas.

3.3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD

La evaluación técnica y la factibilidad del proyecto constituyen la fase integradora del estudio, en la cual se verifica si las alternativas de optimización propuestas para la Rotonda de Azapa son viables desde el punto de vista operativo, geométrico, normativo y ambiental. Esta etapa no se limita a contrastar indicadores de desempeño, sino que analiza la coherencia entre la solución planteada, las condiciones reales del entorno y los criterios técnicos establecidos por el Manual de Carreteras y el Manual de Señalización de Tránsito vigentes en Chile.

La factibilidad se analiza bajo tres dimensiones complementarias: (i) condiciones físico-geométricas del emplazamiento, (ii) comportamiento estructural-operacional de las alternativas modeladas y (iii) efectos ambientales y urbanos asociados a la intervención. De esta manera, la propuesta no solo se evalúa en términos de mejora del Nivel de Servicio, sino también en función de su implementación técnica y su compatibilidad con el entorno urbano existente.

3.3.1. Análisis del volumen del tránsito vehicular

La Tabla 2 presenta la clasificación vehicular considerada en el proceso de aforo y modelación del tránsito, diferenciando categorías como vehículos livianos, utilitarios, buses, camiones rígidos y camiones articulados. Esta segmentación no es meramente descriptiva; responde a la necesidad de capturar el comportamiento dinámico diferenciado de cada tipo de vehículo dentro de la intersección. Las variaciones en longitud, relación peso-potencia, aceleración, desaceleración y tiempos de reacción influyen directamente en la aceptación de brechas, en la

Tabla 1
Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado jueves 21/01/2026

Tabla 2

Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado jueves 21/01/2026

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-02 AMBOS (S-N) ROTONDA AZAPA		CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																TRAMO DE LA VIA		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA				
																				DIA		JUEVES				
																				FECHA		21/01/2026				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS PANEL	RURAL Cambi	MICRO	2 E	BUS 3 E	3 E	CAMION 3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	3T2	3T3	TOTAL						
7:00 a.m.	7:15 a.m.	2	220	92	28	8	89	16	1	2	5	8	2	0	2	0	2	0	0	0	477					
7:15 a.m.	7:30 a.m.	3	423	92	80	23	26	15	2	0	4	38	3	0	5	2	0	0	0	0	757					
7:30 a.m.	7:45 a.m.	2	436	90	225	35	85	26	15	0	6	97	0	4	8	5	4	0	0	0	1,038					
7:45 a.m.	8:00 a.m.	2	487	120	210	18	94	21	12	6	12	89	0	0	16	0	0	0	0	0	1,087					
8:00 a.m.	8:15 a.m.	2	370	111	138	12	89	16	17	6	5	64	2	0	4	0	2	0	0	0	838					
8:15 a.m.	8:30 a.m.	1	356	97	121	18	85	21	11	0	4	52	3	0	6	2	0	0	0	0	777					
8:30 a.m.	8:45 a.m.	1	245	98	83	25	66	34	12	0	6	31	0	3	5	4	3	0	0	0	616					
8:45 a.m.	9:00 a.m.	2	218	89	68	26	62	23	4	7	16	32	0	0	15	0	0	0	0	0	562					
9:00 a.m.	9:15 a.m.	3	145	69	29	8	56	12	2	6	5	10	2	0	1	0	2	0	0	0	350					
9:15 a.m.	9:30 a.m.	3	168	68	60	14	34	11	2	0	0	2	12	0	3	0	3	0	0	0	380					
9:30 a.m.	9:45 a.m.	2	138	76	48	21	31	24	2	0	5	21	0	2	8	3	2	0	0	0	383					
9:45 a.m.	10:00 a.m.	2	121	58	54	13	24	38	3	8	15	32	0	0	6	0	0	0	0	0	364					
10:00 a.m.	10:15 a.m.	1	110	66	19	12	34	11	1	6	3	6	1	0	2	0	1	0	0	0	273					
10:15 a.m.	10:30 a.m.	2	173	62	32	7	32	12	1	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	340					
10:30 a.m.	10:45 a.m.	1	180	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0	379					
10:45 a.m.	11:00 a.m.	3	152	72	21	8	40	11	2	6	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	344					
11:00 a.m.	11:15 a.m.	2	180	69	23	6	35	12	11	0	4	18	0	0	1	0	1	0	0	0	372					
11:15 a.m.	11:30 a.m.	1	297	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	560					
11:30 a.m.	11:45 a.m.	3	300	84	49	21	78	23	10	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	617					
11:45 a.m.	12:00 p.m.	2	321	123	132	13	72	11	11	5	12	27	0	0	10	0	0	0	0	0	739					
12:00 p.m.	12:15 p.m.	2	369	121	122	6	67	12	15	7	5	34	1	0	1	0	1	0	0	0	763					
12:15 p.m.	12:30 p.m.	3	361	100	67	11	89	8	21	0	4	31	0	1	1	1	0	0	0	0	709					
12:30 p.m.	12:45 p.m.	2	365	135	71	23	93	12	13	0	5	27	0	3	7	4	3	0	0	0	763					
12:45 p.m.	1:00 p.m.	2	389	123	68	15	67	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0	763					
1:00 p.m.	1:15 p.m.	2	375	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	659					
1:15 p.m.	1:30 p.m.	2	340	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0	523					
1:30 p.m.	1:45 p.m.	2	221	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0	506					
1:45 p.m.	2:00 p.m.	3	200	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0	445					
2:00 p.m.	2:15 p.m.	2	120	69	25	4	34	9	3	0	2	5	1	0	1	0	0	0	0	0	282					
2:15 p.m.	2:30 p.m.	3	123	86	29	6	41	11	4	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	322					
2:30 p.m.	2:45 p.m.	3	160	83	24	9	37	15	2	0	6	12	0	0	15	6	0	0	0	0	363					
2:45 p.m.	3:00 p.m.	3	143	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	328					
3:00 p.m.	3:15 p.m.	2	189	80	24	4	36	8	4	7	4	18	1	0	1	0	1	0	0	0	460					
3:15 p.m.	3:30 p.m.	2	250	78	58	11	29	9	3	0	3	22	0	0	1	1	0	0	0	0	469					
3:30 p.m.	3:45 p.m.	3	286	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	505					
3:45 p.m.	4:00 p.m.	2	260	73	27	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	511					
4:00 p.m.	4:15 p.m.	2	180	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	0	0	0	0	358					
4:15 p.m.	4:30 p.m.	3	275	69	62	21	26	9	5	0	3	23	0	0	9	1	0	0	0	0	500					
4:30 p.m.	4:45 p.m.	2	270	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0	500					
4:45 p.m.	5:00 p.m.	2	280	87	50	11	33	9	3	6	6	11	1	0	9	11	9	0	0	0	475					
5:00 p.m.	5:15 p.m.	3	220	85	26	7	36	12	7	5	4	12	2	0	1	0	0	0	0	0	415					
5:15 p.m.	5:30 p.m.	2	335	90	78	15	31	8	2	0	0	4	14	3	0	1	0	0	0	0	584					
5:30 p.m.	5:45 p.m.	2	338	82	39	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0	634					
5:45 p.m.	6:00 p.m.	3	290	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0	627					
6:00 p.m.	6:15 p.m.	3	250	124	32	7	79	27	2	6	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	553					
6:15 p.m.	6:30 p.m.	4	370	131	80	18	76	34	2	9	5	22	3	0	1	1	0	0	0	0	756					
6:30 p.m.	6:45 p.m.	2	365	134	76	33	64	26	8	0	7	23	0	3	7	4	0	0	0	0	750					
6:45 p.m.	7:00 p.m.	4	320	123	132	13	62	22	6	5	15	38	0	0	12	0	0	0	0	0	755					
7:00 p.m.	7:15 p.m.	2	321	145	90	10	83	34	9	6	5	35	2	0	0	1	0	0	0	0	744					
7:15 p.m.	7:30 p.m.	3	275	148	96	16	81	39	11	0	4	33	0	0	2	2	2	0	0	0	713					
7:30 p.m.	7:45 p.m.	2	289	151	95	24	52	37	12	0	6	31	0	3	6	3	3	0	0	0	754					
7:45 p.m.	8:00 p.m.	3	328	158	123	10	86	28	8	8	11	32	1	1	1	1	0	0	0	0	807					
TOTALES		120	13,765	4,958	3,475	751	2,945	866	341	162	311	1,330	49	31	242	60	47	0	0	0	29,453					

Nota. Categorías vehiculares consideradas en el aforo tomado el jueves 21/01/2026. Sentido de S-N. Elaboración propia.

Tabla 3

Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado viernes 22/01/2026

ESTACION SENTIDO UBICACION		E-01 AMBOS (S-N) ROTONDA AZAPA		CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																TRAMO DE LA VIA DIA FECHA		AV. DIEGO POORITALES VIERNES 22/01/2026				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS PANEL	BUS	MICRO	2 E	3 E	2 E	CAMION	4 E	201/202	SEMI TRAYLER	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	TOTAL	
7:00 a.m.	7:15 a.m.	3	223	92	28	8	85	18	4	6	8	16	4	1	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	563	
7:15 a.m.	7:30 a.m.	2	425	89	27	75	15	5	0	0	42	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	552	
7:30 a.m.	7:45 a.m.	1	412	96	221	32	82	26	15	0	8	98	1	5	8	6	5	0	0	0	0	0	0	0	1.016	
7:45 a.m.	8:00 a.m.	2	460	100	10	15	10	11	2	0	0	21	0	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	651	
8:00 a.m.	8:15 a.m.	4	446	111	138	7	89	16	17	8	8	66	4	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	920	
8:15 a.m.	8:30 a.m.	3	454	95	24	15	85	16	1	0	0	24	0	0	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	605	
8:30 a.m.	8:45 a.m.	4	245	98	83	26	66	34	12	0	0	6	32	0	4	8	4	3	0	0	0	0	0	0	625	
8:45 a.m.	9:00 a.m.	3	205	89	68	23	62	23	4	8	8	16	34	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	607	
9:00 a.m.	9:15 a.m.	6	156	95	156	5	79	5	0	0	0	12	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	352	
9:15 a.m.	9:30 a.m.	2	185	54	32	14	23	11	2	0	0	3	24	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	336	
9:30 a.m.	9:45 a.m.	3	147	41	30	7	16	24	2	0	0	0	14	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	354	
9:45 a.m.	10:00 a.m.	1	123	45	35	13	21	28	3	8	8	16	25	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	328	
10:00 a.m.	10:15 a.m.	2	160	59	14	19	14	19	1	0	0	16	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	372	
10:15 a.m.	10:30 a.m.	1	172	62	32	7	32	12	1	0	0	8	16	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	346	
10:30 a.m.	10:45 a.m.	2	174	71	41	11	41	16	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	357	
10:45 a.m.	11:00 a.m.	2	151	72	21	8	40	11	2	7	7	16	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	343	
11:00 a.m.	11:15 a.m.	1	185	105	35	15	65	15	1	0	0	16	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	407	
11:15 a.m.	11:30 a.m.	1	196	76	56	13	56	18	14	0	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	509	
11:30 a.m.	11:45 a.m.	2	298	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	614	
11:45 a.m.	12:00 p.m.	1	325	123	53	12	53	11	32	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	744	
12:00 p.m.	12:15 p.m.	3	368	121	122	6	67	12	15	8	5	36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	766	
12:15 p.m.	12:30 p.m.	2	359	87	119	97	87	11	0	0	0	35	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	780	
12:30 p.m.	12:45 p.m.	3	368	135	71	23	93	12	13	0	5	30	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	761	
12:45 p.m.	1:00 p.m.	2	123	86	15	68	15	87	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	730	
1:00 p.m.	1:15 p.m.	2	345	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	620	
1:15 p.m.	1:30 p.m.	3	300	95	48	14	66	12	11	0	4	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	666	
1:30 p.m.	1:45 p.m.	1	209	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	483	
1:45 p.m.	2:00 p.m.	1	223	86	48	6	47	8	0	0	7	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	566	
2:00 p.m.	2:15 p.m.	3	188	69	25	4	34	9	3	6	2	5	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	272	
2:15 p.m.	2:30 p.m.	2	119	29	6	41	11	4	0	0	0	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280	
2:30 p.m.	2:45 p.m.	1	176	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	372	
2:45 p.m.	3:00 p.m.	2	125	83	24	6	42	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	
3:00 p.m.	3:15 p.m.	2	182	109	24	4	30	8	4	7	4	0	10	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	309	
3:15 p.m.	3:30 p.m.	2	299	78	58	11	29	9	3	0	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	569	
3:30 p.m.	3:45 p.m.	2	284	88	12	8	23	10	2	0	0	8	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	512	
3:45 p.m.	4:00 p.m.	4	254	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	491	
4:00 p.m.	4:15 p.m.	4	165	105	15	11	23	9	7	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	495	
4:15 p.m.	4:30 p.m.	3	264	69	62	21	26	9	5	0	0	3	23	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	493	
4:30 p.m.	4:45 p.m.	3	287	88	67	18	23	0	0	0	0	18	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	699	
4:45 p.m.	5:00 p.m.	3	231	87	50	11	33	9	3	0	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	477	
5:00 p.m.	5:15 p.m.	2	218	78	35	17	28	12	4	0	0	16	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	414	
5:15 p.m.	5:30 p.m.	1	336	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	584	
5:30 p.m.	5:45 p.m.	3	239	105	55	42	45	15	0	0	0	19	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	548	
5:45 p.m.	6:00 p.m.	1	203	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	628	
6:00 p.m.	6:15 p.m.	2	242	122	131	29	29	2	2	0	0	14	23	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	543	
6:15 p.m.	6:30 p.m.	3	262	131	80	18	76	34	2	9	6	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	748	
6:30 p.m.	6:45 p.m.	3	307	134	76	33	64	26	8	0	0	25	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	761	
6:45 p.m.	7:00 p.m.	3	265	75	132	6	42	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	761	
7:00 p.m.	7:15 p.m.	3	313	145	90	83	34	9	6	6	36	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	757	
7:15 p.m.	7:30 p.m.	2	335	146	96	36	31	14	3	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	757	
7:30 p.m.	7:45 p.m.	2	279	151	95	24	92	37	12	1	0	32	0	0	3	6	4	4	0	0	0	0	0	0	826	
7:45 p.m.	8:00 p.m.	2	160	82	24	12	40	32	4	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	426	
TOTALES		119	13.866	4.891	3.413	729	2.920	872	345	179	356	1.375	66	33	242	63	58	0	0	0	0	0	0	0	25.519	

Tabla 4

Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado viernes 22/01/2026

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-02 AMBROS (S-N) ROTONDA AZAPA		CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR														TRAMO DE LA VIA DIA FECHA		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA VIERNES 22/01/2026	
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS PANEL	RURAL Camión	MICRO	BUS		CAMION		SEMI TRAYLER		TRAYLER		TOTAL					
7:00 a.m.	7:15 a.m.	2	220	95	34	12	90	20	2	4	9	1	0	2	1	2	0	0	0	0	495
7:15 a.m.	7:30 a.m.	1	415	92	86	26	65	18	3	1	3	38	3	1	4	2	1	0	0	0	759
7:30 a.m.	7:45 a.m.	2	432	90	234	38	83	32	14	1	4	98	1	4	10	4	0	0	0	0	1,051
7:45 a.m.	8:00 a.m.	8	450	120	215	23	89	26	11	7	11	90	0	0	15	0	0	0	0	0	1,005
8:00 a.m.	8:15 a.m.	6	367	111	142	16	96	21	18	8	6	65	2	1	6	1	2	0	0	0	868
8:15 a.m.	8:30 a.m.	5	326	97	123	22	87	31	21	1	4	51	3	0	6	2	0	0	0	0	779
8:30 a.m.	8:45 a.m.	6	312	98	96	27	76	46	12	0	4	32	1	3	5	4	3	0	0	0	725
8:45 a.m.	9:00 a.m.	2	289	89	68	26	78	27	4	7	14	33	0	0	15	0	1	0	0	0	653
9:00 a.m.	9:15 a.m.	3	126	69	29	8	69	15	2	6	4	12	2	0	1	0	2	0	0	0	348
9:15 a.m.	9:30 a.m.	4	186	68	60	14	42	12	2	0	3	21	2	0	2	2	0	0	0	0	418
9:30 a.m.	9:45 a.m.	2	125	76	48	21	31	22	2	0	5	23	0	2	8	3	2	0	0	0	378
9:45 a.m.	10:00 a.m.	2	165	58	54	13	24	28	3	8	12	30	0	0	6	0	0	0	0	0	403
10:00 a.m.	10:15 a.m.	1	110	66	21	12	34	13	1	6	4	8	1	0	2	0	1	0	0	0	280
10:15 a.m.	10:30 a.m.	2	173	62	32	7	32	16	1	0	5	15	1	0	1	1	0	0	0	0	348
10:30 a.m.	10:45 a.m.	1	180	74	29	14	41	16	1	0	3	13	0	1	4	2	1	0	0	0	389
10:45 a.m.	11:00 a.m.	3	152	72	24	8	40	11	2	6	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	347
11:00 a.m.	11:15 a.m.	2	189	69	27	6	35	12	11	8	4	11	1	1	1	0	1	0	0	0	378
11:15 a.m.	11:30 a.m.	1	297	76	56	13	56	18	14	0	3	21	2	0	1	1	0	0	0	0	559
11:30 a.m.	11:45 a.m.	3	360	84	49	21	76	23	10	0	4	43	0	2	6	3	2	0	0	0	615
11:45 a.m.	12:00 p.m.	8	298	123	138	16	69	12	13	6	12	26	0	0	10	1	0	0	0	0	732
12:00 p.m.	12:15 p.m.	7	363	124	136	8	69	15	17	8	6	38	1	0	1	0	1	0	0	0	789
12:15 p.m.	12:30 p.m.	6	365	109	69	14	86	9	23	2	6	33	3	1	1	10	0	0	0	0	728
12:30 p.m.	12:45 p.m.	5	367	135	75	26	94	13	15	1	7	30	0	3	7	2	2	0	0	0	782
12:45 p.m.	1:00 p.m.	6	383	123	68	17	83	17	11	5	15	26	0	0	14	0	1	0	0	0	769
1:00 p.m.	1:15 p.m.	7	265	97	56	14	76	11	9	5	3	22	1	0	1	0	1	0	0	0	568
1:15 p.m.	1:30 p.m.	8	239	95	58	14	69	14	13	0	3	27	1	0	1	1	0	0	0	0	543
1:30 p.m.	1:45 p.m.	7	312	102	49	12	73	16	4	1	3	22	0	1	3	2	1	0	0	0	607
1:45 p.m.	2:00 p.m.	4	211	86	48	6	52	9	3	8	4	23	0	0	5	0	0	0	0	0	459
2:00 p.m.	2:15 p.m.	4	128	69	25	4	38	11	4	6	1	6	1	0	1	0	1	0	0	0	299
2:15 p.m.	2:30 p.m.	3	123	86	29	6	45	13	6	1	1	13	1	0	1	1	0	0	0	0	329
2:30 p.m.	2:45 p.m.	3	169	86	24	9	33	15	0	1	1	12	0	1	1	0	0	0	0	0	361
2:45 p.m.	3:00 p.m.	3	143	81	26	6	32	9	3	4	5	12	1	0	1	2	0	0	0	0	330
3:00 p.m.	3:15 p.m.	2	189	89	24	4	30	6	4	7	4	11	1	0	5	0	1	0	0	0	364
3:15 p.m.	3:30 p.m.	2	230	58	11	29	12	3	0	1	3	0	0	2	3	0	0	0	0	0	324
3:30 p.m.	3:45 p.m.	3	286	76	48	12	28	12	2	0	4	24	0	2	6	2	2	0	0	0	505
3:45 p.m.	4:00 p.m.	2	260	73	57	18	32	12	3	6	11	25	0	0	10	0	0	0	0	0	509
4:00 p.m.	4:15 p.m.	2	189	71	23	17	32	8	1	9	4	11	1	0	1	0	1	0	0	0	363
4:15 p.m.	4:30 p.m.	3	275	69	62	21	26	9	5	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	499
4:30 p.m.	4:45 p.m.	2	270	68	59	21	25	12	7	0	5	21	0	0	2	5	3	0	0	0	505
4:45 p.m.	5:00 p.m.	2	230	87	50	11	33	9	3	6	12	26	0	0	9	0	0	0	0	0	478
5:00 p.m.	5:15 p.m.	3	220	85	26	7	36	6	5	4	8	11	2	0	1	0	1	0	0	0	415
5:15 p.m.	5:30 p.m.	2	335	90	78	15	31	8	2	4	6	15	2	0	1	2	0	0	0	0	587
5:30 p.m.	5:45 p.m.	2	338	92	59	25	42	12	3	1	6	20	1	3	7	4	3	0	0	0	618
5:45 p.m.	6:00 p.m.	5	290	102	60	14	69	11	6	1	13	21	0	0	11	0	0	0	0	0	633
6:00 p.m.	6:15 p.m.	6	250	124	32	8	82	27	5	5	7	14	2	0	1	0	1	0	0	0	564
6:15 p.m.	6:30 p.m.	7	370	131	80	21	73	34	3	8	6	21	3	0	1	1	0	0	0	0	759
6:30 p.m.	6:45 p.m.	8	365	134	76	32	65	26	7	1	8	24	0	3	7	4	3	0	0	0	763
6:45 p.m.	7:00 p.m.	7	313	123	89	22	72	32	8	4	14	37	1	0	8	0	0	0	0	0	730
7:00 p.m.	7:15 p.m.	6	324	145	99	13	87	43	8	5	6	34	2	0	1	1	0	0	0	0	745
7:15 p.m.	7:30 p.m.	5	267	148	111	20	92	45	12	2	5	30	3	0	2	2	0	0	0	0	744
7:30 p.m.	7:45 p.m.	2	311	151	95	32	94	42	13	1	7	31	0	3	5	3	3	0	0	0	793
7:45 p.m.	8:00 p.m.	3	364	160	126	11	93	38	11	1	93	38	11	1	1	1	0	0	0	0	856
TOTALES		295	13,867	4,963	3,530	814	3,854	975	380	172	315	1,345	53	34	241	60	49	0	0	0	30,857

Nota. En la tabla se visualiza el aforo realizado viernes 22/01/2026.

Tabla 5

Clasificación vehicular utilizada en el aforo, tomado sábado 23/01/2026

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																					
ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-01 AMBROS (S-N) ROTONDA AZAPA																TRAMO DE LA VIA DIA FECHA		AV. DIEGO PORTALES SABADO 23/01/2026	
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK-UP	CAMIONETAS PASAJERO	RURAL Camión	MICRO	2 E	BUS	3 E	2 E	4 E	28/0282	SEMI TRAYLER	303	28/2	303	303	303	TOTAL	
7:00 a.m.	7:15 a.m.	6	321	92	65	12	85	18	4	6	8	16	4	1	3	0	4	0	0	645	
7:15 a.m.	7:30 a.m.	4	420	86	82	17	75	15	2	0	6	42	6	0	4	4	0	0	0	763	
7:30 a.m.	7:45 a.m.	3	430	40	221	32	82	26	15	0	8	98	1	5	8	6	5	0	0	1,056	
7:45 a.m.	8:00 a.m.	2	502	109	210	15	93	21	12	8	21	90	0	0	12	0	0	0	0	1,095	
8:00 a.m.	8:15 a.m.	5	356	111	138	7	89	16	17	8	8	66	4	0	4	0	2	0	0	831	
8:15 a.m.	8:30 a.m.	6	348	97	121	16	85	21	11	1	4	54	4	0	4	2	0	0	0	774	
8:30 a.m.	8:45 a.m.	5	295	98	83	26	66	34	12	0	6	32	0	4	8	4	0	0	0	646	
8:45 a.m.	9:00 a.m.	4	225	89	68	23	62	23	4	8	16	34	0	0	12	0	0	0	0	569	
9:00 a.m.	9:15 a.m.	8	128	69	29	5	56	12	2	6	5	12	3	0	2	0	2	0	0	339	
9:15 a.m.	9:30 a.m.	4	148	68	60	14	34	11	2	0	3	24	2	0	2	0	0	0	0	374	
9:30 a.m.	9:45 a.m.	6	168	76	48	21	31	24	2	0	5	22	0	2	6	3	2	0	0	416	
9:45 a.m.	10:00 a.m.	2	156	58	54	13	24	28	3	8	16	25	0	0	69	0	0	0	0	297	
10:00 a.m.	10:15 a.m.	3	108	66	19	12	34	11	1	8	12	8	1	0	1	0	1	0	0	285	
10:15 a.m.	10:30 a.m.	2	162	62	32	7	32	12	1	0	8	16	1	0	1	1	0	0	0	337	
10:30 a.m.	10:45 a.m.	1	174	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	373	
10:45 a.m.	11:00 a.m.	3	151	72	21	8	33	11	2	7	7	16	0	0	6	0	0	0	0	344	
11:00 a.m.	11:15 a.m.	2	185	160	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	368	
11:15 a.m.	11:30 a.m.	1	296	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	509	
11:30 a.m.	11:45 a.m.	3	269	86	49	21	49	13	11	6	4	23	0	0	0	0	0	0	0	637	
11:45 a.m.	12:00 p.m.	2	332	123	132	13	72	11	11	6	12	28	0	0	10	0	0	0	0	752	
12:00 p.m.	12:15 p.m.	5	303	201	146	6	67	12	15	8	5	36	1	0	1	0	1	0	0	869	
12:15 p.m.	12:30 p.m.	3	343	115	129	33	49	17	11	3	3	32	4	0	0	0	0	0	0	793	
12:30 p.m.	12:45 p.m.	4	377	146	71	23	93	12	13	0	5	30	0	3	7	4	0	0	0	791	
12:45 p.m.	1:00 p.m.	5	332	108	132	68	15	87	15	0	10	12	0	0	12	0	0	0	0	744	
1:00 p.m.	1:15 p.m.	2	256	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	540	
1:15 p.m.	1:30 p.m.	3	234	109	86	14	66	12	11	0	4	29	1	0	1	0	1	0	0	537	
1:30 p.m.	1:45 p.m.	3	220	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	3	2	1	0	0	0	540	
1:45 p.m.	2:00 p.m.	3	209	86	47	8	47	8	7	0	7	23	0	0	0	0	0	0	0	455	
2:00 p.m.	2:15 p.m.	4	108	69	25	4	34	9	3	6	2	5	2	0	1	0	1	0	0	273	
2:15 p.m.	2:30 p.m.	5	119	86	29	6	41	11	2	0	6	2	1	0	1	0	1	0	0	312	
2:30 p.m.	2:45 p.m.	3	176	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	0	1	0	0	0	0	374	
2:45 p.m.	3:00 p.m.	3	125	81	26	6	32	7	2	4	4	6	13	0	0	0	0	0	0	310	
3:00 p.m.	3:15 p.m.	2	182	89	44	4	40	12	0	0	4	10	2	0	0	0	0	0	0	359	
3:15 p.m.	3:30 p.m.	2	209	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	309	
3:30 p.m.	3:45 p.m.	4	349	94	294	28	49	13	0	0	8	23	0	0	0	0	0	0	0	514	
3:45 p.m.	4:00 p.m.	6	254	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	509	
4:00 p.m.	4:15 p.m.	5	165	103	77	17	43	9	0	0	7	23	0	0	0	0	0	0	0	346	
4:15 p.m.	4:30 p.m.	6	244	69	62	21	26	9	5	0	3	23	4	0	1	1	0	0	0	491	
4:30 p.m.	4:45 p.m.	6	267	69	67	41	25	12	6	0	4	21	0	0	0	0	0	0	0	503	
4:45 p.m.	5:00 p.m.	5	231	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	0	0	0	0	0	479	
5:00 p.m.	5:15 p.m.	7	218	87	77	16	36	12	0	0	6	16	0	0	0	0	0	0	0	603	
5:15 p.m.	5:30 p.m.	2	336	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	585	
5:30 p.m.	5:45 p.m.	3	339	92	80	25	42	12	3	0	7	18	0	0	0	0	0	0	0	616	
5:45 p.m.	6:00 p.m.	3	293	102	60	14	36	11	0	1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	632	
6:00 p.m.	6:15 p.m.	6	242	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	648	
6:15 p.m.	6:30 p.m.	7	311	160	362	70	188	30	24	3	0	24	3	0	0	0	0	0	0	753	
6:30 p.m.	6:45 p.m.	8	367	134	76	33	64	26	8	0	8	25	0	0	1	0	0	0	0	766	
6:45 p.m.	7:00 p.m.	7	323	123	137	12	82	16	0	0	12	12	0	0	4	3	0	0	0	787	
7:00 p.m.	7:15 p.m.	6	301	145	90	10	83	34	9	6	6	36	2	0	1	0	1	0	0	730	
7:15 p.m.	7:30 p.m.	5	739	187	388	66	311	39	6	0	1	34	0	0	3	3	0	0	0	813	
7:30 p.m.	7:45 p.m.	4	299	151	95	24	92	37	12	1	0	14	0	0	3	4	0	0	0	764	
7:45 p.m.	8:00 p.m.	7	126	100	129	14	12	14	0	0	1	16	0	0	2	12	12	0	0	625	
TOTALES		211	13,896	5,149	3,335	733	2,949	872	345	179	56	1,375	66	33	242	63	58	0	0	29,964	

registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 8

Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, jueves 21/01/2026

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																								
TRAMO DE LA CARRETERA			AV. SENADOR HUMBERTO PALZA													ESTACION		E02						
SENTIDO			AMBOS (S-N)													DIA		JUEVES						
UBICACIÓN																FECHA		21/01/2026						
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL	CAMIONETAS	MICRO	BUS		CAMION		SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL				
																								
7:00 a. m.	8:00 a. m.	9	1,566	394	543	84	335	78	30	8	27	232	5	4	31	7	6	0	0	0	0	3,339		
8:00 a. m.	9:00 a. m.	6	1,189	395	410	81	302	94	44	13	31	179	5	3	30	6	5	0	0	0	0	2,793		
9:00 a. m.	10:00 a. m.	9	572	271	191	56	145	75	9	14	28	85	4	2	17	5	4	0	0	0	0	1,487		
10:00 a. m.	11:00 a. m.	7	615	274	101	41	147	50	5	12	15	48	2	1	13	3	2	0	0	0	0	1,336		
11:00 a. m.	12:00 p. m.	8	1,107	352	260	53	241	64	55	13	23	82	3	2	18	4	3	0	0	0	0	2,288		
12:00 p. m.	1:00 p. m.	9	1,484	488	328	55	336	47	58	11	28	117	4	3	21	5	4	0	0	0	0	2,998		
1:00 p. m.	2:00 p. m.	10	1,036	380	211	46	242	45	25	14	13	93	2	1	10	3	2	0	0	0	0	2,133		
2:00 p. m.	3:00 p. m.	11	555	319	104	25	144	42	15	10	12	44	2	1	10	3	2	0	0	0	0	1,299		
3:00 p. m.	4:00 p. m.	9	985	307	187	45	119	39	12	13	23	81	3	2	18	4	3	0	0	0	0	1,850		
4:00 p. m.	5:00 p. m.	9	955	295	193	70	116	37	16	15	22	77	3	2	16	4	3	0	0	0	0	1,833		
5:00 p. m.	6:00 p. m.	10	1,183	369	223	61	195	48	14	5	30	65	5	3	20	5	4	0	0	0	0	2,240		
6:00 p. m.	7:00 p. m.	13	1,305	512	320	74	281	109	18	20	33	96	5	3	21	5	4	0	0	0	0	2,819		
7:00 p. m.	8:00 p. m.	10	1,213	602	404	60	342	138	40	14	26	131	6	4	17	6	5	0	0	0	0	3,018		
TOTALES		120	13,765	4,958	3,475	751	2,945	866	341	162	311	1,330	49	31	242	60	47	0	0	0	0	29,453		

Nota. La tabla presenta la distribución horaria de vehículos clasificados por tipología (livianos, utilitarios, buses y camiones en distintas configuraciones), registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 9

*Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, viernes
22/01/2026*

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR POR HORA																								
TRAMO DE LA CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN		AV. DIEGO PORTALES AMBOS(N-S)														ESTACION DIA FECHA		E-01 MIERCOLES 22/01/2026						
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS		RURAL Combi	MICRO	BUS		CAMION		SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL					
								2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3		3T2	3T3			
7:00 a.m.	8:00 a.m.	8	1,558	386	541	72	335	80	33	14	43	246	11	6	27	10	9	0	0	0	0	3,379		
8:00 a.m.	9:00 a.m.	16	1,310	395	410	72	302	94	44	17	34	186	8	4	28	6	5	0	0	0	0	2,931		
9:00 a.m.	10:00 a.m.	12	591	222	130	53	116	75	9	14	29	83	5	2	20	5	4	0	0	0	0	1,370		
10:00 a.m.	11:00 a.m.	6	605	262	101	41	147	50	5	15	30	52	2	1	12	3	2	0	0	0	0	1,334		
11:00 a.m.	12:00 p.m.	5	1,104	352	260	53	241	64	55	14	23	83	3	2	18	4	3	0	0	0	0	2,284		
12:00 p.m.	1:00 p.m.	9	1,452	488	328	55	336	47	58	12	28	123	5	3	21	5	4	0	0	0	0	2,974		
1:00 p.m.	2:00 p.m.	7	1,068	380	211	46	242	45	25	14	13	93	2	1	10	3	2	0	0	0	0	2,162		
2:00 p.m.	3:00 p.m.	7	519	319	104	25	144	42	15	10	12	44	4	1	10	3	2	0	0	0	0	1,261		
3:00 p.m.	4:00 p.m.	10	1,020	307	187	45	119	39	12	13	23	81	4	2	18	4	3	0	0	0	0	1,887		
4:00 p.m.	5:00 p.m.	14	927	295	193	70	116	37	16	15	22	77	5	2	16	4	3	0	0	0	0	1,812		
5:00 p.m.	6:00 p.m.	5	1,186	369	223	61	195	48	14	5	30	65	7	3	20	5	4	0	0	0	0	2,240		
6:00 p.m.	7:00 p.m.	10	1,294	512	320	74	281	109	18	20	35	102	5	3	21	5	4	0	0	0	0	2,813		
7:00 p.m.	8:00 p.m.	10	1,232	604	405	62	346	142	41	16	34	140	5	3	21	6	5	0	0	0	0	3,072		
TOTALES		119	13,866	4,891	3,413	729	2,920	872	345	179	356	1,375	66	33	242	63	50	0	0	0	0	29,519		

Nota. La tabla presenta la distribución horaria de vehículos clasificados por tipología (livianos, utilitarios, buses y camiones en distintas configuraciones), registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 10

*Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, viernes
22/01/2026*

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																						
TRAMO DE LA CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA AMBOS (S-N)														ESTACION DIA FECHA		E02 MIERCOLES 22/01/2026				
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL		
								2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2		3T3	
7:00 a. m.	8:00 a. m.	13	1,517	397	569	99	327	96	30	10	22	235	5	5	31	7	7	0	0	0	0	3,370
8:00 a. m.	9:00 a. m.	19	1,294	395	429	91	337	125	55	16	28	181	6	4	32	7	6	0	0	0	0	3,025
9:00 a. m.	10:00 a. m.	11	602	271	191	56	166	77	9	14	24	86	4	2	17	5	4	0	0	0	0	1,539
10:00 a. m.	11:00 a. m.	7	615	274	106	41	147	56	5	12	19	52	2	1	13	3	2	0	0	0	0	1,355
11:00 a. m.	12:00 p. m.	14	1,084	352	270	56	236	65	57	14	23	81	3	3	18	5	3	0	0	0	0	2,284
12:00 p. m.	1:00 p. m.	24	1,478	488	348	65	332	54	66	16	34	125	4	4	23	3	4	0	0	0	0	3,068
1:00 p. m.	2:00 p. m.	26	1,027	380	211	46	270	50	29	13	13	94	2	1	10	3	2	0	0	0	0	2,177
2:00 p. m.	3:00 p. m.	13	563	319	104	25	148	48	18	11	8	43	3	1	10	3	2	0	0	0	0	1,319
3:00 p. m.	4:00 p. m.	9	985	307	187	45	119	40	12	13	22	81	3	2	18	3	3	0	0	0	0	1,849
4:00 p. m.	5:00 p. m.	13	955	295	193	70	116	38	16	15	24	80	3	2	16	4	3	0	0	0	0	1,843
5:00 p. m.	6:00 p. m.	12	1,183	369	223	61	198	47	16	6	33	67	6	3	20	5	4	0	0	0	0	2,253
6:00 p. m.	7:00 p. m.	28	1,298	512	277	83	292	119	23	18	35	96	6	3	17	5	4	0	0	0	0	2,816
7:00 p. m.	8:00 p. m.	16	1,266	604	422	76	366	160	44	14	30	124	6	3	16	7	5	0	0	0	0	3,159
TOTALES		205	13,867	4,963	3,530	814	3,054	975	380	172	315	1,345	53	34	241	60	49	0	0	0	0	30,857

Nota. La tabla presenta la distribución horaria de vehículos clasificados por tipología (livianos, utilitarios, buses y camiones en distintas configuraciones),

registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 11

Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, sábado 23/01/2026

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR POR HORA																								
TRAMO DE LA CARRETERA		AV. DIEGO PORTALES																	ESTACION		E-01			
SENTIDO		AMBOS(N-S)																	DIA		SABADO			
UBICACIÓN																			FECHA		23/01/2026			
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER					TOTAL			
																								
7:00 a.m.	8:00 a.m.	15	1,693	383	578	76	335	80	33	14	43	246	11	6	27	10	9	0	0	0	0	3,559		
8:00 a.m.	9:00 a.m.	20	1,194	395	410	72	302	94	44	17	34	186	8	4	28	6	5	0	0	0	0	2,819		
9:00 a.m.	10:00 a.m.	20	600	271	191	53	145	75	9	14	29	83	5	2	20	5	4	0	0	0	0	1,526		
10:00 a.m.	11:00 a.m.	9	595	274	101	41	147	50	5	15	30	52	2	1	12	3	2	0	0	0	0	1,339		
11:00 a.m.	12:00 p.m.	8	1,133	352	260	53	241	64	55	14	23	83	3	2	18	4	3	0	0	0	0	2,316		
12:00 p.m.	1:00 p.m.	17	1,443	688	352	55	336	47	58	12	28	123	5	3	21	5	4	0	0	0	0	3,197		
1:00 p.m.	2:00 p.m.	11	920	380	211	46	242	45	25	14	13	93	2	1	10	3	2	0	0	0	0	2,018		
2:00 p.m.	3:00 p.m.	15	519	319	104	25	144	42	15	10	12	44	4	1	10	3	2	0	0	0	0	1,269		
3:00 p.m.	4:00 p.m.	14	1,020	307	187	45	119	39	12	13	23	81	4	2	18	4	3	0	0	0	0	1,891		
4:00 p.m.	5:00 p.m.	19	927	295	193	70	116	37	16	15	22	77	5	2	16	4	3	0	0	0	0	1,817		
5:00 p.m.	6:00 p.m.	13	1,186	369	223	61	195	48	14	5	30	65	7	3	20	5	4	0	0	0	0	2,248		
6:00 p.m.	7:00 p.m.	28	1,288	512	320	74	281	109	18	20	35	102	5	3	21	5	4	0	0	0	0	2,825		
7:00 p.m.	8:00 p.m.	22	1,288	604	405	62	346	142	41	16	34	140	5	3	21	6	5	0	0	0	0	3,140		
TOTALES		211	13,806	5,149	3,535	733	2,949	872	345	179	356	1,375	66	33	242	63	50	0	0	0	0	29,964		

Nota. La tabla presenta la distribución horaria de vehículos clasificados por tipología (livianos, utilitarios, buses y camiones en distintas configuraciones), registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 12
Clasificación vehicular por hora según tipología y periodo de aforo, sábado 23/01/2026

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR																								
TRAMO DE LA CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA AMBOS (S-N)															ESTACION DIA FECHA		E02 SABADO 23/01/2026					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL			
																								
7:00 a.m.	8:00 a.m.	7	1,583	397	545	86	338	80	30	8	27	234	5	4	33	7	6	0	0	0	0	3,390		
8:00 a.m.	9:00 a.m.	6	1,089	395	410	81	302	94	44	13	31	179	5	3	30	6	5	0	0	0	0	2,693		
9:00 a.m.	10:00 a.m.	11	668	271	191	56	145	75	9	14	28	85	4	2	17	5	4	0	0	0	0	1,585		
10:00 a.m.	11:00 a.m.	7	615	274	101	41	147	50	5	12	15	48	2	1	13	3	2	0	0	0	0	1,336		
11:00 a.m.	12:00 p.m.	8	1,107	352	260	53	241	64	55	13	23	82	3	2	18	4	3	0	0	0	0	2,288		
12:00 p.m.	1:00 p.m.	11	1,466	488	328	55	336	47	58	11	28	117	4	3	21	5	4	0	0	0	0	2,982		
1:00 p.m.	2:00 p.m.	10	936	380	211	46	242	45	25	14	13	93	2	1	10	3	2	0	0	0	0	2,033		
2:00 p.m.	3:00 p.m.	13	555	319	104	25	144	42	15	10	12	44	2	1	10	3	2	0	0	0	0	1,301		
3:00 p.m.	4:00 p.m.	9	985	307	187	45	119	39	12	13	23	81	3	2	18	4	3	0	0	0	0	1,850		
4:00 p.m.	5:00 p.m.	13	955	295	193	70	116	37	16	15	22	77	3	2	16	4	3	0	0	0	0	1,837		
5:00 p.m.	6:00 p.m.	12	1,183	369	223	61	195	48	14	5	30	65	5	3	20	5	4	0	0	0	0	2,242		
6:00 p.m.	7:00 p.m.	19	1,305	512	320	74	281	109	18	20	33	96	5	3	21	5	4	0	0	0	0	2,825		
7:00 p.m.	8:00 p.m.	14	1,206	604	405	62	346	142	41	14	28	135	5	3	19	5	4	0	0	0	0	3,033		
TOTALES		140	13,653	4,963	3,478	755	2,952	872	342	162	313	1,336	48	30	246	59	46	0	0	0	0	29,395		

Nota. La tabla presenta la distribución horaria de vehículos clasificados por tipología (livianos, utilitarios, buses y camiones en distintas configuraciones), registrada durante el trabajo de campo. Los datos constituyen la base para el análisis de composición vehicular y la modelación operacional de la intersección.

Tabla 13
Distribución del volumen vehicular clasificado por tipo y variación diaria

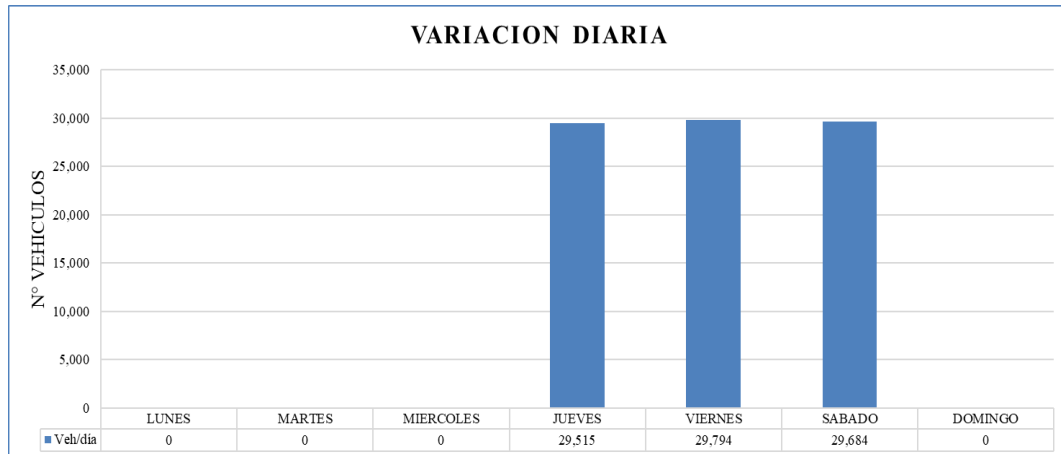
TIPO DE VEHICULO	TRAFICO VEHICULAR							TOTAL	IMD _s	FC	IMD _s	%
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	SEMANA				
MOTOS				129	162	176		467	156	1	156	0.01
AUTO				13,753	13,867	13,730		41,350	13,783	1	13,783	0.46
STATION WAGON				4,955	4,927	5,056		14,938	4,979	1	4,979	0.17
PICK UP				3,479	3,472	3,507		10,458	3,486	1	3,486	0.12
PANEL				742	772	744		2,258	753	1	753	0.03
RURALCombi				2,947	2,987	2,951		8,885	2,962	1	2,962	0.10
MICRO				869	924	872		2,665	888	1	888	0.03
BUS 2E				343	363	344		1,050	350	1	350	0.01
BUS 3E				171	176	171		518	173	1	173	0.01
CAMION 2E				334	336	335		1,005	335	1	335	0.01
CAMION 3E				1,353	1,360	1,356		4,069	1,356	1	1,356	0.05
CAMION 4E				58	60	57		175	58	1	58	0.00
T 2S1/2S2				32	34	32		98	33	1	33	0.00
T 2S3				242	242	244		728	243	1	243	0.01
T3S1/3S2				62	62	61		185	62	1	62	0.00
T3S3				49	50	48		147	49	1	49	0.00
TOTAL	0	0	0	29,515	29,794	29,684	0		29,664		29,666	100%

Nota. La tabla presenta los volúmenes vehiculares registrados durante el aforo, desagregados por tipología (motos, vehículos livianos, buses y camiones en distintas configuraciones) y periodo evaluado. Se observa que la mayor

concentración de volumen vehicular corresponde al viernes (29 794 vehículos), constituyendo el escenario crítico considerado para el análisis operacional y la modelación de la intersección.

Figura 1

Distribución del volumen vehicular clasificado por tipo y variación diaria



Nota. La figura muestra la variación diaria del volumen vehicular registrado durante el periodo de aforo. Se observa que los mayores valores corresponden a los jueves (29 515 veh/día), viernes (29 794 veh/día) y sábado (29 684 veh/día), siendo el viernes el día de mayor concentración de tránsito. Estos resultados permitieron identificar el escenario crítico para el análisis operacional y la modelación de la intersección.

Tabla 14

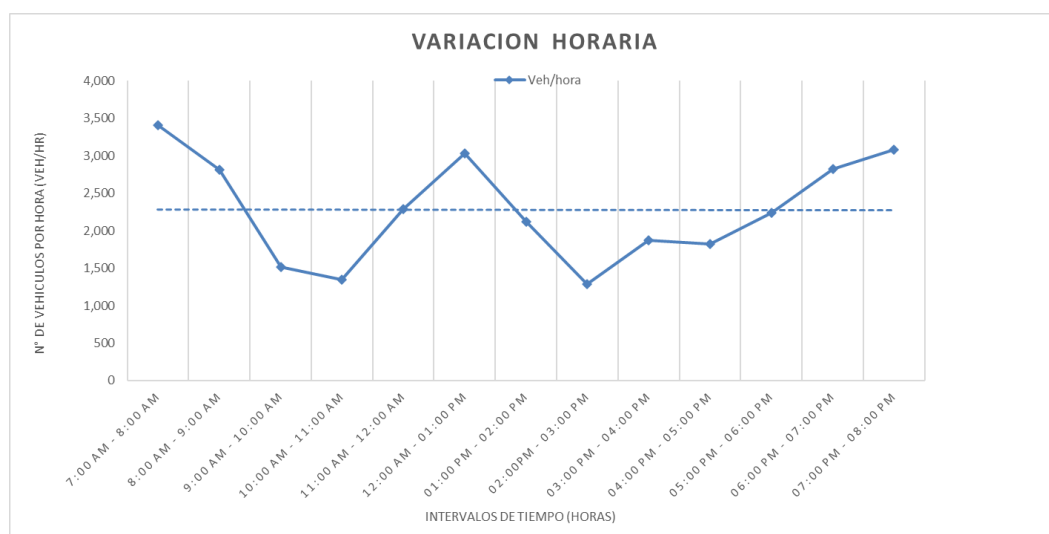
Distribución horaria del flujo vehicular de jueves a sábado y representatividad de mayor volumen de tráfico el viernes

HORA	TRAFICO VEHICULAR			TOTAL SEMANA	TOTAL PROMEDIO	TOTAL %
	JUEVES	VIERNES	SABADO			
7:00 AM - 8:00 AM	3,384	3,375	3,475	10,234	3,411	0.11
8:00 AM - 9:00 AM	2,710	2,978	2,756	8,444	2,815	0.09
9:00 AM - 10:00 AM	1,528	1,455	1,556	4,539	1,513	0.05
10:00 AM - 11:00 AM	1,342	1,345	1,338	4,025	1,342	0.05
11:00 AM - 12:00 AM	2,297	2,284	2,302	6,883	2,294	0.08
12:00 AM - 01:00 PM	2,999	3,021	3,090	9,110	3,037	0.10
01:00 PM - 02:00 PM	2,180	2,170	2,026	6,376	2,125	0.07
02:00PM - 03:00 PM	1,273	1,290	1,285	3,848	1,283	0.04
03:00 PM - 04:00 PM	1,871	1,868	1,871	5,610	1,870	0.06
04:00 PM - 05:00 PM	1,825	1,828	1,827	5,480	1,827	0.06
05:00 PM - 06:00 PM	2,235	2,247	2,245	6,727	2,242	0.08
06:00 PM - 07:00 PM	2,819	2,815	2,825	8,459	2,820	0.10
07:00 PM - 08:00 PM	3,055	3,116	3,087	9,258	3,086	0.10
TOTALES	29,515	29,792	29,683	88,990	29,665	1.00

Nota. Datos obtenidos mediante aforo vehicular en el periodo comprendido entre las 07:00 AM y las 08:00 PM. Se observa una distribución multimodal con picos pronunciados en las franjas de 07:00-08:00 (11%) y 07:00-08:00 PM (10%), lo que sugiere una demanda vinculada a desplazamientos pendulares laborales y comerciales.

Figura 2

Distribución horaria del flujo vehicular de jueves a sábado y representatividad de mayor volumen de tráfico el viernes



Nota. Datos obtenidos mediante aforo vehicular en el periodo comprendido entre las 07:00 AM y las 08:00 PM. Se observa una distribución multimodal con

picos pronunciados en las franjas de 07:00-08:00 (11%) y 07:00-08:00 PM (10%), lo que sugiere una demanda vinculada a desplazamientos pendulares laborales y comerciales, por lo que los aforos direccionales se deben efectuar en el horario comprendido de 7:00 a 8:00 AM.

3.3.2. Análisis de la capacidad vial

El análisis de la capacidad vial tiene como objetivo determinar el máximo flujo vehicular que puede soportar la infraestructura en condiciones operativas específicas, así como evaluar su desempeño frente a la demanda observada. Este análisis permite identificar posibles condiciones de saturación y establecer el nivel de servicio de cada aproximación. Para su desarrollo, se emplearon los lineamientos del HCM, considerando variables fundamentales como el volumen vehicular, la geometría de la vía, el número de carriles, el control de la intersección tipo rotonda y las condiciones del entorno.

A partir de la información obtenida en los aforos vehiculares, se calcularon los parámetros de capacidad por aproximación, incluyendo la relación volumen/capacidad (v/c), el grado de saturación y la demora. Estos indicadores permitieron evaluar el desempeño operacional de la intersección bajo condiciones actuales. El análisis de capacidad en rotondas se basa en la estimación del flujo máximo que puede ingresar a cada acceso, condicionado principalmente por los flujos circulantes y las brechas aceptadas por los conductores. Para ello, se emplean los lineamientos del HCM para intersecciones no semaforizadas tipo rotonda.

Se tiene a partir de los aforos, lo siguiente en hora pico:

Volumen de entrada (acceso norte Av. Capitán Ávalos):

$$V_e = 944 \text{ veh/h}$$

Flujo circulante conflictivo:

$$V_c = 1060 \text{ veh/h}$$

Parámetros locales:

$$t_c = 4.5 \text{ s}; t_f = 2.5 \text{ s}$$

ahora calculamos la capacidad base usando el modelo de aceptación de brechas

$$c_e = \frac{3600}{2.5} \cdot e^{-\frac{1060 \cdot 4.5}{3600}} \quad (1)$$

$$c_e = 1440 \cdot e^{-1.33}$$

$$c_e \approx 1440 \cdot 0.264$$

$$c_e \approx 380.16 \text{ veh/h}$$

La capacidad es bastante menor que el volumen, eso refleja mala señal.

Ahora calcularemos la capacidad base y la relación de volumen/capacidad considerando los factores de ajuste según condiciones reales de operación:

$$c = c_e \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \quad (2)$$

$$f_w = 1.00 (\text{factor por ancho de carril})$$

$$f_{HV} = 0.95 (\text{factor por vehículos pesados})$$

$$f_g = 1.00 (\text{pendiente despreciable})$$

$$f_p = 0.90 (\text{interferencia peatonal moderada})$$

Entonces:

$$c = 380.16 \cdot 1.00 \cdot 0.95 \cdot 1.00 \cdot 0.90$$

$$c \approx 325.04 \text{ veh/h}$$

Finalmente, calculamos la relación volumen/capacidad:

$$\frac{v}{c} = \frac{V_e}{c} \quad (3)$$

Donde:

- V_e : volumen de entrada (veh/h)
- c : capacidad ajustada (veh/h)

$$v/c = \frac{944}{324.04} \approx 2.91$$

Interpretación típica:

- $v/c < 0.85$: operación estable
- $0.85 \leq v/c \leq 1.00$: condición inestable
- $v/c > 1.00$: saturación

2,91 ya no es solo saturación, es una condición crítica. En la práctica, implicaría colas largas y operación muy deficiente.

3.3.3. Análisis de demoras y tiempos de viaje

El análisis de demoras y tiempos de viaje tiene como objetivo evaluar el desempeño operativo de la rotonda en términos de eficiencia y nivel de servicio, considerando el tiempo adicional que experimentan los vehículos al atravesar la intersección respecto a condiciones de flujo libre.

En rotondas, la demora se asocia principalmente al tiempo de espera en el acceso antes de ingresar al flujo circulante, siendo función directa del grado de saturación y de la interacción con los flujos conflictivos. Para su estimación, se emplean los lineamientos del HCM, que establecen modelos basados en la relación volumen/capacidad.

Cálculo de la demora promedio por vehículo

La demora de control en cada acceso se puede estimar mediante:

$$d = \frac{3600}{c} \cdot \frac{(v/c)^2}{2(1-v/c)} \quad (4)$$

$$d = \frac{3600}{324,04} \cdot \frac{(2,91)^2}{2(1-2,91)} = -24,63 \text{ s}$$

Donde:

- d : demora promedio (s/veh)
- v : volumen ajustado (veh/h)
- c : capacidad del acceso (veh/h)

Si tomamos el análisis previo, $v/c = 2,91$, lo cual ya indica sobresaturación por lo tanto la demora promedio es sumamente alto, la fórmula pierde validez teórica

obteniendo un resultado negativo, significa que el sistema ya está sobresaturado.

Cálculo de la demora total en el acceso

$$D_{total} = d \cdot V_e \quad (5)$$

$$D_{total} = d \cdot 944 \text{ veh/h}$$

Donde:

- D_{total} : demora total (s/h)
- V_e : volumen de entrada

Cálculo de los tiempos de viaje

El tiempo de viaje en la intersección se expresa como:

$$T_v = T_{ff} + d \quad (6)$$

$$T_v = 9,6 \text{ s} + d$$

Donde:

- T_v : tiempo total de viaje (s)
- T_{ff} : tiempo en flujo libre (sin interferencias)
- d : demora promedio

El tiempo en flujo libre puede estimarse como:

$$T_{ff} = \frac{L}{V} \quad (7)$$

$$T_{ff} = \frac{80}{8,33} = 9,6 \text{ s}$$

Donde:

- L : longitud del tramo (80m)
- V : velocidad de operación (30km/h = 8,33m/s)

3.3.4. Análisis de condiciones de operación y confort

El análisis conjunto del volumen de tránsito, la capacidad vial, las demoras y las condiciones de operación permite establecer un diagnóstico integral del desempeño de la rotonda en estudio. En particular, para el acceso norte de la rotonda Azapa en la ciudad de Arica, los resultados evidencian una condición operativa deficiente, caracterizada por una demanda vehicular elevada en relación con la capacidad disponible.

Desde el punto de vista del volumen de tránsito, se identificó una alta

concentración de flujo durante la hora pico, con valores de factor de hora pico que reflejan una demanda relativamente sostenida. Sin embargo, el elemento más crítico radica en el flujo circulante, el cual condiciona significativamente la capacidad de ingreso al anillo, generando restricciones operativas en el acceso analizado.

En cuanto a la capacidad vial, los resultados muestran relaciones volumen/capacidades superiores a la unidad, lo que indica un estado de sobresaturación. Esta condición se traduce en un funcionamiento inestable del sistema, donde la demanda excede la capacidad efectiva de la infraestructura, limitando la inserción fluida de los vehículos y generando acumulación de colas.

El análisis de demoras y tiempos de viaje confirma esta situación, evidenciando incrementos significativos en el retardo promedio por vehículo y, en consecuencia, en el tiempo total de recorrido. Estos valores corresponden a un nivel de servicio F, lo que implica condiciones de operación altamente congestionadas, con pérdidas de tiempo considerables para los usuarios.

Finalmente, las condiciones de operación y confort reflejan una baja calidad del servicio vial, manifestada en frecuentes detenciones, alta variabilidad de velocidad, incremento de la densidad vehicular y dificultades en las maniobras de incorporación. Esta situación no solo afecta la eficiencia del sistema, sino también la percepción de seguridad y comodidad de los conductores.

3.4. PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN

3.4.1. Cronograma de actividades

El proyecto se ejecutará en seis etapas secuenciales para la Rotonda de Azapa (Arica–Chile, 2025). El diseño general es cuasi-experimental (antes–después). La unidad de análisis es cada aproximación de la rotonda en horas punta (AM/PM). A continuación, se detallan las etapas y su cronograma tentativo.

El cronograma de ejecución se concatena con el cronograma establecido por la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, la que considera cuatro fases o etapas de desarrollo, siendo éstas: Primera fase: Inscripción de tema de tesis/trabajo de investigación y asignación del asesor. Segunda fase: Desarrollo del proyecto. Tercera fase: Desarrollo de la tesis y ratificación del asesor. Cuarta fase:

sustentación.

Corresponde, por tanto, en la fase tres, incluir las etapas de desarrollo de la tesis, como se describe a continuación:

Etapas 1: Planificación y Revisión Teórica

En esta fase se llevará a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva, donde se analizarán antecedentes nacionales e internacionales relacionados con la modelación vial, el flujo vehicular y el nivel de servicio. Además, se revisarán las normativas locales y se definirá el marco metodológico que guiará todo el proceso de investigación. Esta etapa es crucial para establecer una base sólida de conocimiento y asegurarse de que el enfoque adoptado sea el más adecuado para el caso de la Rotonda de Azapa.

Etapas 2: Levantamiento de Datos en Terreno

Esta etapa consiste en la recolección de información primaria sobre el flujo vehicular en la Rotonda de Azapa. Se realizarán aforos vehiculares cada 15 minutos, se medirán los tiempos de recorrido a través de dispositivos GPS y se registrará el comportamiento del tráfico en horas punta. También se levantará la geometría de la intersección (anchos de entrada, islas, deflexión, etc.), lo cual permitirá una comprensión más profunda de los factores que influyen en la congestión y el nivel de servicio.

Etapas 3: Normalización y Diagnóstico Base

En esta etapa se procederá a la normalización de los datos recolectados en el campo. Se ajustarán los volúmenes vehiculares para convertirlos a unidades equivalentes de automóvil (pcu/h) y se calcularán indicadores como la velocidad media espacial y la densidad vehicular. Posteriormente, se utilizará el software Synchro 12 para modelar la situación base del tránsito en la rotonda, lo que permitirá identificar los cuellos de botella y los puntos críticos de congestión, así como la capacidad vial actual y el nivel de servicio.

Etapas 4: Calibración y Validación del Modelo

Esta fase tiene como objetivo ajustar el modelo de simulación a las condiciones reales observadas en el campo. Se estimarán los parámetros de cedencia (hueco crítico y tiempo de seguimiento) y se calibrarán los modelos de microsimulación

(SYNCHRO) con los datos de demoras y colas obtenidos en la etapa de levantamiento de datos. El modelo ajustado permitirá una representación precisa del comportamiento del tráfico y la validación de las alternativas propuestas.

Etapa 5: Formulación de Alternativas y Simulación Comparativa

En esta etapa se desarrollarán y modelarán diferentes alternativas de diseño vial para la Rotonda de Azapa. Las alternativas incluyen la canalización de accesos, mejoras en la deflexión de entradas, ajustes en prioridad/cedencia y, si es necesario, la implementación de una rotonda turbo. Cada alternativa será evaluada mediante simulaciones con SYNCHRO 12, y se compararán en términos de demoras, colas y nivel de servicio (LOS). Se realizará un análisis de sensibilidad para evaluar cómo cada opción impacta el rendimiento de la intersección.

Etapa 6: Factibilidad Integral y Entrega Final

La última etapa consiste en la evaluación de la factibilidad de las alternativas propuestas. Se analizarán los aspectos técnicos, económicos y ambientales de cada alternativa. Con base en los resultados obtenidos, se elaborará un informe final que incluirá los planos de diseño, memorias descriptivas, presupuestos y cronogramas. Este expediente técnico servirá como base para la implementación de las mejoras propuestas, y se entregará a las autoridades competentes para su revisión y ejecución.

Figura 3*Cronograma de actividades Óvalo Azapa*

Nº	Descripción	Cronograma en meses															
		Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	E1: Planificación y revisión																
2	E2: Levant. y proc. de información																
3	E3: Modelado y simulación (base HCM/HCS)																
4	E4: Diseño y plan de intervención (A1–A4)																
5	E5: Simulación y validación																
6	E6: Evaluación técnico-social y ambiental																
7	Sustentación de tesis																

3.4.2. Asignación de recursos

La estimación presupuestal contempla la provisión de recursos humanos, materiales y tecnológicos, así como los gastos operativos necesarios para la ejecución del proyecto. Los valores presentados son de carácter referencial y se expresan en soles (S/), tomando en cuenta el marco académico en el que se desarrolla la investigación y la disponibilidad de recursos institucionales.

Tabla 15*Presupuesto estimado para la investigación.*

Concepto / Actividad	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)
1. Recursos humanos				
Tesista	Global	1.00	3,000.00	3,000.00
Asistente – Analista de datos	Global	1.00	2,500.00	2,500.00
Subtotal Recursos Humanos				5,500.00
2. Trabajo de campo				
Levantamiento de información (aforos vehiculares, encuestas, medición de velocidades y movilidad)	Global	1.00	1,800.00	1,800.00
Subtotal Trabajo de Campo				1,800.00
3. Equipos y materiales				
Alquiler de equipos (cámaras, cronómetros, GPS, dron, sensores vehiculares)	Global	1.00	1,200.00	1,200.00
Subtotal Equipos y Materiales				1,200.00
4. Software especializado				
Licencia académica o uso autorizado de Synchro 12	Global	1.00	1,500.00	1,500.00
Subtotal Software				1,500.00
5. Procesamiento y simulación				
Uso de computador personal (almacenamiento y procesamiento de datos)	Global	1.00	800.00	800.00
Subtotal Procesamiento				800.00
6. Gastos administrativos				
Materiales de oficina y gastos varios	Global	1.00	500.00	500.00
Subtotal Administrativos				500.00
7. Difusión y presentación final				
Impresión de borrador, informe final y costos de sustentación	Global	1.00	200.00	200.00
Subtotal Difusión				200.00
TOTAL				11,500.00

3.4.3. Costos y financiamiento

El presupuesto total estimado para la ejecución del proyecto asciende a S/ 11,500.00, monto que contempla recursos humanos, trabajo de campo, alquiler de equipos, uso de software especializado, procesamiento de información, gastos administrativos y actividades vinculadas a la presentación final del informe. La estructura de costos responde a la naturaleza aplicada del estudio, donde el mayor componente corresponde a la participación técnica del tesista y del asistente analista

de datos, lo cual resulta coherente con investigaciones que demandan levantamiento, procesamiento y simulación de información especializada.

Desde una perspectiva operativa, los costos han sido definidos bajo criterios de racionalidad y eficiencia, priorizando el uso de recursos institucionales disponibles y recurriendo a alquiler o licencias académicas cuando ha sido necesario. Se trata de montos referenciales expresados en soles (S/), calculados considerando el contexto universitario y evitando sobredimensionamientos que podrían distorsionar la viabilidad financiera del proyecto.

En cuanto al financiamiento, el estudio será cubierto principalmente mediante autofinanciamiento del tesista, complementado con el apoyo indirecto de la institución académica a través del uso de infraestructura, asesoría docente y acceso a recursos tecnológicos disponibles. No se contempla financiamiento externo ni fondos concursables, lo que refuerza la viabilidad económica del proyecto bajo un esquema de inversión moderada y controlada.

Finalmente, el análisis costo–beneficio implícito del estudio sugiere que la inversión realizada es razonable frente al aporte técnico esperado, especialmente en términos de generación de información para la mejora del sistema de transporte evaluado. En otras palabras, el costo del proyecto resulta proporcional al impacto potencial de sus resultados en la toma de decisiones técnicas y académicas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO

El desarrollo del proyecto a partir de la aplicación de la metodología propuesta, así como la validación del diseño planteado mediante herramientas de simulación y análisis técnico. A partir de los datos obtenidos en campo y su procesamiento, se modelaron las condiciones actuales de operación de la rotonda y se evaluaron escenarios de mejora orientados a optimizar su desempeño. La validación se sustenta en la comparación de indicadores clave como factor de utilización, relación volumen/capacidad, nivel de servicio y tiempos de demoras entre la situación base y las alternativas propuestas, lo que permite, en cierta forma, verificar la efectividad y viabilidad de las soluciones planteadas.

El diseño de la rotonda Azapa de la Figura presenta una configuración de alta complejidad geométrica que busca maximizar la capacidad mediante carriles de giro a la derecha segregados y una canalización interna estricta. Desde una perspectiva de ingeniería vial, el punto crítico reside en la eficiencia de las maniobras de trenzado y la adecuación de los radios de giro, los cuales deben garantizar una deflexión suficiente para reducir la velocidad operativa y mitigar la severidad de potenciales colisiones por alcance o cortes de trayectoria.

Por otro lado, desde un enfoque de seguridad y movilidad urbana, la infraestructura actual prioriza el flujo vehicular sobre la permeabilidad para usuarios vulnerables, omitiendo elementos de segregación claros. Para una investigación de posgrado, resulta imperativo validar si la geometría logra un equilibrio óptimo entre el Nivel de Servicio (LOS) bajo condiciones de saturación y la seguridad vial, empleando modelos de microsimulación que cuantifiquen tanto las demoras como la siniestralidad, elementos fundamentales para evaluar la resiliencia del diseño ante la demanda actual y proyectada.

Figura 4*Configuración de carriles*

Nota. La figura ilustra la configuración de los carriles por acceso.

4.1.1 Respecto al Objetivo General: Evaluar el flujo vehicular para mejorar el nivel de servicio vehicular, del Parque Rotonda de Azapa, mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025, el resultado es el siguiente:

Respecto al objetivo general, se evaluó el flujo vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante la modelación en software especializado, identificándose que la condición actual presenta niveles de servicio deficientes F debido a la alta relación volumen/capacidad en los accesos principales. A partir de ello, se plantearon y simulaban alternativas de mejora, las cuales evidenciaron una reducción significativa en las demoras y una mejora del nivel de servicio hasta condiciones aceptables C–D, validando la efectividad del diseño propuesto para optimizar la operación vehicular.

El factor de utilización del 115.9% registrado en la rotonda Azapa evidencia un estado crítico de sobre-saturación operativa, donde la demanda vehicular excede la capacidad teórica de la infraestructura, provocando un colapso en el flujo que degrada el Nivel de Servicio a niveles inestables.

Esta condición no solo genera demoras excesivas y colas que bloquean los accesos, sino que también compromete gravemente la seguridad vial al anular la disponibilidad de brechas de ingreso seguro, haciendo imperativa la evaluación técnica de medidas de mitigación estructural o de gestión de tránsito para restaurar la resiliencia operativa del nodo.

Figura 5

Análisis de flujo vehicular de la rotonda Azapa para determinar el ICU



Nota. La figura muestra el factor de utilización resultante del 115.9%, el cual denota un estado de saturación operativa que excede la capacidad de diseño del nodo

Figura 6

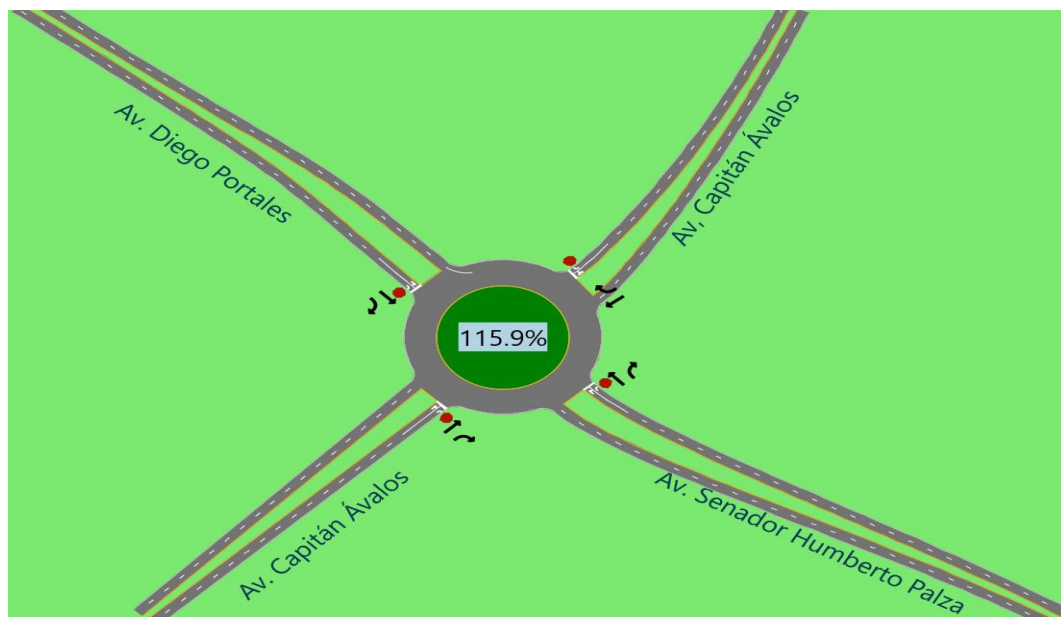
Análisis de flujo vehicular en el núcleo de la rotonda Azapa



Nota. En la figura se muestra los flujos libres y saturados por accesos a la rotonda Azapa

Figura 7

Valor del ICU en la rotonda Azapa



Nota. Se muestra el valor determinado utilizando Synchro 12.

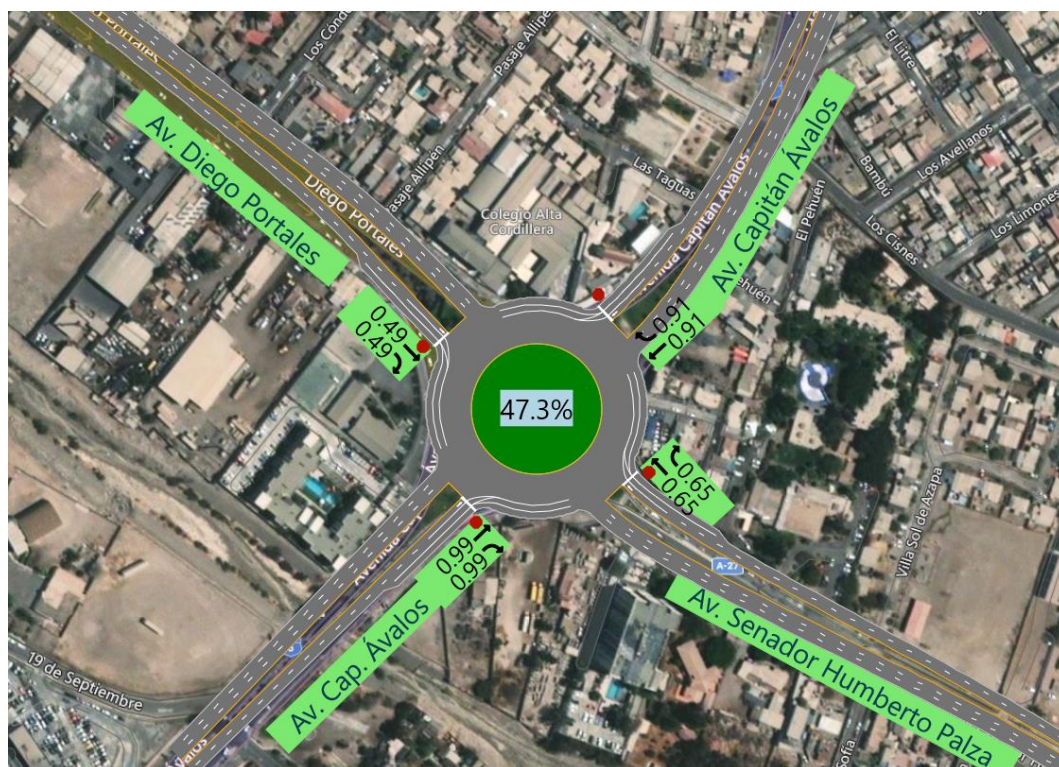
El rediseño geométrico visto en la Figura 8, mediante la implementación de carriles de giro exclusivo a la derecha en todos los accesos de la Rotonda de Azapa generó una optimización drástica en el desempeño del nodo. Al segregar los flujos que no requieren ingresar al anillo circulatorio, se redujo la fricción operativa y se incrementó la capacidad de entrada disponible para los movimientos directos e izquierdos. Este ajuste se refleja en una utilización de la capacidad de la intersección del 47.3%, lo que posiciona a la infraestructura en un Nivel de Servicio (LOS) A. Este valor indica una reserva de capacidad superior al 50%, garantizando una operación estable incluso ante fluctuaciones estacionales de la demanda o el crecimiento proyectado del parque automotor en la ciudad de Arica.

A pesar de la notable mejora global, el análisis detallado por carriles revela una asimetría en la carga vehicular. Mientras que accesos como la Av. Diego Portales operan con una relación volumen/capacidad (v/c) de 0.49, los accesos de la Av. Capitán Ávalos presentan saturaciones críticas de 0.91 y 0.99. Esta disparidad sugiere que, aunque la rotonda como sistema es eficiente, los flujos provenientes del eje norte-sur se encuentran en el umbral de la inestabilidad operativa. De acuerdo con HCM (2022), la implementación de carriles de giro libre es la estrategia más efectiva para mitigar estos cuellos de botella, ya que despresuriza el anillo central y permite que el carril crítico sea aprovechado exclusivamente por los flujos de mayor complejidad.

Finalmente, la transición de un esquema de carriles compartidos a uno de giros protegidos valida la hipótesis de que la geometría es el factor determinante en la eficiencia de las rotondas modernas. La reducción del ICU al 47.3% no solo implica menores tiempos de demora y colas más cortas, sino que también impacta positivamente en la seguridad vial al reducir los puntos de conflicto dentro de la calzada anular. Esta evidencia técnica respalda la necesidad de abandonar modelos de diseño estáticos y adoptar soluciones basadas en la canalización de flujos, asegurando que la infraestructura responda a la dinámica real de movilidad urbana y logística de carga pesada característica de la región.

Figura 8

Resultados de la microsimulación y nivel de servicio tras la implementación de carriles de giro exclusivo



Nota. La imagen ilustra la optimización del nodo mediante incremento de carril y carril de giro exclusivo a la derecha. El valor central de 47.3% corresponde al ICU equivalente a un Nivel de Servicio A. Las etiquetas en los accesos indican la relación volumen/capacidad (v/c) por carril; nótese que, a pesar de la mejora global, el eje de la Av. Capitán Ávalos mantiene valores críticos de 0.91 y 0.99, indicando una saturación focalizada.

4.1.2 Respecto al Objetivo específico 1: Estimar el volumen de tránsito vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, Arica-Chile, 2025, el resultado es el siguiente:

Los aforos direccionales se realizaron en intervalos de 15 minutos con el fin de analizar con mayor precisión la variación temporal del flujo vehicular en cada acceso de la intersección. Este procedimiento permitió registrar el número de vehículos (n) según tipo de movimiento y sentido de circulación,

proporcionando un nivel de detalle suficiente para identificar los periodos de mayor demanda. Asimismo, la segmentación en intervalos cortos facilita reconocer cambios y fluctuaciones del tránsito que podrían pasar desapercibidos en registros horarios agregados, especialmente en contextos urbanos caracterizados por una alta dinámica y variabilidad del flujo vehicular.

Tabla 16

Aforo direccional en la Av. Diego Portales sentido E-W

CONTEO DE FLUJOS Y GIROS							
ESTACION	E-01						
SENTIDO	E-W						
UBICACIÓN	AV. DIEGO PORTALES						
TRAMO DE VIA	PARQUE ROTONDA AZAPA						
DIA	VIERNES						
FECHA	29/01/2026						



HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:00 a. m.	7:15 a. m.		25.00	9.00		1.00	1.00
7:15 a. m.	7:30 a. m.		34.00	14.00		1.00	1.00
7:30 a. m.	7:45 a. m.		78.00	10.00		1.00	1.00
7:45 a. m.	8:00 a. m.		66.00	16.00		8.00	4.00
8:00 a. m.	8:15 a. m.		29.00	6.00		2.00	2.00
8:15 a. m.	8:30 a. m.		41.00	6.00		1.00	1.00
8:30 a. m.	8:45 a. m.		53.00	12.00		1.00	1.00
8:45 a. m.	9:00 a. m.		41.00	6.00		1.00	1.00
9:00 a. m.	9:15 a. m.						
9:15 a. m.	9:30 a. m.						
9:30 a. m.	9:45 a. m.						
9:45 a. m.	10:00 a. m.						
10:00 a. m.	10:15 a. m.		28.00	0.00		6.00	0.00
10:15 a. m.	10:30 a. m.		19.00	0.00		7.00	0.00
10:30 a. m.	10:45 a. m.		19.00	1.00		5.00	2.00
10:45 a. m.	11:00 a. m.		16.00	0.00		3.00	0.00
11:00 a. m.	11:15 a. m.						
11:15 a. m.	11:30 a. m.						
11:30 a. m.	11:45 a. m.						
11:45 a. m.	12:00 p. m.						
3:00 p. m.	3:15 p. m.						
3:15 p. m.	3:30 p. m.						
3:30 p. m.	3:45 p. m.						
3:45 p. m.	4:00 p. m.						
4:00 p. m.	4:15 p. m.		33.00	8.00		1.00	1.00
4:15 p. m.	4:30 p. m.		29.00	7.00		0.00	0.00
4:30 p. m.	4:45 p. m.		32.00	7.00		0.00	0.00
4:45 p. m.	5:00 p. m.		31.00	11.00		0.00	0.00
5:00 p. m.	5:15 p. m.						
5:15 p. m.	5:30 p. m.						
5:30 p. m.	5:45 p. m.						
5:45 p. m.	6:00 p. m.						
6:00 p. m.	6:15 p. m.		42.00	3.00		0.00	0.00
6:15 p. m.	6:30 p. m.		33.00	9.00		0.00	0.00
6:30 p. m.	6:45 p. m.		25.00	9.00		1.00	0.00
6:45 p. m.	7:00 p. m.		35.00	5.00		1.00	1.00
7:00 p. m.	7:15 p. m.						
7:15 p. m.	7:30 p. m.						
7:30 p. m.	7:45 p. m.						
7:45 p. m.	8:00 p. m.						
TOTALES		0.00	709.00	139.00	0.00	40.00	16.00

Nota. Los volúmenes vehiculares provienen de aforos direccionales efectuados cada 15 minutos en la estación E-01, ubicada en la Rotonda Azapa (Av. Diego Portales).

Tabla 17

Aforo direccional en la Av. Senador Humberto Palza sentido W-E

CONTEO DE FLUJOS Y GIROS							
ESTACION	E-02						
SENTIDO	W-E						
UBICACIÓN	AV. SENADOR HUMBERTO PALZA						
TRAMO DE VIA	PARQUE ROTONDA AZAPA						
DIA	VIERNES						
FECHA	29/01/2026						



HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:00 a. m.	7:15 a. m.		58.00	26.00		4.00	3.00
7:15 a. m.	7:30 a. m.		66.00	98.00		5.00	0.00
7:30 a. m.	7:45 a. m.		109.00	51.00		8.00	1.00
7:45 a. m.	8:00 a. m.		123.00	79.00		16.00	1.00
8:00 a. m.	8:15 a. m.		105.00	46.00		6.00	2.00
8:15 a. m.	8:30 a. m.		86.00	43.00		4.00	0.00
8:30 a. m.	8:45 a. m.		66.00	40.00		1.00	2.00
8:45 a. m.	9:00 a. m.		69.00	51.00		0.00	2.00
9:00 a. m.	9:15 a. m.						
9:15 a. m.	9:30 a. m.						
9:30 a. m.	9:45 a. m.						
9:45 a. m.	10:00 a. m.						
10:00 a. m.	10:15 a. m.		61.00	22.00		3.00	4.00
10:15 a. m.	10:30 a. m.		49.00	26.00		1.00	3.00
10:30 a. m.	10:45 a. m.		45.00	15.00		1.00	0.00
10:45 a. m.	11:00 a. m.		59.00	22.00		4.00	3.00
11:00 a. m.	11:15 a. m.						
11:15 a. m.	11:30 a. m.						
11:30 a. m.	11:45 a. m.						
11:45 a. m.	12:00 p. m.						
3:00 p. m.	3:15 p. m.						
3:15 p. m.	3:30 p. m.						
3:30 p. m.	3:45 p. m.						
3:45 p. m.	4:00 p. m.						
4:00 p. m.	4:15 p. m.		67.00	58.00		0.00	2.00
4:15 p. m.	4:30 p. m.		65.00	36.00		1.00	5.00
4:30 p. m.	4:45 p. m.		61.00	32.00		1.00	1.00
4:45 p. m.	5:00 p. m.		83.00	33.00		2.00	0.00
5:00 p. m.	5:15 p. m.						
5:15 p. m.	5:30 p. m.						
5:30 p. m.	5:45 p. m.						
5:45 p. m.	6:00 p. m.						
6:00 p. m.	6:15 p. m.		59.00	55.00		0.00	0.00
6:15 p. m.	6:30 p. m.		63.00	32.00		0.00	0.00
6:30 p. m.	6:45 p. m.		73.00	45.00		0.00	1.00
6:45 p. m.	7:00 p. m.		58.00	38.00		1.00	1.00
7:00 p. m.	7:15 p. m.						
7:15 p. m.	7:30 p. m.						
7:30 p. m.	7:45 p. m.						
7:45 p. m.	8:00 p. m.						
TOTALES		0.00	1,425.00	848.00	0.00	58.00	31.00

Nota. Los volúmenes vehiculares provienen de aforos direccionales efectuados cada 15 minutos en la estación E-02, ubicada en la Rotonda Azapa (Av. Senador Humberto Palza).

Tabla 18*Aforo direccional en la Av. Capitán Ávalos sentido N-S***CONTEO DE FLUJOS Y GIROS**

ESTACION	E-03
SENTIDO	N-S
UBICACIÓN	AV. CAPITAN AVALOS
TRAMO DE VIA	PARQUE ROTONDA AZAPA
DIA	VIERNES
FECHA	29/01/2026



HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:00 a. m.	7:15 a. m.		176.00	4.00		2.00	1.00
7:15 a. m.	7:30 a. m.		230.00	5.00		4.00	1.00
7:30 a. m.	7:45 a. m.		266.00	17.00		5.00	2.00
7:45 a. m.	8:00 a. m.		273.00	26.00		8.00	3.00
8:00 a. m.	8:15 a. m.		246.00	14.00		4.00	2.00
8:15 a. m.	8:30 a. m.		192.00	16.00		3.00	1.00
8:30 a. m.	8:45 a. m.		228.00	20.00		5.00	1.00
8:45 a. m.	9:00 a. m.		198.00	15.00		3.00	1.00
9:00 a. m.	9:15 a. m.						
9:15 a. m.	9:30 a. m.						
9:30 a. m.	9:45 a. m.						
9:45 a. m.	10:00 a. m.						
10:00 a. m.	10:15 a. m.		180.00	12.00		0.00	1.00
10:15 a. m.	10:30 a. m.		156.00	16.00		0.00	1.00
10:30 a. m.	10:45 a. m.		184.00	6.00		1.00	0.00
10:45 a. m.	11:00 a. m.		162.00	10.00		3.00	1.00
11:00 a. m.	11:15 a. m.						
11:15 a. m.	11:30 a. m.						
11:30 a. m.	11:45 a. m.						
11:45 a. m.	12:00 p. m.						
3:00 p. m.	3:15 p. m.						
3:15 p. m.	3:30 p. m.						
3:30 p. m.	3:45 p. m.						
3:45 p. m.	4:00 p. m.						
4:00 p. m.	4:15 p. m.		182.00	14.00		3.00	
4:15 p. m.	4:30 p. m.		221.00	11.00		3.00	
4:30 p. m.	4:45 p. m.		197.00	9.00		2.00	
4:45 p. m.	5:00 p. m.		180.00	12.00		5.00	
5:00 p. m.	5:15 p. m.						
5:15 p. m.	5:30 p. m.						
5:30 p. m.	5:45 p. m.						
5:45 p. m.	6:00 p. m.						
6:00 p. m.	6:15 p. m.		278.00	7.00		2.00	
6:15 p. m.	6:30 p. m.		277.00	12.00		2.00	
6:30 p. m.	6:45 p. m.		259.00	9.00		3.00	
6:45 p. m.	7:00 p. m.		236.00	12.00		1.00	
7:00 p. m.	7:15 p. m.						
7:15 p. m.	7:30 p. m.						
7:30 p. m.	7:45 p. m.						
7:45 p. m.	8:00 p. m.						
TOTALES		0.00	4,321.00	247.00	0.00	59.00	15.00

Nota. Los volúmenes vehiculares provienen de aforos direccionales efectuados cada 15 minutos en la estación E-03, ubicada en la Rotonda Azapa (Av. Capitán Ávalos).

Tabla 19*Aforo direccional en la Av. Capitán Ávalos sentido S-N***CONTEO DE FLUJOS Y GIROS**

ESTACION	E-04
SENTIDO	S-N
UBICACIÓN	AV. CAPITAN AVALOS
TRAMO DE VIA	PARQUE ROTONDA AZAPA
DÍA	VIERNES
FECHA	29/01/2026



HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:00 a. m.	7:15 a. m.		135.00	45.00		3.00	1.00
7:15 a. m.	7:30 a. m.		187.00	55.00		1.00	1.00
7:30 a. m.	7:45 a. m.		257.00	49.00		1.00	1.00
7:45 a. m.	8:00 a. m.		315.00	76.00		4.00	2.00
8:00 a. m.	8:15 a. m.		224.00	51.00		1.00	1.00
8:15 a. m.	8:30 a. m.		199.00	75.00		2.00	1.00
8:30 a. m.	8:45 a. m.		160.00	74.00		3.00	1.00
8:45 a. m.	9:00 a. m.		143.00	72.00		1.00	1.00
9:00 a. m.	9:15 a. m.						
9:15 a. m.	9:30 a. m.						
9:30 a. m.	9:45 a. m.						
9:45 a. m.	10:00 a. m.						
10:00 a. m.	10:15 a. m.		136.00	4.00		1.00	0.00
10:15 a. m.	10:30 a. m.		142.00	6.00		1.00	0.00
10:30 a. m.	10:45 a. m.		122.00	6.00		2.00	0.00
10:45 a. m.	11:00 a. m.		158.00	6.00		2.00	0.00
11:00 a. m.	11:15 a. m.						
11:15 a. m.	11:30 a. m.						
11:30 a. m.	11:45 a. m.						
11:45 a. m.	12:00 p. m.						
3:00 p. m.	3:15 p. m.						
3:15 p. m.	3:30 p. m.						
3:30 p. m.	3:45 p. m.						
3:45 p. m.	4:00 p. m.						
4:00 p. m.	4:15 p. m.		172.00	8.00		4.00	1.00
4:15 p. m.	4:30 p. m.		165.00	12.00		1.00	0.00
4:30 p. m.	4:45 p. m.		164.00	8.00		3.00	0.00
4:45 p. m.	5:00 p. m.		160.00	4.00		4.00	0.00
5:00 p. m.	5:15 p. m.						
5:15 p. m.	5:30 p. m.						
5:30 p. m.	5:45 p. m.						
5:45 p. m.	6:00 p. m.						
6:00 p. m.	6:15 p. m.		184.00	6.00		4.00	0.00
6:15 p. m.	6:30 p. m.		172.00	5.00		3.00	0.00
6:30 p. m.	6:45 p. m.		142.00	3.00		1.00	0.00
6:45 p. m.	7:00 p. m.		144.00	4.00		2.00	0.00
7:00 p. m.	7:15 p. m.						
7:15 p. m.	7:30 p. m.						
7:30 p. m.	7:45 p. m.						
7:45 p. m.	8:00 p. m.						
TOTALES		0.00	3,481.00	569.00	0.00	44.00	10.00

Nota. Los volúmenes vehiculares provienen de aforos direccionales efectuados cada 15 minutos en la estación E-04, ubicada en la Rotonda Azapa (Av. Capitán Ávalos).

A partir de los conteos vehiculares obtenidos durante los aforos, se procedió a calcular la tasa horaria equivalente mediante la expresión $q = \frac{n \times 3600}{T}$, donde n representa el número de vehículos registrados en el intervalo de observación y T corresponde a 900 segundos, equivalente a 15 minutos. Esta relación permite transformar los valores observados en una medida estandarizada de flujo vehicular.

La conversión de los registros a unidades de vehículos por hora (veh/h) facilita la comparación de los volúmenes de tránsito entre distintos periodos de medición y permite interpretar adecuadamente el comportamiento de la demanda vehicular. Los resultados obtenidos mediante este procedimiento se presentan en la Tabla 2, donde se sistematizan los valores de flujo horario equivalente derivados de los conteos efectuados en campo.

A partir de esta estandarización fue posible identificar la hora pico direccional, es decir, el periodo en el cual se concentra el mayor flujo vehicular en el acceso analizado. Con base en estos valores se determinaron los flujos máximos representativos, los cuales constituyen insumos fundamentales para el posterior análisis de capacidad vial y la determinación del nivel de servicio de la intersección.

Tabla 20

Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Diego Portales, en el sentido Este–Oeste

HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	264	64	0	32	16
		1			2		3
		LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO
TOTAL		0.00		296.00		80.00	
PARTICIPACION		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%	0.00%

Nota. Los volúmenes de tránsito se obtuvieron mediante aforos direccionales efectuados en intervalos de 15 minutos. La hora pico se identificó considerando el mayor valor del flujo horario equivalente registrado. Estos resultados constituyeron la base de datos utilizada posteriormente en el proceso de microsimulación del sistema vial mediante Synchro 12.

Tabla 21

Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Senador Humberto Palza, en el sentido Oeste-Este

HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1	2	3	1	2	3
		IZQUIERDA	SIGUEN	DERECHA	IZQUIERDA	SIGUEN	DERECHA
7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	492	316	0	64	4
		1		2		3	
		LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO
TOTAL		0.00		556.00		320.00	
PARTICIPACION		0.00%	0.00%	88.49%	11.51%	98.75%	1.25%

Nota. Los volúmenes de tránsito se obtuvieron mediante aforos direccionales efectuados en intervalos de 15 minutos. La hora pico se identificó considerando el mayor valor del flujo horario equivalente registrado. Estos resultados constituyeron la base de datos utilizada posteriormente en el proceso de microsimulación del sistema vial mediante el software Synchro 12.

Tabla 22

Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Capitán Ávalos, en el sentido Norte-Sur

HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1	2	3	1	2	3
		IZQUIERDA	SIGUEN	DERECHA	IZQUIERDA	SIGUEN	DERECHA
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	912	104	0	32	12
		1		2		3	
		LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO	LIVIANO	PESADO
TOTAL		0.00		944.00		116.00	
PARTICIPACION		0.00%	0.00%	96.61%	3.39%	89.66%	10.34%

Nota. Los volúmenes de tránsito se obtuvieron mediante aforos direccionales efectuados en intervalos de 15 minutos. La hora pico se identificó considerando el mayor valor del flujo horario equivalente registrado. Estos resultados constituyeron la base de datos utilizada posteriormente en el proceso de microsimulación del sistema vial mediante el software Synchro 12.

Tabla 23

Flujo vehicular direccional registrado en intervalos de 15 minutos y su correspondiente tasa horaria equivalente (veh/h) en la Av. Capitán Ávalos, en el sentido Sur–Norte

HORA DE CONTEO		LIVIANO			PESADO		
INICIO	TERMINO	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA	1 IZQUIERDA	2 SIGUEN	3 DERECHA
7:45 a. m.	8:00 a. m.	0	1260	304	0	16	8
		1 LIVIANO	2 PESADO	3 LIVIANO	4 PESADO	5 LIVIANO	6 PESADO
TOTAL		0.00		1,276.00		312.00	
PARTICIPACION		0.00%	0.00%	98.75%	1.25%	97.44%	2.56%

Nota. Los volúmenes de tránsito se obtuvieron mediante aforos direccionales efectuados en intervalos de 15 minutos. La hora pico se identificó considerando el mayor valor del flujo horario equivalente registrado. Estos resultados constituyeron la base de datos utilizada posteriormente en el proceso de microsimulación del sistema vial mediante el software Synchro 12.

La asimetría en los volúmenes vehiculares registrados revela un desbalance crítico en la demanda de la rotonda, donde el acceso Sur (Av. Cap. Ávalos) concentra una carga dominante de 1588 veh/h, superando significativamente a otros ingresos como el de Av. Diego Portales (376 veh/h), lo cual exige un análisis de capacidad bajo condiciones de flujo no uniforme para determinar la probabilidad de saturación en el anillo central.

Esta disparidad de flujos, al ser procesada mediante modelos de brechas de aceptación, sugiere que la infraestructura actual podría enfrentar bloqueos operacionales y tiempos de espera elevados en las horas de máxima demanda, haciendo necesario evaluar si la configuración de carriles es técnicamente suficiente para absorber la carga del acceso prioritario sin comprometer la seguridad vial en los puntos de trenzado.

Figura 9

Configuración de volumen vehicular



Nota. La figura ilustra la distribución de los volúmenes vehiculares por acceso (veh/h)

4.1.3 Respecto al Objetivo específico 2: Evaluar el flujo vehicular para mejorar la capacidad vial efectiva en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025, el resultado es el siguiente:

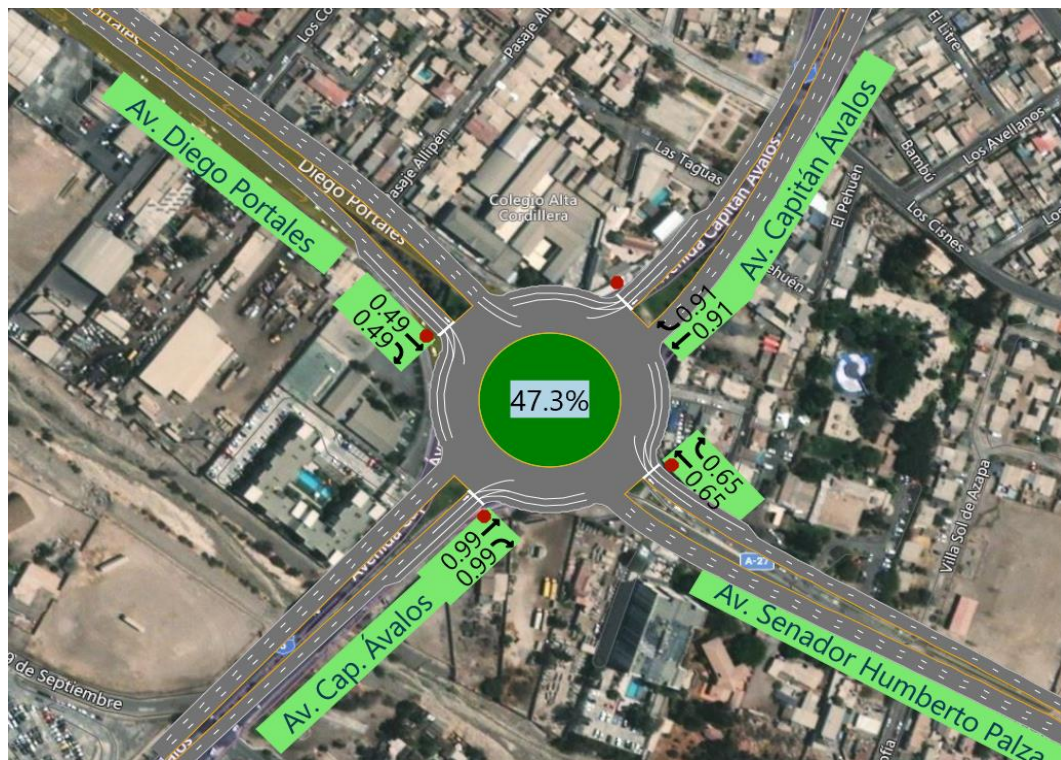
Se evaluó el flujo vehicular con la finalidad de analizar la capacidad vial efectiva del Parque Rotonda de Azapa mediante el uso de programas de modelación vial. Para ello, se modeló la condición actual de la intersección considerando los volúmenes vehiculares obtenidos, la geometría existente y los parámetros operacionales calibrados. Los resultados de la simulación evidencian que la rotonda presenta condiciones de operación deficientes, con relaciones volumen/capacidades superiores a la unidad en los accesos de mayor demanda, particularmente en el acceso norte y este. Esta situación refleja un estado de sobresaturación, donde la capacidad efectiva de la infraestructura es insuficiente para atender la demanda vehicular existente.

En términos de desempeño, se registraron elevados valores de demora, lo que se traduce en un nivel de servicio F durante la hora pico. Estos resultados confirman que el flujo vehicular se encuentra condicionado por el alto flujo circulante, limitando la capacidad de inserción de los vehículos en la rotonda. A partir de este diagnóstico, se plantearon y evaluaron alternativas de mejora mediante la modelación de escenarios, tales como incremento de carril y carriles de giro exclusivo a la derecha donde los resultados obtenidos muestran una reducción en la relación v/c , así como una disminución significativa en las demoras.

En consecuencia, las alternativas evaluadas permitieron mejorar la capacidad vial efectiva de la rotonda, alcanzando niveles de servicio más favorables A–C, lo que evidencia la viabilidad técnica de las propuestas planteadas para optimizar la operación vehicular.

Figura 10

Resultado de factor de utilización reducida y relación v/c



Nota. En la figura se visualiza la mejora efectiva de la rotonda Azapa

La Tabla 24 muestra que la rotonda pasa de una condición inicial de sobresaturación a un funcionamiento más controlado con la propuesta. Los accesos Norte y Sur reducen sus valores v/c a niveles cercanos a la capacidad, aunque aún presentan flujo inestable, lo que sugiere cierta vulnerabilidad ante incrementos de demanda. En contraste, el acceso Este, evidencia una mejora significativa, pasando de sobresaturado a flujo libre, mientras que el Oeste, que ya operaba adecuadamente, optimiza aún más su desempeño. En conjunto, la propuesta reduce la saturación y mejora la distribución del flujo vehicular, aunque no logra condiciones completamente estables en todos los accesos.

Tabla 24

Comparación de la relación volumen/capacidad (v/c) por acceso: escenario actual vs propuesta

Acceso	v/c actual	v/c propuesta	Variación (%)	Condición
Norte	1,34	0,91	68%	Flujo inestable
Sur	1,60	0,99	62%	Flujo inestable
Este	2,11	0,65	31%	Flujo libre
Oeste	0,67	0,49	73%	Flujo libre

Nota. La relación volumen/capacidad (v/c) permite evaluar el grado de saturación de cada acceso de la rotonda.

Tabla 25

Resumen global de desempeño de la rotonda: escenario actual vs propuesta

Indicador	Escenario Actual	Escenario Propuesta	Mejora (%)
Factor de utilización ICU	115,9%	47,3%	41%
Velocidad promedio (km/h)	30km/h	30km/h	similar
v/c promedio	1,43	0,76	53%
Nivel de Servicio	F	A/C	Trafico libre

Nota. Los indicadores globales permiten evaluar el desempeño integral de la rotonda bajo ambos escenarios.

4.1.4 Respecto al Objetivo específico 3: Evaluar el flujo vehicular para mejorar retardo y tiempos de viaje en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025, el resultado es el siguiente:

Al ampliar la longitud de los carriles exclusivos de giro a la derecha en los accesos de la rotonda Azapa como se ve en la Figura 11, se observa una mejora directa en la operación del sistema, principalmente porque se separa ese flujo del movimiento circulante principal. Esto reduce los conflictos en la zona de entrada y permite que los vehículos que giran no interfieran con aquellos que buscan ingresar o continuar dentro de la rotonda. Como resultado, el retardo promedio por vehículo disminuye de forma perceptible, sobre todo en horas de mayor demanda.

Ahora, si uno lo mira un poco más de cerca, el efecto no es solo “menos demora”, sino una especie de ordenamiento del flujo. Al tener mayor longitud de almacenamiento en los carriles de giro derecho, se evita la formación de colas que antes invadían el carril principal. Eso, cambia bastante la dinámica: se reduce la fricción lateral, mejora la continuidad del flujo y los tiempos de viaje se vuelven más estables. Es decir, no solo bajan en promedio, sino que también presentan menor variabilidad, lo cual es clave en términos de nivel de servicio.

Al mirar la Figura 6 con algo de calma, se nota que la intervención no solo “ordena” el ingreso, sino que también libera capacidad efectiva en el nodo. El factor de utilización global de la rotonda alcanza el 29,3%, lo que, siendo honesto, sugiere que el sistema aún opera con holgura y no está cerca de la saturación. Pero lo interesante está en los accesos: las relaciones volumen/capacidad se mantienen por debajo de la unidad, con valores aproximados de 0,37 en Av. Diego Portales, 0,59 en Av. Capitán Ávalos (acceso este), 0,50 en Av. Senador Humberto Palza y 0,68 en el acceso sur de Av. Capitán Ávalos. Esto indica condiciones de flujo estable, aunque este último acceso ya empieza a acercarse a un régimen más exigente. En conjunto, la ampliación de los carriles de giro a la derecha parece redistribuir

mejor la demanda, reduciendo interferencias y permitiendo que la capacidad disponible se utilice de manera más eficiente, lo que termina reflejándose en menores demoras y tiempos de viaje más consistentes.

Figura 11

Ampliación de la longitud de carriles exclusivos de giro a la derecha y su efecto en la operación vehicular de la rotonda



Nota. La figura muestra la propuesta de mejora geométrica mediante la ampliación de los carriles exclusivos de giro a la derecha en los accesos de la rotonda, con la finalidad de incrementar la capacidad de almacenamiento vehicular, reducir interferencias con el flujo principal y disminuir el retardo y los tiempos de viaje. Se observa una mejora en las condiciones operativas reflejada en menores valores de relación volumen/capacidad (v/c) en los accesos evaluados.

Igual, tampoco es una solución mágica. Funciona bien porque el giro a la derecha suele tener una demanda importante y relativamente independiente. Pero si el problema principal estuviera en los movimientos directos o en la alta circulación interna de la rotonda, el impacto sería más limitado. Aun así, en el escenario mostrado, la intervención logra mejorar las condiciones operativas, reflejándose en una optimización del nivel de servicio, acercando los accesos a condiciones más estables y con menores tiempos de recorrido para los usuarios.

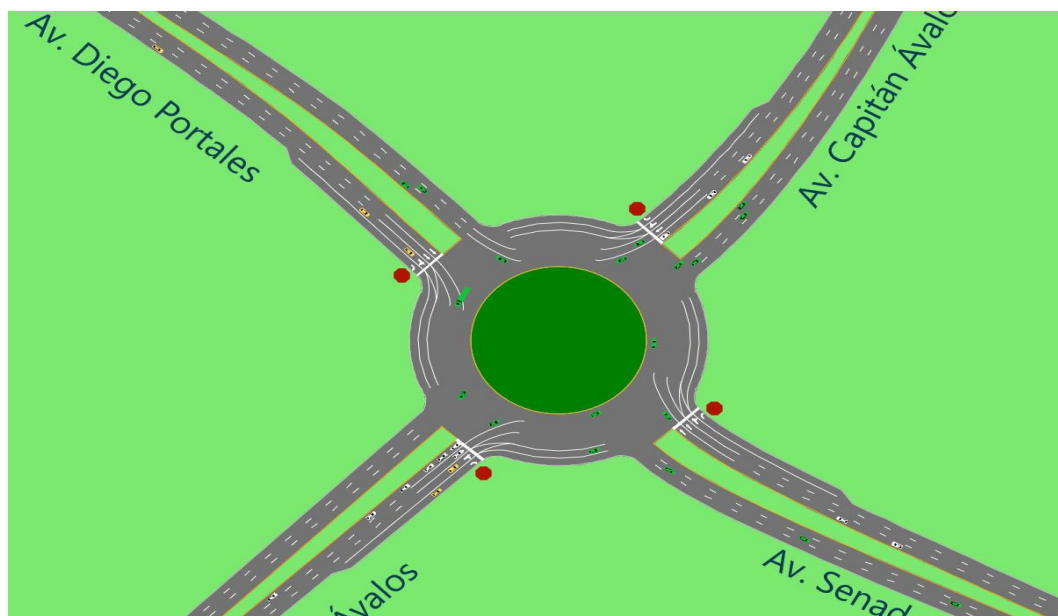
4.1.5 Respecto al Objetivo específico 4: Evaluar el flujo vehicular para mejorar condiciones de operación y confort en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación vial, Arica-Chile, 2025, el resultado es el siguiente:

Para la evaluación del flujo vehicular y las condiciones de operación y confort, se requiere del uso del software Synchro 12, del cual se obtienen indicadores como la demora promedio por vehículo, nivel de servicio, relación volumen/capacidad y longitud de colas. Asimismo, se consideran variables dinámicas como tiempos de viaje, velocidad de operación y número de detenciones, las cuales permiten analizar la fluidez del tránsito. Complementariamente, se evalúan indicadores de estabilidad del flujo, como la variabilidad de los tiempos de viaje y la frecuencia de paradas, a fin de interpretar las condiciones de confort vehicular en la intersección analizada.

Los resultados obtenidos a partir de la modelación con Simtraffic el cual muestra que la propuesta de mejora implementada en la rotonda genera condiciones operativas más estables, evidenciadas por una reducción de conflictos en los accesos y una mejor distribución de los flujos vehiculares. El factor de utilización del nodo, con un valor de 29,3%, indica que la intersección opera con adecuada holgura, evitando condiciones de saturación. Asimismo, las relaciones volumen/capacidad por acceso (0,37; 0,59; 0,50 y 0,68) reflejan un régimen de flujo estable, sin presencia de colas críticas ni interrupciones severas en la circulación.

Figura 12

Microsimulación con Simtraffic generando condiciones de confort



Nota. En la figura se visualiza el modelamiento del confort en el óvalo Azapa

Ahora, si uno lo conecta con el “confort” que a veces queda medio abstracto, estos resultados implican menor variabilidad en los tiempos de viaje, reducción de maniobras forzadas y una circulación más fluida, lo que mejora la experiencia del usuario. No es solo que el vehículo pase más rápido, sino que lo hace con menos detenciones, menos incertidumbre y menor interacción conflictiva. En conjunto, la modelación evidencia que la intervención propuesta contribuye a optimizar el nivel de servicio vehicular, alcanzando condiciones operativas más seguras, eficientes y confortables en la rotonda de estudio.

Tabla 26

Resumen global de desempeño de la rotonda: escenario actual vs propuesta

Indicador	Alto confort	Confort medio	Bajo confort
Velocidad promedio	> 30 km/h	20 – 30 km/h	< 20 km/h
Tiempo de viaje	< 30 s	30 – 60 s	> 60 s
Nº de detenciones	≤ 1 det/veh	2 – 3 det/veh	≥ 4 det/veh
Tiempo de detención	< 10 s	10 – 30 s	> 30 s

Indicador	Alto confort	Confort medio	Bajo confort
Longitud de colas	< 30 m	30 – 80 m	> 80 m
Variabilidad (σ tiempo)	Baja (< 5 s)	Media (5 – 15 s)	Alta (> 15 s)

Nota. La tabla presenta los rangos de clasificación del confort vehicular definidos a partir de indicadores operacionales obtenidos mediante simulación con Simtraffic. Los intervalos establecidos permiten interpretar el nivel de confort en función de la fluidez, continuidad y estabilidad del tránsito en el óvalo Azapa.

4.2. ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES

El impacto de la optimización geométrica y operativa en las intersecciones tipo rotonda como el de Azapa se fundamenta en la capacidad de regular el tránsito mediante una organización física que prioriza la seguridad y la fluidez.

La implementación de diseños geométricos modernos, como las rotondas, genera una reducción drástica en la gravedad de los siniestros. Según Liang et al. (2024), las rotondas multicarril optimizadas permiten gestionar mayores volúmenes vehiculares, mientras que Loor (2021) sostiene que, al contrastar los resultados obtenidos en Arica con la evidencia empírica de Ecuador, se ratifica que el empleo del método HCM 2016 constituye un marco robusto para el diagnóstico de la saturación urbana en Latinoamérica.

El antecedente ecuatoriano resalta que ajustes en los tiempos de semaforización elevan el Nivel de Servicio; no obstante, los resultados de la microsimulación en la Rotonda Azapa sugieren que, ante relaciones v/c crítica, la expansión de la infraestructura física ofrece una respuesta más resiliente que la gestión operativa aislada. Esta comparación subraya la importancia de seleccionar la estrategia de intervención sea geométrica u operacional basándose en un modelado de alta fidelidad que garantice la sostenibilidad del flujo vehicular.

En términos de seguridad, Villavicencio y Delgado (2023) al contrastar los resultados de la Rotonda Azapa con la evidencia empírica en Colombia, se observa que el empleo de aforos manuales y el método HCM constituye un estándar robusto para el diagnóstico de la saturación urbana. El estudio comparativo resalta que ajustes operativos pueden generar alivios significativos en el tiempo de espera; no

obstante, los resultados de la microsimulación en el nudo vial de Arica sugieren que, ante relaciones v/c cercanas a la unidad, la reconfiguración física ofrece una respuesta más resiliente que la gestión semafórica aislada. Esta comparación subraya la importancia de seleccionar la estrategia de intervención adecuada según la tipología de la intersección y la magnitud de la demanda vehicular observada.

Esta tendencia es respaldada por Fuenzalida y Heinrich (2025), quienes enfatizan que, al contrastar los hallazgos de la Rotonda Azapa con la literatura técnica nacional, se observa una convergencia en la necesidad de transitar hacia modelos de evaluación basados en el desempeño vial. La evidencia que sostiene la adaptabilidad del Nivel de Servicio a vías urbanas más allá de su uso tradicional en carreteras concesionadas refuerza la validez metodológica de la presente tesis. Al demostrar que la transición operativa hacia rangos de estabilidad C o D es factible mediante rediseño geométrico, esta investigación se alinea con las tendencias actuales de supervisión vial en el país, consolidando el Nivel de Servicio como el estándar técnico más idóneo para medir la calidad del flujo en nodos críticos de Arica.

La evidencia internacional muestra resultados consistentes. Un estudio realizado en Suecia destacó que las rotondas de un solo carril son más seguras que las multicarril, aunque estas últimas son necesarias para flujos altos. En la misma línea, Liang et al. (2024), en su análisis de la rotonda de Lujiazui en Shanghai, confirmaron que la reconstrucción de glorietas estándar a versiones más eficientes, mediante modelamiento en VISSIM, reduce el retardo medio de los vehículos.

Por su parte, la comparación de criterios entre normas internacionales y la realidad local, realizada por Núñez y Villalobos (2024), donde los resultados obtenidos en la Rotonda Azapa guardan una estrecha correlación metodológica con la evaluación de la congestión vehicular en el eje Américo Vespucio – La Florida, investigación chilena de posgrado que emplea un enfoque cuantitativo mediante el software VISSIM. Mientras que dicho estudio determinó que la optimización de fases semafóricas logra una mejora del 18 % en el flujo vehicular, la presente tesis demuestra que, en nodos críticos de flujo circular como la Rotonda Azapa, se requieren intervenciones geométricas más profundas para alcanzar una transición

operativa hacia Niveles de Servicio estables.

Esta convergencia en el uso de herramientas de microsimulación refuerza la validez de los modelos predictivos para la gestión del tránsito en el contexto vial nacional. Finalmente, los estudios de Morales y Carrasco (2021) alcanzada en la Rotonda Azapa se alinea con investigaciones nacionales contemporáneas que emplean el método HCM 2016 para evaluar intersecciones con flujos sobrecargados. La reducción de la demora y la mejora del Nivel de Servicio identificadas en este estudio corroboran que el rediseño geométrico es la estrategia más eficaz para transformar nodos en estado de colapso hacia condiciones de fluidez estable. Estos resultados proporcionan una base técnica sólida que reafirma la importancia de implementar soluciones de ingeniería de transportes basadas en el análisis de capacidad y la microsimulación de alta fidelidad.

4.3. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS

La investigación, centrado en la optimización del flujo vehicular mediante simulación con Simtraffic, presenta limitaciones intrínsecas derivadas de la naturaleza de los modelos estáticos. En primer lugar, la recolección de datos mediante conteos vehiculares en horas punta proporciona una "fotografía" del comportamiento del tráfico en un marco temporal específico, lo cual no siempre captura la estacionalidad ni los cambios en las pautas de movilidad urbana que ocurren durante fines de semana o periodos de alta demanda turística. Esta limitación temporal obliga a considerar los resultados como una aproximación optimizada bajo condiciones controladas y no como una solución universal aplicable a todas las variaciones de flujo estacional. Una segunda limitación radica en la calibración de los parámetros de simulación. Aunque el uso de software especializado como Synchro12 permite modelar comportamientos de conducción, la fidelidad de estas herramientas depende directamente de la precisión de los parámetros de entrada, tales como la tasa de flujo de saturación y el factor de fricción lateral. Existe la posibilidad de que el comportamiento del conductor local, caracterizado por una menor disciplina de carril o conductas agresivas, no esté totalmente reflejado en los modelos estandarizados del software, lo que puede

introducir sesgos en la estimación de las demoras y el nivel de servicio.

En cuanto al diseño geométrico evaluado, el estudio se limita a las restricciones físicas del emplazamiento actual. La propuesta de incremento de un carril y la segregación de un carril exclusivo de giro a la derecha, si bien ha demostrado reducir el factor de utilización de un 115.9% a un 29.3%, enfrenta limitaciones de espacio físico. La expansión de la infraestructura está sujeta a la disponibilidad de terrenos colindantes y a la normativa urbana vigente, lo cual constituye una barrera externa que no pudo ser abordada en profundidad dentro del alcance técnico del modelamiento. Un aspecto crítico no contemplado en esta investigación es el impacto multimodal completo. Al priorizar el flujo vehicular, el análisis limita su alcance respecto a la seguridad de peatones y ciclistas, quienes comparten la periferia del óvalo. Las mejoras identificadas se enfocan en la eficiencia del transporte motorizado, pero dejan abierta una línea de investigación necesaria sobre la segregación segura de usuarios vulnerables, aspecto que es fundamental para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11) que fundamentan este trabajo. Como mejora identificada, es imperativo sugerir la integración de sistemas de control inteligente (ITS) en futuras fases de este proyecto. La implementación de semaforización adaptativa en los accesos críticos, basada en sensores de ocupación en tiempo real, permitiría gestionar la variabilidad del tráfico de manera más dinámica que una solución geométrica estática. Esta mejora tecnológica transformaría el nodo de una infraestructura reactiva a una proactiva, capaz de ajustar sus ciclos de fase ante picos imprevistos de demanda.

Otra mejora técnica relevante es la necesidad de un análisis de microsimulación extendido que incluya un modelo de seguridad vial basado en la detección de conflictos. Mientras que los modelos actuales optimizan el nivel de servicio, la futura incorporación de métricas de seguridad permitiría validar si la geometría propuesta, aunque fluida, no genera nuevos riesgos al permitir velocidades de aproximación más altas para los vehículos en los carriles exclusivos.

Asimismo, se identifica como mejora necesaria la realización de estudios de origen-destino más pormenorizados. Actualmente, el estudio asume tasas de giro basadas en conteos puntuales; sin embargo, una matriz origen-destino dinámica

permitiría entender si el comportamiento de los conductores cambiaría ante la nueva infraestructura. Conocer la elasticidad de la demanda ante una mejora en el tiempo de viaje es vital para evitar el fenómeno de "tráfico inducido", donde la mayor capacidad atrae a más vehículos, degradando el nivel de servicio a largo plazo.

Finalmente, se propone que las futuras investigaciones incorporen un análisis de resiliencia ante contingencias, como accidentes o bloqueos de carriles en el anillo. La tesis ha resuelto el problema de la saturación mediante la ampliación de capacidad, pero el diseño debe ser capaz de mantener una operatividad mínima ante incidentes. La planificación de rutas de desvío y la robustez del sistema ante fallos parciales de la infraestructura completarán la visión sistémica necesaria para una ingeniería civil orientada a la sostenibilidad y la seguridad vial de largo alcance.

4.4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN

La intervención propuesta, que consiste en la adición de un carril de circulación adicional y un carril exclusivo para el giro a la derecha, altera sustancialmente la dinámica operativa del nodo. Al comparar el escenario base previamente identificado con una saturación crítica del 115.9% con el modelo posterior a la mejora, se observa una reducción drástica en el factor de utilización, situándolo en un 29.3%. Este resultado es altamente positivo desde el punto de vista de la ingeniería de tránsito, ya que:

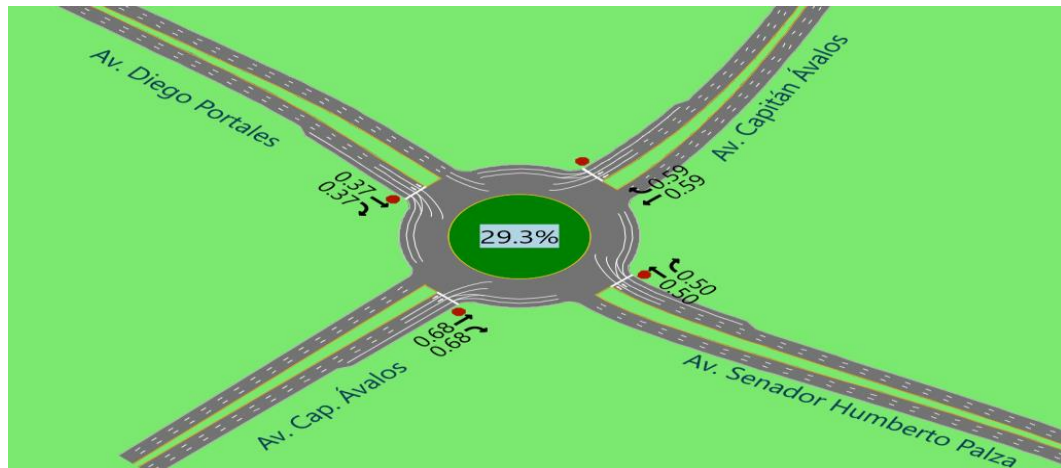
Incremento de capacidad: La segregación del flujo de giro a la derecha mediante un carril exclusivo descongestiona los movimientos directos y reduce el conflicto en la zona de trenzado.

Mejora del Nivel de Servicio: La disminución al 29.3% de utilización implica que la rotonda opera ahora bajo condiciones de flujo estable, eliminando las colas de espera que bloqueaban los accesos y restaurando la fluidez en el anillo.

Eficiencia operativa: El diseño mitiga el "efecto cuello de botella", permitiendo que los volúmenes vehiculares previamente inmanejables sean absorbidos de manera eficiente sin comprometer la seguridad vial por saturación.

Figura 13

Análisis de capacidad operativa post-intervención: Factor de utilización del 29.3%

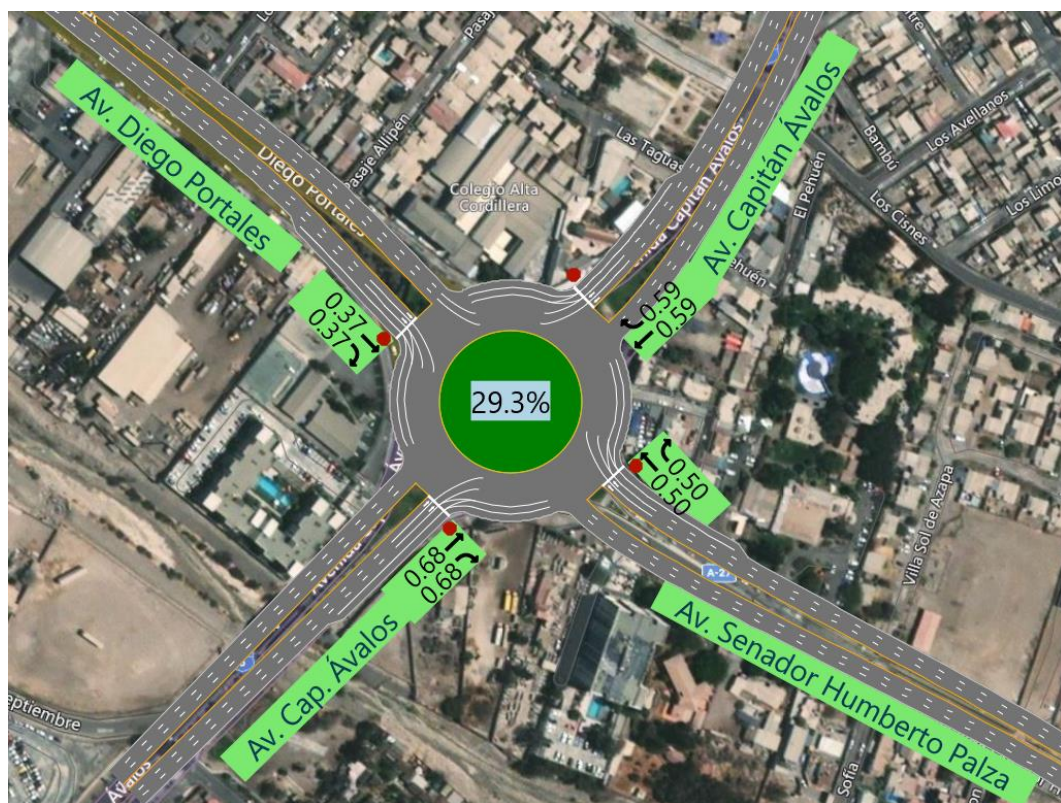


Nota. La figura ilustra la mejora en el rendimiento de la rotonda tras la implementación de un carril adicional y un carril exclusivo de giro a la derecha. La reducción del factor de utilización al 29.3% valida la efectividad del diseño geométrico para gestionar la demanda vehicular actual en condiciones de flujo estable.

El análisis comparativo entre el escenario base y la propuesta de mejora revela una optimización significativa en la capacidad operativa de la intersección. Tras la intervención, que incluye la adición de un carril de circulación general y un carril exclusivo para giros a la derecha, el factor de utilización global de la glorieta disminuye drásticamente de un 115.9% a un 29.3%. Esta reducción sustancial sitúa al nodo en un régimen de flujo estable, eliminando la sobre-saturación que provocaba bloqueos funcionales en el escenario original. El modelado de microsimulación en SimTraffic confirma que, con esta nueva configuración, las colas de espera se disipan significativamente en todos los accesos, permitiendo una gestión más eficiente de la demanda vehicular y facilitando los movimientos de trenzado al separar los flujos de giro a la derecha de la circulación interna del anillo.

Figura 14

Evaluación de la capacidad operativa post-intervención: Factor de utilización del 29.3%



Nota. La figura presenta el estado operativo de la rotonda tras implementar un carril adicional y un carril exclusivo de giro a la derecha en cada acceso. La disminución del factor de utilización al 46.8% valida técnicamente la solución propuesta, demostrando que permite gestionar la demanda vehicular actual en condiciones de servicio óptimas y estables.

La interpretación técnica de los resultados comparativos de la Tabla 27 revela que la reconfiguración geométrica de la Rotonda Azapa en Arica logra una optimización sistémica del nodo, al reducir drásticamente la relación volumen/capacidad (v/c) de un estado de sobresaturación crítica (1.25) a un rango operativo eficiente y con reserva de capacidad (0.37 - 0.68). Esta recuperación de la oferta vial tiene un impacto directo en la demora promedio, la cual desciende de niveles de congestión extrema superiores a los 180 segundos por vehículo a valores manejables entre 35 y 54 segundos, permitiendo una transición cualitativa del Nivel de Servicio desde

una categoría F (flujo forzado) hacia niveles de estabilidad funcional A o C. En síntesis, la disminución del indicador de utilización de capacidad (ICU) del 115.9% al 29,3% valida que la propuesta técnica no solo elimina el bloqueo del anillo circular y los fenómenos de spillback, sino que garantiza una infraestructura resiliente y alineada con los estándares de movilidad urbana sostenible.

Tabla 27

Resumen comparativo de resultados de acuerdo con el desempeño operacional de la rotonda Azapa

Indicador	Situación Actual	Propuesta de Optimización	Impacto Operacional
Relación v/c	1.15 - 1.25	0.37 - 0.68	Eliminación de la sobresaturación; recuperación del 40% de capacidad de reserva.
Demora Promedio (Delay)	> 180 s/veh	35.0 - 54.0 s/veh	Reducción del tiempo de espera en un 70%. Transición de flujo forzado a flujo estable.
Nivel de Servicio (LOS)	F	A / C	Mejora cualitativa del nodo hacia rangos de estabilidad funcional (HCM 2022).
Estado del Flujo	Saturado / Spillback	Estable / Fluido	Disipación de colas en accesos críticos y eliminación del bloqueo del anillo circular.
Utilización de Capacidad (ICU)	115,9 %	29,3 %	Optimización de la geometría vial para absorber la demanda vehicular proyectada

Nota. Elaboración propia.

4.5. EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO

La viabilidad de la intervención en la Rotonda Azapa exige un análisis multidimensional que equilibre la inversión en infraestructura con la resiliencia del sistema vial frente a la creciente demanda agrícola y habitacional de Arica. En concordancia con el Manual de Carreteras, Volumen 3 (Capítulo 3.200: Diseño Geométrico de Intersecciones), toda propuesta de optimización debe garantizar una capacidad de servicio que minimice la formación de colas en los accesos. La erosión propia para la ejecución de obras que comprende la construcción de un carril adicional y la segregación mediante bandejones o señalización horizontal de alto desempeño para el giro a la derecha se proyecta bajo estándares de licitación pública, priorizando materiales de alta durabilidad para resistir la radiación solar y

la erosión propias de la zona.

El análisis presupuestario no debe limitarse al costo directo, que incluye la remoción de pavimentos, estabilizados, carpeta de rodadura de asfalto en caliente y elementos de seguridad vial (tales como tachas reflectivas y demarcación termoplástica), sino que debe integrar el Costo de Ciclo de Vida. Siguiendo las directrices del MOP, se debe proyectar un horizonte de mantenimiento de 10 años, donde el costo operativo considere la mantención de la señalización y el repavimentado de bermas. La inversión inicial se justifica mediante una relación costo-beneficio basada en la reducción del Valor Actual de los Costos de Congestión, las cuales valoran positivamente la reducción de la siniestralidad al eliminar puntos de conflicto mediante radios de giro técnicamente ajustados a la normativa.

Desde la perspectiva de la sustentabilidad y alineamiento con los ODS 11 y 13, la intervención se ampara en los criterios de diseño resiliente descritos en el Volumen 3 del Manual de Carreteras, que promueve la continuidad de flujo para disminuir el consumo de combustible derivado de las detenciones frecuentes los cuales confirman que la optimización del diseño geométrico para evitar la condición de mitigación más costo-efectiva en infraestructura vial existente. No obstante, la viabilidad a largo plazo requiere enfrentar el fenómeno del tráfico inducido; por ello, la propuesta considera una configuración modular, permitiendo futuras actualizaciones hacia sistemas ITS (Sistemas de Transporte Inteligente) sin requerir una reestructuración total del nodo, garantizando así una inversión inteligente y escalable.

Finalmente, la viabilidad social del proyecto radica en la mejora de la seguridad, valorada conforme a las directrices de auditorías viales del MOP. Al separar los flujos de giro, se reduce los tiempos en maniobras críticas, mitigando el riesgo de colisiones laterales. En conclusión, la intervención en la Rotonda Azapa es un activo estratégico cuya viabilidad queda demostrada mediante el cumplimiento de la normativa chilena, la eficiencia en la gestión de recursos públicos y su capacidad para adaptarse dinámicamente a la evolución demográfica de la región de Arica y Parinacota, transformando un cuello de botella actual en un modelo de nodo vial eficiente y sostenible.

CONCLUSIONES

1. Respecto al objetivo general, se concluyó que la evaluación del flujo vehicular mediante programas de modelación vial permitió identificar con precisión las deficiencias operacionales del Parque Rotonda de Azapa y validar técnicamente una propuesta de optimización geométrica capaz de mejorar sustancialmente su nivel de servicio. La microsimulación evidenció que la condición inicial del nodo correspondía a un escenario de sobresaturación crítica, reflejado en un factor de utilización de 115.9%, situación que comprometía la continuidad del tránsito y generaba severas restricciones de circulación. Tras la incorporación de carriles adicionales y carriles exclusivos de giro, el modelo proyectado mostró una reducción del factor de utilización a 29.3%, estableciendo un régimen de operación estable y funcionalmente eficiente. En consecuencia, se determinó que el uso de software especializado no solo permitió diagnosticar el estado real de congestión, sino también demostrar que la intervención geométrica propuesta constituye una solución técnicamente viable para elevar el nivel de servicio del nodo y adecuarlo a las exigencias de la demanda vehicular observada.
2. Respecto al objetivo específico 1, se concluyó que el levantamiento de información de campo permitió estimar con precisión el volumen de tránsito vehicular que ingresa al Parque Rotonda de Azapa durante las horas de máxima demanda, identificándose una distribución asimétrica de flujos entre accesos y una marcada concentración vehicular en los movimientos provenientes del acceso Sur correspondiente a la avenida Capitán Ávalos y del acceso Este correspondiente a la avenida Senador Humberto Palza. Los registros obtenidos evidenciaron que estos accesos concentran la mayor presión de ingreso al nodo, configurando una demanda no uniforme y operacionalmente desequilibrada. Asimismo, la magnitud de los volúmenes horarios observados permitió establecer que la demanda vehicular existente supera la capacidad funcional de la geometría original de la rotonda, generando condiciones de sobresaturación en los accesos críticos y afectando la circulación continua del anillo central. En

consecuencia, la estimación del tránsito no solo permitió cuantificar la intensidad vehicular real del nodo, sino también demostrar que la configuración previa de la infraestructura resultaba insuficiente para absorber eficientemente las tasas de llegada en horas punta.

3. Respecto al objetivo específico 2, se concluyó que la evaluación del flujo vehicular permitió demostrar que la incorporación de carriles adicionales y la segregación de giros a la derecha incrementaron de manera significativa la capacidad vial efectiva del Parque Rotonda de Azapa, al reducir el índice de saturación global y mejorar la absorción de la demanda en los accesos críticos. Los resultados evidenciaron que la capacidad del nodo no estuvo condicionada únicamente por el ancho disponible de calzada, sino principalmente por la disminución de los conflictos de entrecruzamiento y cedencia dentro del anillo circulatorio, de modo que la redistribución geométrica de movimientos permitió una circulación más continua, estable y acorde con los parámetros exigidos para un nivel de servicio funcionalmente aceptable en una intersección urbana de alta jerarquía.
4. Respecto al objetivo específico 3, se concluyó que la microsimulación del flujo vehicular permitió comprobar que la condición inicial del Parque Rotonda de Azapa presentaba retardos excesivos y tiempos de viaje inestables como consecuencia de las colas bloqueantes y de la limitada capacidad de incorporación en los accesos. Frente a ello, la intervención geométrica propuesta optimizó el ingreso y la salida de vehículos, reduciendo de manera sustancial los tiempos de espera, minimizando las detenciones recurrentes y restableciendo una circulación más continua dentro del nodo. En consecuencia, la disminución del retardo y la regularización de los tiempos de viaje evidenciaron una mejora operativa significativa, traducéndose en mayores niveles de fluidez vehicular y en un funcionamiento más eficiente del sistema de transporte en la zona de estudio.
5. Respecto al objetivo específico 4, se concluyó que la optimización geométrica y la redistribución de flujos vehiculares mejoraron de manera sustancial las condiciones de operación y confort del Parque Rotonda de Azapa, al disminuir

las maniobras conflictivas de trenzado, reducir la necesidad de ingresos forzados y proporcionar una circulación más predecible y segura para los conductores. Esta mejora operativa permitió incrementar la estabilidad del tránsito, reducir el discomfort asociado a detenciones prolongadas y maniobras bruscas, y elevar la percepción de seguridad funcional dentro del nodo. En consecuencia, el diseño propuesto no solo respondió a los criterios técnicos de desempeño vial, sino que además aportó a una movilidad urbana más sostenible al disminuir las externalidades negativas derivadas de la congestión, como el ruido, el consumo innecesario de combustible y las emisiones contaminantes.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, en coordinación con la Municipalidad de Arica, priorizar la ejecución del rediseño geométrico propuesto para el Parque Rotonda de Azapa, incorporando la ampliación de carriles de aproximación y la segregación de giros directos a la derecha en los accesos de mayor demanda, debido a que la evaluación técnica evidenció una condición de sobresaturación crítica bajo la configuración actual que limita la capacidad de absorción vehicular y compromete la continuidad operativa del nodo. Considerando que la microsimulación demostró una reducción sustancial de la presión funcional y una mejora del régimen de circulación con la propuesta planteada, su implementación constituye una medida correctiva prioritaria para restablecer niveles aceptables de servicio, seguridad y eficiencia conforme a los criterios del Manual de Carreteras de Chile.
2. Se recomienda a los equipos de ingeniería vial y planificación urbana institucionalizar el uso de programas de microsimulación como herramienta técnica de evaluación previa para cualquier intervención futura en el eje conformado por la avenida Capitán Ávalos y la avenida Senador Humberto Palza, debido a que el estudio evidenció una demanda vehicular asimétrica y altamente concentrada en horas punta que supera la capacidad de análisis de métodos empíricos convencionales. En ese sentido, la complejidad operativa identificada en el Parque Rotonda de Azapa exige que las decisiones de gestión, rediseño o regulación del tránsito sean sustentadas en modelos calibrados capaces de anticipar el comportamiento de la infraestructura frente a distintos escenarios de carga vehicular y validar con mayor precisión la capacidad real de absorción del sistema.
3. Se recomienda a las empresas consultoras y a los organismos de control vial incorporar en los términos de referencia de diseño, evaluación y mantenimiento de intersecciones urbanas indicadores específicos relacionados con la segregación de flujos y la gestión de conflictos vehiculares, dado que los

resultados de la investigación demostraron que la mejora de la capacidad vial efectiva no depende únicamente de la ampliación física de calzada, sino principalmente de la reducción de interacciones negativas, maniobras de entrecruzamiento e ingresos forzados dentro del nodo. En consecuencia, toda intervención futura en intersecciones de alta jerarquía debe priorizar soluciones geométricas y operativas orientadas a garantizar mayor continuidad de circulación, menor interferencia entre movimientos y un funcionamiento más estable del sistema vehicular.

4. Se recomienda a los gremios de transporte y a las empresas logísticas que operan en el corredor hacia el Valle de Azapa considerar los resultados de optimización obtenidos en la presente investigación como referencia para la actualización de sus planes de rutas, programación de despachos y estimación de tiempos de recorrido, debido a que la mejora operativa proyectada en el Parque Rotonda de Azapa evidencia una reducción significativa de detenciones, retardos y estancamientos asociados a la congestión actual. En tal sentido, la adopción de esquemas logísticos ajustados a un tránsito más continuo permitirá mejorar la regularidad de desplazamiento, disminuir la fatiga operacional de los conductores y reducir costos indirectos vinculados al consumo de combustible, tiempos muertos y pérdidas por ralentización del tráfico.
5. Se recomienda a la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones, en articulación con los organismos locales de vialidad y seguridad, implementar un programa de monitoreo post-intervención en el entorno del Parque Rotonda de Azapa orientado a evaluar de manera periódica los niveles de siniestralidad, emisiones contaminantes y ruido vehicular, con la finalidad de verificar empíricamente los beneficios derivados de la mejora geométrica propuesta. Esta acción permitirá no solo cuantificar el impacto real de la reducción de maniobras conflictivas y de la mayor continuidad del flujo sobre la seguridad y el confort operacional, sino también generar evidencia técnica para sustentar futuras políticas de movilidad urbana sostenible y gestión eficiente del tránsito en otros nodos críticos de la región.

REFERENCIAS

- AIMSUN. (2025). *Modelación Microscópica de Tráfico AIMSUN*. Universidad Católica de Chile. <https://educacionprofesional.ing.uc.cl/?curso=modelacion-microscopica-de-trafico-aimsun>
- Arica., I. M. (2022). *Ilustre Municipalidad de Arica. Memoria explicativa: Modificación Plan Regulador Comunal de Arica*: https://docs.muniarica.cl/web/media/documentos/2023/05/pr-3-compressed.pdf?utm_source
- Bhuyan, P. y Nayak, M. (2013). Una revisión del análisis del nivel de servicio en calles urbanas. *Transport Reviews*, 33(2), 2019-238. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.779617>
- Bramich, D. M., & Ambühl, L. (2022). *Fitting empirical fundamental diagrams of road traffic*. <https://doi.org/https://doi.org/10.36227/techrxiv.19305463>
- Brishely, L. y Luna, R. (2022). *Análisis del flujo vehicular para optimizar el nivel de servicio en la intersección vial de la av. Simón Bolívar con la av. 25 de Noviembre y calle Amazonas, ciudad de Moquegua - 2023*. Universidad Privada de Tacna. <https://doi.org/https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3909>
- Cafiso, S., Pappalardo, G., y Stamatiadis, N. . (2021). Observed Risk and User Perception of Road Infrastructure Safety Assessment for Cycling Mobility. *Infrastructures*, 6(11). <https://doi.org/10.3390/infrastructures6110154>
- Campi, E., Mastinu, G., Prevati, G., Studer, L. y Uccello, L. (2024). Rotondas: Simulaciones de tráfico de vehículos conectados y automatizados: un estado del arte. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3305-3325; <https://doi.org/10.1109/tits.2023.3325000>.
- CEPAL. (2023). *Plataforma urbana y de ciudades de America Latina y Caribe*. https://plataformaurbana.cepal.org/es/noticia/evaluan-el-progreso-del-ods-11-en-el-foro-de-desarrollo-sostenible-2023-avances-y-desafios?utm_source
- Cortés Patiño, J. M. (2016). *Uso de la simulación para mejorar la movilidad vehicular en los cruceros de Calzada Tlalpan y Renato Leduc con la lateral de Periférico*. tesis grado de maestro/Universidad Nacional Autónoma de México.Repositorio

- Institucional UNAM. https://ru.dgb.unam.mx/bitstreams/b504eccc-8c7c-4618-ab04-c11988bc1346/download?utm_source
- Fuenzalida, C., & Heinrich, R. (2025). Gestión de infraestructura por niveles de servicios en concesiones viales en Chile. *Revista vial / ACI-Consult, consultora especializada en proyectos de infraestructura, minería y energías renovables, con presencia en Argentina, Chile y Perú*. <https://revistavial.com/gestion-de-infraestructura-por-niveles-de-servicios-en-concesiones-viales-en-chile/>
- Garber, N. y Hoel, L. (2020). *Traffic & Highway Engineering*. Universidad de Virginia Fifth Edition.
- Gobernación Regional de Arica y Parinacota. (2023). *Actualización del Plan de Movilidad Urbana Sostenible para la ciudad de Arica: Informe de diagnóstico de infraestructura crítica*
- Golshanabadi, R. E., & Zargari, S. (2022). Developing a capacity model of normal roundabouts based on geometry. *International Journal of Transportation Engineering*, 10(4), 495–510.. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101232>
- HCM (2022). *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. <https://doi.org/10.17226/26432>
- Héctor, C. G., & Aldair, S. C. (2023). *Estudio comparativo de la funcionalidad del diseño turbo rotonda y rotonda convencional del ovalo quiñones, ovalo vallecito y el ovalo de la intersección entre la Av. Los Incas con la Av. Andrés Avelino Cáceres en Arequipa*. Tesis Licenciatura, Universidad Católica Santa María Repositorio Institucional. <https://www.repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12773>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- INE. (2023). *Boletín de transporte en Chile*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Chile, Arica. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/indices-de-precio-e-inflacion/indice-de-costos-del-transporte>
- Kalašová, A., Poliak, M., Škorvánková y Fabián, P. (2024). Optimización del tráfico en intersecciones no controladas: comparación de la eficacia de las rotondas, las

- intersecciones controladas por semáforos y las turborrotondas. *Urban Sci*, 8(4), <https://doi.org/10.3390/urbansci8040217>
- Ladislao, F. C. (2021). *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares del óvalo Cuzco-Tacna 2019 y simulación de paso a desnivel sentido N-S utilizando Synchro V.8*. tesis maestría, Universidad Privada Tacna Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2003>
- Loor, J. (2021). Análisis del nivel de servicio en la intersección urbana. *REVISTA: RIEMAT* / estudio de caso de una ciudad intermedia de Ecuador. https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/4287/4109?utm_source=chatgpt.com
- Mannering, F. y Washburn, S. (2019). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. Wiley. <https://doi.org/https://www.wiley.com/en-us/Principles+of+Highway+Engineering+and+Traffic+Analysis%2C+7th+Edition-p-9781119493969>
- M.-A.C., I.-P. a.-C. (2023). *Using a microsimulation traffic model and the vehicle-specific power method to assess turbo-roundabouts as environmentally sustainable road design solutions*. artículo, Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Tecnología de Taipei, Taipei 10608, Taiwán. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/vehicles5010004>
- Mohajan, H. K. (2020). Quantitative research: A successful investigation in natural and social sciences. *Journal of Economic Development, Environment and People*. revista científica/9(4), 52-79. <https://doi.org/https://doi.org/10.26458/jedep.v9i4.679>
- Morales, & Carrasco. (2021). Evaluación del desempeño operativo de intersecciones urbanas bajo alta demanda vehicular. *revista/ Obras y Proyectos*, 30(1), Universidad del Bío-Bío. https://revistas.ubiobio.cl/index.php/OBRAS/article/view/ObrasProyectos30_03
- National Academies of Sciences, E. a. (2022). *Highway Capacity Manual (7th ed.)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/26432>

- Núñez, F. V. (2024). *Evaluación de la congestión vehicular en el eje Américo Vespucio – La Florida mediante microsimulación*. Tesis de Magíster. repositorio Universidad de Santiago de Chile (USACH). <https://repositorio.usach.cl/handle/2250/201527>
- ODS. (2025). Ciudades y comunidades sostenibles ods 11. <https://chile.un.org/es/sdgs>
- Órdenes Odi, J. M. (2017). *Optimización de la programación de semáforos basada en las tasas de ocupación de buses y automóviles*. Tesis licenciatura, Universidad de Chile. Repositoria institucional. URI: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145946>
- Paucara-Rojas, M. (2018). *Evaluación del Nivel de Servicio en Flujos Vehiculares de las Intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, Utilizando Synchro V.8 – Tacna, 2018*. tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna, Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/881>
- Roes, R., Prassaa, E. y McShane, W. (2021). *Traffic Engineering*. Pearson 5° Edición. <https://doi.org/https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/traffic-engineering/P200000003557/9780137518784?srltid=AfmBOop7zyfhC5jIWQi02w1cMIR1Kc4Nw3ZnjsdJchtiSOAbgFn5A5b6>
- Shaaban, K., y Hamad, H. (2020). *Critical gap comparison between one-, two-, and three-lane roundabouts*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12104232>
- Shetty, V. P. (2024). *Investigating the conversion of a signalized intersection to a turbo roundabout*. tesis de maestría/California Polytechnic State University ee.uu. https://digitalcommons.calpoly.edu/theses/2950?utm_source
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2025). *Speed-Limit Setting Handbook*. pdf. <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/Speed-Limit-Setting-Handbook.pdf>
- Transportation Research Board. (2022). *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. <https://doi.org/10.17226/26432>
- Transporte, S. C. (2024). *Estudios de Transporte*, 25(1). Vol. 25 Núm. 1 (2024). <https://www.estudiosdetransporte.org/sochitran/issue/view/37>
- Valenzuela, J., y Matus, C. (2021). Análisis de nodos críticos en ciudades intermedias

chilenas: Un enfoque desde la movilidad sostenible. *Revista de Urbanismo*, (44), 112-128

Villavicencio, D. L., & Delgado, D. (2023). Análisis del nivel de servicio en intersección semaforizada: Avenidas Manabí y América, Portoviejo, Manabí. artículo científico / *polo de conocimiento COLOMBIA*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v8i7.5816>

Xiao Liang, C.-Z. T.-Z.-J.-X. (2024). A Three-Stage Cellular Automata Model of Complex Large Roundabout Traffic Flow, with a Flow-Efficiency- and Safety-Enhancing Strategy. *ARTÍCULO/Sensors*, 24(23), 7672. CHINA.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24237672>

APÉNDICE: MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO VEHICULAR DEL PARQUE ROTONDA DE AZAPA MEDIANTE PROGRAMAS DE MODELACIÓN VIAL, ARICA-CHILE, 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
INTERROGANTE PRINCIPAL ¿Cómo se evalúa el flujo vehicular para mejorar el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación Vial, Arica-Chile, 2025?	OBJETIVO GENERAL Evaluar el flujo vehicular para mejorar el nivel de servicio vehicular, del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación Vial, Arica-Chile, 2025. OBJETIVOS ESPECÍFICOS • Estimar el volumen de transito vehicular en el Parque Rotonda de Azapa, Arica-Chile, 2025. • Evaluar el flujo vehicular para mejorar la capacidad vial efectiva en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación Vial, Arica-Chile, 2025. • Evaluar el flujo vehicular para mejorar retardo y tiempos de viaje en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación Vial, Arica-Chile, 2025. • Evaluar el flujo vehicular para mejorar condiciones de operación y confort en el nivel de servicio vehicular del Parque Rotonda de Azapa mediante programas de modelación Vial, Arica-Chile, 2025.	Variable independiente (X) Flujo vehicular Dimensión1: Volumen vehicular Indicador: - Volumen promedio horario vehicular (veh/h). - Flujo de saturación (veh/h) Dimensión2: Velocidad de desplazamiento Indicador: - Velocidad promedio (km/h). - Tiempo de demora por vehicula (s/veh) Dimensión3: Grado de congestión Indicador: - Relación volumen/capacidad (V/C). - Densidad vehicular (veh/km) Variable dependiente (Y) Nivel de servicio vehicular Dimensión1: Capacidad vial efectiva Indicador: - Capacidad vial estimada (veh/h). Dimensión2: Retardo y tiempos de viaje Indicador: - Tiempos de demora promedio (seg/veh). Dimensión3: Condiciones de operación y confort Indicador: - Clasificación del nivel de servicio.	Tipo de investigación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel de investigación: Aplicativo Diseño de la investigación: No experimental Ámbito de estudio: Parque Rotonda de Azapa en Arica. Chile. Tiempo social de la investigación Noviembre 2025-enero 2026. Población: Estará constituida por el número de vehículos motorizados por hora (VPH) que circulan por la Rotonda Azapa, en horas punta Muestra: Por la naturaleza operativa del estudio, la muestra es igual a la población observada, con puntos de observación para conteo vehicular, el empalme con la Ruta A-27 (avenida Senador Humberto Palza en el tramo urbano), principal conexión entre Arica y el valle de Azapa. Técnicas de recolección de datos Técnica documental Técnica observacional Técnica de modelamiento virtual Instrumentos: Ficha de análisis documental, lista de cotejo Ficha Observacional Ficha de modelamiento virtual Herramienta virtual y computacional: Programa informático SYNCHRO V 12, VISSIM 2024 y QGIS.
Relevancia de la investigación Es relevante por la propuesta de mejorar el nivel de servicio y la seguridad operacional en la Rotonda de Azapa mediante modelación vial, ofreciendo una solución costo-efectiva para reducir congestión, tiempos de viaje y emisiones, alineada con el ODS 11 (movilidad y ambiente urbano). Esta metodología replicable permitirá escalar soluciones a otras intersecciones de Arica y la macrorregión norte, aportando a una movilidad más eficiente, segura y sostenible en 2025 y hacia adelante.			

APÉNDICE 2:

AFOROS VEHICULARES

AV. DIEGO PORTALES



**EQUIPO DE AFOROS VEHICULARES Y DE GIROS DIRECCIONALES,
EN LA ZONA DE ESTUDIO**



**PUNTOS DE AFORO EN AV. DIEGO PORTALES, SE OBSERVA LA VIA
DE ESTUDIO DE N/S**



TRAMOS AV. DIEGO PORTALES, INTERSECCIÓN POSTERIOR DE LA
VIA DE ESTUDIO



TOMA DE DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN VIAL DE LA AV.
DIEGO PORTALES



PUNTOS DE AFORO VEHICULAR Y TOMA DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EN ROTONDA AZAPA.

AFORO VEHICULAR EN LA AV. CAPITÁN ÁVALOS



PUNTOS DE AFORO EN AV. CAPITAN ÁVALOS, SE OBSERVA LA VIA DE ESTUDIO DE AV. CAPITAN AVALOS S/N



TRAMOS AV. CAPITAN ÁVALOS, INTERSECCIÓN POSTERIOR DE LA
VIA DE ESTUDIO



PUNTOS DE AFORO VEHICULAR Y TOMA DE CARACTERÍSTICAS
GEOMÉTRICAS EN ROTONDA AZAPA.

AFORO VEHICULAR
AV. SENADOR HUMBERTO PALZA



AFOROS VEHICULARES Y DE GIROS DIRECCIONALES,
EN LA ZONA DE ESTUDIO AV. SENADOR HUMBERTO PALZA



PUNTOS DE AFORO EN AV. SENADOR HUMBERTO PALZA, SE
OBSERVA LA VIA DE ESTUDIO N/S



TRAMOS AV. DIEGO PORTALES, INTERSECCIÓN POSTERIOR DE LA
VIA DE ESTUDIO

AFORO VEHICULAR DE ESTUDIO

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-01 AMBOS (N-S) ROTONDA AZAPA		TRAMO DE LA VIA DIA FECHA		AV. DIEGO PORTALES JUEVES 21/01/2026															
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			
		CATEGORIAS DE VEHICULOS																			

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-02 AMBOS (S-N) ROTONDA AZAPA		TRAMO DE LA VIA DIA FECHA		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA JUEVES 21/01/2026																					
HORA		MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	CAMIONETAS PANEL	RURAL Combi	MICRO	BUS 2 E		3 E	CAMION 2 E		3 E	4 E	SEMI TRAYLER 2S1/2S2		2S3	3S1/3S2		>= 3S3	TRAYLER 2T2		2T3	3T2	3T3	TOTAL
																											
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	220	92	28	8	89	16	1	2	5	8	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	477	
7:15 a. m.	7:30 a. m.	3	423	92	80	23	67	15	2	0	4	38	3	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	757	
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	436	90	225	35	85	26	15	0	6	97	0	4	8	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1,038	
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	487	120	210	18	94	21	12	6	12	89	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,087	
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	370	111	138	12	89	16	17	6	5	64	2	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	838	
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	356	97	121	18	85	21	11	0	4	52	3	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	777	
8:30 a. m.	8:45 a. m.	1	245	98	83	25	66	34	12	0	6	31	0	3	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	616	
8:45 a. m.	9:00 a. m.	2	218	89	68	26	62	23	4	7	16	32	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	562	
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	145	69	29	8	56	12	2	6	5	10	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	350	
9:15 a. m.	9:30 a. m.	2	168	68	60	14	34	11	2	0	3	22	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	390	
9:30 a. m.	9:45 a. m.	2	138	76	48	21	31	24	2	0	5	21	0	2	8	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	383	
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	121	58	54	13	24	28	3	8	15	32	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	364	
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	110	66	19	12	34	11	1	6	3	6	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	273	
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	173	62	32	7	32	12	1	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	340	
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	180	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	379	
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	152	72	21	8	40	11	2	6	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344	
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	189	69	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	372	
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	297	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	300	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	617	
11:45 a. m.	12:00 p. m.	2	321	123	132	13	72	11	11	5	12	27	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	739	
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	369	121	122	6	67	12	15	7	5	34	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	763	
12:15 p. m.	12:30 p. m.	3	361	109	67	11	89	8	21	0	4	31	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	709	
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	365	135	71	23	93	12	13	0	5	27	0	3	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	763	
12:45 p. m.	1:00 p. m.	2	389	123	68	15	87	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	763	
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	375	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	659	
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	240	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	523	
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	221	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	506	
1:45 p. m.	2:00 p. m.	3	200	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445	
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	120	69	25	4	34	9	3	6	2	5	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	282	
2:15 p. m.	2:30 p. m.	3	123	86	29	6	41	11	4	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	
2:30 p. m.	2:45 p. m.	3	169	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	367	
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	143	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	328	
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	189	80	24	4	30	8	4	7	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	365	
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	250	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	469	
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	286	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	505	
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	260	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	511	
4:00 p. m.	4:15 p. m.	2	180	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	358	
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	275	69	62	21	26	9	5	0	3	23	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	270	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	500	
4:45 p. m.	5:00 p. m.	2	230	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	475	
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	220	85	26	7	36	7	5	4	6	12	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	415	
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	335	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	584	
5:30 p. m.	5:45 p. m.	2	338	92	59	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	614	
5:45 p. m.	6:00 p. m.	3	290	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	627	
6:00 p. m.	6:15 p. m.	3	250	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	553	
6:15 p. m.	6:30 p. m.	4	370	131	80	18	76	34	2	9	5	22	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	756	
6:30 p. m.	6:45 p. m.	2	365	134	76	33	64	26	8	0	7	23	0	3	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	755	
6:45 p. m.	7:00 p. m.	4	320	123	132	16	62	22	6	5	15	38	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755	
7:00 p. m.	7:15 p. m.	2	321	145	90	10	83	34	9	6	5	35	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	744	
7:15 p. m.	7:30 p. m.	3	275	148	96	16	81	39	11	0	4	33	3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	713	
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	289	151	95	24	92	37	12	0	6	31	0	3	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	754	
7:45 p. m.	8:00 p. m.	3	328	158	123	10	86	28	8	8	11	32	1	1	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	807	
TOTALES		120	13,765	4,958	3,475	751	2,945	866	341	162	311	1,330	49	31	242	60	47	0	0	0	0	0	0	0	0	29,453	

ESTACION NTIDO UBICACIÓN		E-01 AMBOS (N-S) ROTONDA AZAPA		TRAMO DE LA VIA DIA FECHA										AV. CAPITAN ÁVALOS JUEVES 21/01/2026									
																						TOTAL	
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER					TOTAL		
		PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3					
																							
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	218	92	36	12	85	18	4	6	8	16	4	1	3	0	4	0	0	0		509	
7:15 a. m.	7:30 a. m.	4	412	89	82	17	75	15	2	0	6	42	6	0	4	4	0	0	0	0		758	
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	435	96	221	32	82	26	15	0	8	98	1	5	8	6	5	0	0	0	0	1,040	
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	510	109	210	15	93	21	12	8	21	90	0	0	12	0	0	0	0	0		1,102	
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	289	111	138	7	89	16	17	8	8	66	4	0	4	0	2	0	0	0	0		761
8:15 a. m.	8:30 a. m.	3	245	97	121	16	85	21	11	1	4	54	4	0	4	2	0	0	0	0	0		668
8:30 a. m.	8:45 a. m.	2	256	98	83	26	66	34	12	0	6	32	0	4	8	4	3	0	0	0	0		634
8:45 a. m.	9:00 a. m.	3	221	89	68	23	62	23	4	8	16	34	0	0	12	0	0	0	0	0	0		563
9:00 a. m.	9:15 a. m.	4	156	69	29	5	56	12	2	6	5	12	3	0	2	0	2	0	0	0	0		363
9:15 a. m.	9:30 a. m.	3	165	68	60	14	34	11	2	0	3	24	2	0	2	2	0	0	0	0	0		390
9:30 a. m.	9:45 a. m.	3	178	76	48	21	31	24	2	0	5	22	0	2	6	3	2	0	0	0	0		423
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	152	58	54	13	24	28	3	8	16	25	0	0	10	0	0	0	0	0	0		393
10:00 a. m.	10:15 a. m.	3	111	66	19	12	34	11	1	8	12	8	1	0	1	0	1	0	0	0	0		288
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	169	62	32	7	32	12	1	0	8	16	1	0	1	1	0	0	0	0	0		344
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	175	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0	0		374
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	148	72	21	8	40	11	2	7	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0		341
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	169	69	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0		352
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	311	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0		574
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	320	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0		637
11:45 a. m.	12:00 p. m.	2	323	123	132	13	72	11	11	6	12	28	0	0	10	0	0	0	0	0	0		743
12:00 p. m.	12:15 p. m.	3	368	121	122	6	67	12	15	8	5	36	1	0	1	0	1	0	0	0	0		766
12:15 p. m.	12:30 p. m.	3	356	109	67	11	89	8	21	0	4	32	4	0	1	1	0	0	0	0	0		706
12:30 p. m.	12:45 p. m.	3	365	135	71	23	93	12	13	0	5	30	0	3	7	4	3	0	0	0	0		767
12:45 p. m.	1:00 p. m.	2	386	123	68	15	87	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0	0		760
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	376	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	0		660
1:15 p. m.	1:30 p. m.	2	323	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0	0		605
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	234	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0	0		519
1:45 p. m.	2:00 p. m.	2	198	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0	0		442
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	105	69	25	4	34	9	3	6	2	5	2	0	1	0	1	0	0	0	0		268
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	108	86	29	6	41	11	4	0	2	14	2	0	1	1	0	0	0	0	0		307
2:30 p. m.	2:45 p. m.	2	165	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	1	3	2	1	0	0	0	0		362
2:45 p. m.	3:00 p. m.	2	125	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	0		309
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	182	80	24	4	30	8	4	7	4	10	2	0	1	0	1	0	0	0	0		359
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	290	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0		509
3:30 p. m.	3:45 p. m.	4	294	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0		514
3:45 p. m.	4:00 p. m.	6	254	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0		509
4:00 p. m.	4:15 p. m.	5	165	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	1	0	0	0	0		346
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	264	69	62	21	26	9	5	0	3	23	4	0	1	1	0	0	0	0	0		491
4:30 p. m.	4:45 p. m.	6	267	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0	0		501
4:45 p. m.	5:00 p. m.	5	231	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0	0		479
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	218	85	26	7	36	7	5	4	6	12	4	0	1	0	1	0	0	0	0		415
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	336	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	0	0		585
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	339	92	59	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0	0		616
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	278	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0	0		614
6:00 p. m.	6:15 p. m.	1	254	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	0	0		555
6:15 p. m.	6:30 p. m.	2	361	131	80	18	76	34	2	9	5	24	3	0	1	1	0	0	0	0	0		747
6:30 p. m.	6:45 p. m.	3	365	134	76	33	64	26	8	0	8	25	0	3	7	4	3	0	0	0	0		759
6:45 p. m.	7:00 p. m.	3	320	123	132	16	62	22	6	5	16	40	0	0	12	0	0	0	0	0	0		757
7:00 p. m.	7:15 p. m.	4	287	145	90	10	83	34	9	6	6	36	2	0	1	0	1	0	0	0	0		714
7:15 p. m.	7:30 p. m.	3	362	148	96	16	81	39	11	1	6	34	3	0	2	2	0	0	0	0	0		804
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	282	151	95	24	92	37	12	1	8	32	0	3	6	4	4	0	0	0	0		753
7:45 p. m.	8:00 p. m.	2	320	160	124	12	90	32	9	8	14	38	0	0	12	0	0	0	0	0	0		821
TOTALES																							

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION
SENTIDO
UBICACIÓN

E-01
AMBOS (N-S)
ROTONDA AZAPA

TRAMO DE LA VIA
DIA
FECHA

AV. DIEGO POORTALES
VIERNES
22/01/2026

		CAMIONETAS																				BUS		CAMION		SEMI TRAYLER				TRAYLER					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	TOTAL														
																																			
7:00 a. m.	7:15 a. m.	3	223	92	28	8	85	18	4	6	8	16	4	1	3	0	4	0	0	0		503													
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	425	89	82	17	75	15	2	0	6	42	6	0	4	4	0	0	0	0		769													
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	412	96	221	32	82	26	15	0	8	98	1	5	8	6	5	0	0	0		1,016													
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	498	109	210	15	93	21	12	8	21	90	0	0	12	0	0	0	0	0		1,091													
8:00 a. m.	8:15 a. m.	4	446	111	138	7	89	16	17	8	8	66	4	0	4	0	2	0	0	0		920													
8:15 a. m.	8:30 a. m.	5	354	97	121	16	85	21	11	1	4	54	4	0	4	2	0	0	0	0		779													
8:30 a. m.	8:45 a. m.	4	245	98	83	26	66	34	12	0	6	32	0	4	8	4	3	0	0	0		625													
8:45 a. m.	9:00 a. m.	3	265	89	68	23	62	23	4	8	16	34	0	0	12	0	0	0	0	0		607													
9:00 a. m.	9:15 a. m.	6	156	66	29	5	46	12	2	6	5	12	3	0	2	0	2	0	0	0		352													
9:15 a. m.	9:30 a. m.	2	165	54	32	14	23	11	2	0	3	24	2	0	2	2	0	0	0	0		336													
9:30 a. m.	9:45 a. m.	3	147	57	34	21	26	24	2	0	5	22	0	2	6	3	2	0	0	0		354													
9:45 a. m.	10:00 a. m.	1	123	45	35	13	21	28	3	8	16	25	0	0	10	0	0	0	0	0		328													
10:00 a. m.	10:15 a. m.	2	108	54	19	12	34	11	1	8	12	8	1	0	1	0	1	0	0	0		272													
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	172	62	32	7	32	12	1	0	8	16	1	0	1	1	0	0	0	0		346													
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	174	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0		373													
10:45 a. m.	11:00 a. m.	2	151	72	21	8	40	11	2	7	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0		343													
11:00 a. m.	11:15 a. m.	1	185	69	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0		367													
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	296	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0		559													
11:30 a. m.	11:45 a. m.	2	298	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0		614													
11:45 a. m.	12:00 p. m.	1	325	123	132	13	72	11	11	6	12	28	0	0	10	0	0	0	0	0		744													
12:00 p. m.	12:15 p. m.	3	368	121	122	6	67	12	15	8	5	36	1	0	1	0	1	0	0	0		766													
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	359	109	67	11	89	8	21	0	4	32	4	0	1	1	0	0	0	0		708													
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	360	135	71	23	93	12	13	0	5	30	0	3	7	4	3	0	0	0		761													
12:45 p. m.	1:00 p. m.	2	365	123	68	15	87	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0		739													
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	345	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0		629													
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	300	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0		583													
1:30 p. m.	1:45 p. m.	1	200	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0		484													
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	223	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0		466													
2:00 p. m.	2:15 p. m.	3	108	69	25	4	34	9	3	6	2	5	2	0	1	0	1	0	0	0		272													
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	110	86	29	6	41	11	4	0	2	14	2	0	1	1	0	0	0	0		309													
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	176	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	1	3	2	1	0	0	0		372													
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	125	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0		308													
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	182	80	24	4	30	8	4	7	4	10	2	0	1	0	1	0	0	0		359													
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	290	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0		509													
3:30 p. m.	3:45 p. m.	2	294	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0		512													
3:45 p. m.	4:00 p. m.	4	254	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0		507													
4:00 p. m.	4:15 p. m.	4	165	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	1	0	0	0		345													
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	264	69	62	21	26	9	5	0	3	23	4	0	1	1	0	0	0	0		491													
4:30 p. m.	4:45 p. m.	4	267	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0		499													
4:45 p. m.	5:00 p. m.	3	231	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0		477													
5:00 p. m.	5:15 p. m.	2	218	85	26	7	36	7	5	4	6	12	4	0	1	0	1	0	0	0		414													
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	336	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	0		584													
5:30 p. m.	5:45 p. m.	1	339	92	59	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0		614													
5:45 p. m.	6:00 p. m.	1	293	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0		628													
6:00 p. m.	6:15 p. m.	1	242	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	0		543													
6:15 p. m.	6:30 p. m.	2	362	131	80	18	76	34	2	9	5	24	3	0	1	1	0	0	0	0		748													
6:30 p. m.	6:45 p. m.	3	367	134	76	33	64	26	8	0	8	25	0	3	7	4	3	0	0	0		761													
6:45 p. m.	7:00 p. m.	4	323	123	132	16	62	22	6	5	16	40	0	0	12	0	0	0	0	0		761													
7:00 p. m.	7:15 p. m.	3	313	145	90	10	83	34	9	6	6	36	2	0	1	0	1	0	0	0		739													
7:15 p. m.	7:30 p. m.	3	315	148	96	16	81	39	11	1	6	34	3	0	2	2	0	0	0	0		757													
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	279	151	95	24	92	37	12	1	8	32	0	3	6	4	4	0	0	0		750													
7:45 p. m.	8:00 p. m.	2	325	160	124	12	90	32	9	8	14	38	0	0	12	0	0	0	0	0		826													
TOTALES		119	13,866	4,891	3,413	729	2,920	872	345	179	356	1,375	66	33	242	63	50	0	0	0	0	29,519													

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION		E-02																TRAMO DE LA VIA		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA			
SENTIDO		AMBOS (S-N)																DIA		VIERNES			
UBICACIÓN		ROTONDA AZAPA																FECHA		22/01/2026			
				CAMIONETAS					BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER					
HORA		MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	TOTAL	
																							
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	220	95	34	12	90	20	2	1	4	9	1	0	2	1	2	0	0	0	0	495	
7:15 a. m.	7:30 a. m.	1	415	92	86	26	65	18	3	1	3	38	3	1	4	2	1	0	0	0	0	759	
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	432	90	234	38	83	32	14	1	4	98	1	4	10	4	4	0	0	0	0	1,051	
7:45 a. m.	8:00 a. m.	8	450	120	215	23	89	26	11	7	11	90	0	0	15	0	0	0	0	0	0	1,065	
8:00 a. m.	8:15 a. m.	6	367	111	142	16	96	21	18	8	6	65	2	1	6	1	2	0	0	0	0	868	
8:15 a. m.	8:30 a. m.	5	326	97	123	22	87	31	21	1	4	51	3	0	6	2	0	0	0	0	0	779	
8:30 a. m.	8:45 a. m.	6	312	98	96	27	76	46	12	0	4	32	1	3	5	4	3	0	0	0	0	725	
8:45 a. m.	9:00 a. m.	2	289	89	68	26	78	27	4	7	14	33	0	0	15	0	1	0	0	0	0	653	
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	126	69	29	8	69	15	2	6	4	12	2	0	1	0	2	0	0	0	0	348	
9:15 a. m.	9:30 a. m.	4	186	68	60	14	42	12	2	0	3	21	2	0	2	2	0	0	0	0	0	418	
9:30 a. m.	9:45 a. m.	2	125	76	48	21	31	22	2	0	5	23	0	2	8	3	2	0	0	0	0	370	
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	165	58	54	13	24	28	3	8	12	30	0	0	6	0	0	0	0	0	0	403	
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	110	66	21	12	34	13	1	6	4	8	1	0	2	0	1	0	0	0	0	280	
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	173	62	32	7	32	16	1	0	5	15	1	0	1	1	0	0	0	0	0	348	
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	180	74	29	14	41	16	1	0	3	13	0	1	4	2	1	0	0	0	0	380	
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	152	72	24	8	40	11	2	6	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	347	
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	189	69	27	6	35	12	11	8	4	11	1	1	1	0	1	0	0	0	0	378	
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	297	76	56	13	56	18	14	0	3	21	2	0	1	1	0	0	0	0	0	559	
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	300	84	49	21	76	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	615	
11:45 a. m.	12:00 p. m.	8	298	123	138	16	69	12	13	6	12	26	0	0	10	1	0	0	0	0	0	732	
12:00 p. m.	12:15 p. m.	7	363	121	136	8	69	15	17	8	6	36	1	0	1	0	1	0	0	0	0	789	
12:15 p. m.	12:30 p. m.	6	365	109	69	14	86	9	23	2	6	33	3	1	1	1	0	0	0	0	0	728	
12:30 p. m.	12:45 p. m.	5	367	135	75	26	94	13	15	1	7	30	0	3	7	2	2	0	0	0	0	782	
12:45 p. m.	1:00 p. m.	6	383	123	68	17	83	17	11	5	15	26	0	0	14	0	1	0	0	0	0	769	
1:00 p. m.	1:15 p. m.	7	265	97	56	14	76	11	9	5	3	22	1	0	1	0	1	0	0	0	0	568	
1:15 p. m.	1:30 p. m.	8	239	95	58	14	69	14	13	0	3	27	1	0	1	1	0	0	0	0	0	543	
1:30 p. m.	1:45 p. m.	7	312	102	49	12	73	16	4	0	3	22	0	1	3	2	1	0	0	0	0	607	
1:45 p. m.	2:00 p. m.	4	211	86	48	6	52	9	3	8	4	23	0	0	5	0	0	0	0	0	0	459	
2:00 p. m.	2:15 p. m.	4	128	69	25	4	38	11	4	6	1	6	1	0	1	0	1	0	0	0	0	299	
2:15 p. m.	2:30 p. m.	3	123	86	29	6	45	13	6	1	1	13	1	0	1	1	0	0	0	0	0	329	
2:30 p. m.	2:45 p. m.	3	169	83	24	9	33	15	5	0	1	12	0	1	3	2	1	0	0	0	0	361	
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	143	81	26	6	32	9	3	4	5	12	1	0	5	0	0	0	0	0	0	330	
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	189	80	24	4	30	6	4	7	4	11	1	0	1	0	1	0	0	0	0	364	
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	250	78	58	11	29	12	3	0	3	21	2	0	1	1	0	0	0	0	0	471	
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	286	76	48	12	28	10	2	0	4	24	0	2	6	2	2	0	0	0	0	505	
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	260	73	57	18	32	12	3	6	11	25	0	0	10	0	0	0	0	0	0	509	
4:00 p. m.	4:15 p. m.	2	180	71	23	17	32	8	1	9	4	11	1	0	1	0	1	0	0	0	0	361	
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	275	69	62	21	26	9	5	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	499	
4:30 p. m.	4:45 p. m.	6	270	68	58	21	25	12	7	0	5	21	0	2	5	3	2	0	0	0	0	505	
4:45 p. m.	5:00 p. m.	2	230	87	50	11	33	9	3	6	12	26	0	0	9	0	0	0	0	0	0	478	
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	220	85	26	7	36	6	5	4	8	11	2	0	1	0	1	0	0	0	0	415	
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	335	90	78	15	31	8	2	0	6	15	3	0	1	1	0	0	0	0	0	587	
5:30 p. m.	5:45 p. m.	2	338	92	59	25	42	12	3	1	6	20	1	3	7	4	3	0	0	0	0	618	
5:45 p. m.	6:00 p. m.	5	290	102	60	14	89	21	6	1	13	21	0	0	11	0	0	0	0	0	0	633	
6:00 p. m.	6:15 p. m.	6	250	124	32	8	82	27	5	5	7	14	2	0	1	0	1	0	0	0	0	564	
6:15 p. m.	6:30 p. m.	7	370	131	80	21	73	34	3	8	6	21	3	0	1	1	0	0	0	0	0	759	
6:30 p. m.	6:45 p. m.	8	365	134	76	32	65	26	7	1	8	24	0	3	7	4	3	0	0	0	0	763	
6:45 p. m.	7:00 p. m.	7	313	123	89	22	72	32	8	4	14	37	1	0	8	0	0	0	0	0	0	730	
7:00 p. m.	7:15 p. m.	6	324	145	90	13	87	43	8	5	6	34	2	0	1	1	1	0	0	0	0	766	
7:15 p. m.	7:30 p. m.	5	267	148	111	20	92	45	12	2	5	30	3	0	2	2	0	0	0	0	0	744	
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	311	151	95	32	94	42	13	1	7	31	0	3	5	3	3	0	0	0	0	793	
7:45 p. m.	8:00 p. m.	3	364	160	126	11	93	30	11	6	12	29	1	0	8	1	1	0	0	0	0	856	
TOTALES		205	13,867	4,963	3,530	814	3,054	975	380	172	315	1,345	53	34	241	60	49	0	0	0	0	30,057	

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-01 AMBOS (N-S) ROTONDA AZAPA		TRAMO DE LA VIA DIA FECHA														AV. CAPITAN ÁVALOS VIERNES 22/01/2026				
				CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER					
HORA	MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	TOTAL	
																						
7:00 a. m.	7:15 a. m.	3	223	92	28	8	85	18	4	6	8	16	4	1	3	0	4	0	0	0	0	503
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	425	89	82	17	75	15	2	0	6	42	6	0	4	4	0	0	0	0	0	769
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	412	96	221	32	82	26	15	0	8	98	1	5	8	6	5	0	0	0	0	1,016
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	498	109	210	15	93	21	12	8	21	90	0	0	12	0	0	0	0	0	0	1,091
8:00 a. m.	8:15 a. m.	4	446	111	138	7	89	16	17	8	8	66	4	0	4	0	2	0	0	0	0	920
8:15 a. m.	8:30 a. m.	5	354	97	121	16	85	21	11	1	4	54	4	0	4	2	0	0	0	0	0	779
8:30 a. m.	8:45 a. m.	4	245	98	83	26	66	34	12	0	6	32	0	4	8	4	3	0	0	0	0	625
8:45 a. m.	9:00 a. m.	3	265	89	68	23	62	23	4	8	16	34	0	0	12	0	0	0	0	0	0	607
9:00 a. m.	9:15 a. m.	5	156	66	29	5	46	12	2	6	5	12	3	0	2	0	2	0	0	0	0	351
9:15 a. m.	9:30 a. m.	2	165	54	32	14	23	11	2	0	3	24	2	0	2	2	0	0	0	0	0	336
9:30 a. m.	9:45 a. m.	2	147	57	34	21	26	24	2	0	5	22	0	2	6	3	2	0	0	0	0	353
9:45 a. m.	10:00 a. m.	1	123	45	35	13	21	28	3	8	16	25	0	0	10	0	0	0	0	0	0	328
10:00 a. m.	10:15 a. m.	3	108	54	19	12	34	11	1	8	12	8	1	0	1	0	1	0	0	0	0	273
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	172	62	32	7	32	12	1	0	8	16	1	0	1	1	0	0	0	0	0	346
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	174	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0	0	373
10:45 a. m.	11:00 a. m.	2	151	72	21	8	40	11	2	7	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	343
11:00 a. m.	11:15 a. m.	1	185	69	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	367
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	296	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	559
11:30 a. m.	11:45 a. m.	2	298	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	614
11:45 a. m.	12:00 p. m.	1	325	123	132	13	72	11	11	6	12	28	0	0	10	0	0	0	0	0	0	744
12:00 p. m.	12:15 p. m.	3	368	121	122	6	67	12	15	8	5	36	1	0	1	0	1	0	0	0	0	766
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	359	109	67	11	89	8	21	0	4	32	4	0	1	1	0	0	0	0	0	708
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	360	135	71	23	93	12	13	0	5	30	0	3	7	4	3	0	0	0	0	761
12:45 p. m.	1:00 p. m.	2	365	123	68	15	87	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0	0	739
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	345	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	0	629
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	300	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0	0	583
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	200	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0	0	485
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	223	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0	0	466
2:00 p. m.	2:15 p. m.	3	108	69	25	4	34	9	3	6	2	5	2	0	1	0	1	0	0	0	0	272
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	110	86	29	6	41	11	4	0	2	14	2	0	1	1	0	0	0	0	0	309
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	176	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	1	3	2	1	0	0	0	0	372
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	125	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	0	308
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	182	80	24	4	30	8	4	7	4	10	2	0	1	0	1	0	0	0	0	359
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	290	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	509
3:30 p. m.	3:45 p. m.	2	294	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	512
3:45 p. m.	4:00 p. m.	4	254	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	507
4:00 p. m.	4:15 p. m.	4	165	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	1	0	0	0	0	345
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	264	69	62	21	26	9	5	0	3	23	4	0	1	1	0	0	0	0	0	491
4:30 p. m.	4:45 p. m.	4	267	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0	0	499
4:45 p. m.	5:00 p. m.	3	231	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0	0	477
5:00 p. m.	5:15 p. m.	2	218	85	26	7	36	7	5	4	6	12	4	0	1	0	1	0	0	0	0	414
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	336	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	0	0	584
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	339	92	59	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0	0	616
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	293	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0	0	629
6:00 p. m.	6:15 p. m.	1	242	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	0	0	543
6:15 p. m.	6:30 p. m.	2	362	131	80	18	76	34	2	9	5	24	3	0	1	1	0	0	0	0	0	748
6:30 p. m.	6:45 p. m.	3	367	134	76	33	64	26	8	0	8	25	0	3	7	4	3	0	0	0	0	761
6:45 p. m.	7:00 p. m.	4	323	123	132	16	62	22	6	5	16	40	0	0	12	0	0	0	0	0	0	761
7:00 p. m.	7:15 p. m.	3	313	145	90	10	83	34	9	6	6	36	2	0	1	0	1	0	0	0	0	739
7:15 p. m.	7:30 p. m.	3	315	148	96	16	81	39	11	1	6	34	3	0	2	2	0	0	0	0	0	757
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	279	151	95	24	92	37	12	1	8	32	0	3	6	4	4	0	0	0	0	750
7:45 p. m.	8:00 p. m.	2	325	160	124	12	90	32	9	8	14	38	0	0	12	0	0	0	0	0	0	826
TOTALES		122	13,866	4,891	3,413	729	2,920	872	345	179	356	1,375	66	33	242	63	50	0	0	0	0	29,522

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION		E-01														TRAMO DE LA VIA		AV. DIEGO PORTALES			
SENTIDO		AMBOS (N-S)														DIA		SABADO			
UBICACIÓN		ROTONDA AZAPA														FECHA		23/01/2026			

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION		E-02															TRAMO DE LA VIA		AV. SENADOR HUMBERTO PALZA			
SENTIDO		AMBOS (S-N)															DIA		SÁBADO			
UBICACIÓN		ROTONDA AZAPA															FECHA		23/01/2026			
				CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER					
HORA		MOTOS	AUTO	STATION WAGON	PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	TOTAL
																						
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	223	95	30	10	92	18	1	2	5	10	2	0	4	0	2	0	0	0	0	496
7:15 a. m.	7:30 a. m.	1	423	92	80	23	67	15	2	0	4	38	3	0	5	2	0	0	0	0	0	755
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	438	90	225	35	85	26	15	0	6	97	0	4	8	5	4	0	0	0	0	1,040
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	499	120	210	18	94	21	12	6	12	89	0	0	16	0	0	0	0	0	0	1,099
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	370	111	138	12	89	16	17	6	5	64	2	0	4	0	2	0	0	0	0	838
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	256	97	121	18	85	21	11	0	4	52	3	0	6	2	0	0	0	0	0	677
8:30 a. m.	8:45 a. m.	1	245	98	83	25	66	34	12	0	6	31	0	3	5	4	3	0	0	0	0	616
8:45 a. m.	9:00 a. m.	2	218	89	68	26	62	23	4	7	16	32	0	0	15	0	0	0	0	0	0	562
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	164	69	29	8	56	12	2	6	5	10	2	0	1	0	2	0	0	0	0	369
9:15 a. m.	9:30 a. m.	4	180	68	60	14	34	11	2	0	3	22	2	0	2	2	0	0	0	0	0	404
9:30 a. m.	9:45 a. m.	2	187	76	48	21	31	24	2	0	5	21	0	2	8	3	2	0	0	0	0	432
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	137	58	54	13	24	28	3	8	15	32	0	0	6	0	0	0	0	0	0	380
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	110	66	19	12	34	11	1	6	3	6	1	0	2	0	1	0	0	0	0	273
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	173	62	32	7	32	12	1	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	0	340
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	180	74	29	14	41	16	1	0	3	12	0	1	4	2	1	0	0	0	0	379
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	152	72	21	8	40	11	2	6	7	16	0	0	6	0	0	0	0	0	0	344
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	189	69	23	6	35	12	11	8	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	372
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	297	76	56	13	56	18	14	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	560
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	300	84	49	21	78	23	19	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	617
11:45 a. m.	12:00 p. m.	2	321	123	132	13	72	11	11	5	12	27	0	0	10	0	0	0	0	0	0	739
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	360	121	122	6	67	12	15	7	5	34	1	0	1	0	1	0	0	0	0	754
12:15 p. m.	12:30 p. m.	3	351	109	67	11	89	8	21	0	4	31	3	0	1	1	0	0	0	0	0	699
12:30 p. m.	12:45 p. m.	4	366	135	71	23	93	12	13	0	5	27	0	3	7	4	3	0	0	0	0	766
12:45 p. m.	1:00 p. m.	2	389	123	68	15	87	15	9	4	14	25	0	0	12	0	0	0	0	0	0	763
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	275	97	56	14	67	9	8	6	2	20	1	0	1	0	1	0	0	0	0	559
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	240	95	58	14	56	12	11	0	2	29	1	0	1	1	0	0	0	0	0	523
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	221	102	49	12	72	16	2	0	2	21	0	1	3	2	1	0	0	0	0	506
1:45 p. m.	2:00 p. m.	3	200	86	48	6	47	8	4	8	7	23	0	0	5	0	0	0	0	0	0	445
2:00 p. m.	2:15 p. m.	4	120	69	25	4	34	9	3	6	2	5	1	0	1	0	1	0	0	0	0	284
2:15 p. m.	2:30 p. m.	3	123	86	29	6	41	11	4	0	2	14	1	0	1	1	0	0	0	0	0	322
2:30 p. m.	2:45 p. m.	3	169	83	24	9	37	15	6	0	2	12	0	1	3	2	1	0	0	0	0	367
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	143	81	26	6	32	7	2	4	6	13	0	0	5	0	0	0	0	0	0	328
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	189	80	24	4	30	8	4	7	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	365
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	250	78	58	11	29	9	3	0	3	22	2	0	1	1	0	0	0	0	0	469
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	286	76	48	12	28	10	2	0	4	23	0	2	6	3	2	0	0	0	0	505
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	260	73	57	18	32	12	3	6	12	26	0	0	10	0	0	0	0	0	0	511
4:00 p. m.	4:15 p. m.	2	180	71	23	17	32	7	1	9	4	9	1	0	1	0	1	0	0	0	0	358
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	275	69	62	21	26	9	5	0	3	23	2	0	1	1	0	0	0	0	0	500
4:30 p. m.	4:45 p. m.	6	270	68	58	21	25	12	7	0	4	21	0	2	5	3	2	0	0	0	0	504
4:45 p. m.	5:00 p. m.	2	230	87	50	11	33	9	3	6	11	24	0	0	9	0	0	0	0	0	0	475
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	220	85	26	7	36	7	5	4	6	12	2	0	1	0	1	0	0	0	0	415
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	335	90	78	15	31	8	2	0	4	14	3	0	1	1	0	0	0	0	0	584
5:30 p. m.	5:45 p. m.	2	338	92	59	25	42	12	3	0	6	18	0	3	7	4	3	0	0	0	0	614
5:45 p. m.	6:00 p. m.	5	290	102	60	14	86	21	4	1	14	21	0	0	11	0	0	0	0	0	0	629
6:00 p. m.	6:15 p. m.	3	250	124	32	7	79	27	2	6	6	13	2	0	1	0	1	0	0	0	0	553
6:15 p. m.	6:30 p. m.	7	370	131	80	18	76	34	2	9	5	22	3	0	1	1	0	0	0	0	0	759
6:30 p. m.	6:45 p. m.	2	365	134	76	33	64	26	8	0	7	23	0	3	7	4	3	0	0	0	0	755
6:45 p. m.	7:00 p. m.	7	320	123	132	16	62	22	6	5	15	38	0	0	12	0	0	0	0	0	0	758
7:00 p. m.	7:15 p. m.	4	312	145	90	10	83	34	9	6	5	35	2	0	1	0	1	0	0	0	0	737
7:15 p. m.	7:30 p. m.	5	275	148	96	16	81	39	11	0	4	33	3	0	2	2	0	0	0	0	0	715
7:30 p. m.	7:45 p. m.	2	289	151	95	24	92	37	12	0	6	31	0	3	6	3	3	0	0	0	0	754
7:45 p. m.	8:00 p. m.	3	330	160	124	12	90	32	9	8	13	36	0	0	10	0	0	0	0	0	0	827
TOTALES		140	13,653	4,963	3,478	755	2,952	872	342	162	313	1,336	48	30	246	59	46	0	0	0	0	29,395

CONTEO Y CLASIFICACION VEHICULAR

ESTACION SENTIDO UBICACIÓN		E-01 AMBOS (N-S) ROTONDA AZAPA										TRAMO DE LA VIA DIA FECHA				AV. DIEGO PORTALES SABADO 23/01/2026								