



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y**  
**AGRIMENSURA**



**INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS**  
**INTERSECCIONES A NIVEL DE VIAS INTERURBANAS EN EL**  
**ALTIPLANO PERUANO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YONATAN ANAHUA SILVA**

**Bach. RONALDO BUSTINCIO TURPO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



# YONATAN ANAHUA SILVA RONALDO BUSTINCIO T...

## INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL A...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:520152751

81 páginas

Fecha de entrega

29 oct 2025, 4:10 p.m. GMT-5

14.959 palabras

83.911 caracteres

Fecha de descarga

29 oct 2025, 5:09 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis rotonda (1).docx

Tamaño del archivo

3.4 MB

  
Arturo Joels VENTURA MAMANI  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL  
Diseño y Construcciones  
Código Docente 2003418



## 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

  
**Arturo Jesús VENTURA MAMANI**  
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL  
Diseño y Construcciones  
Código Docente 2003418



  
**Dr. Valeriano CONDORI APAZA**  
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN  
EPITA - FCA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y  
AGRIMENSURA

INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS  
INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL  
ALTIPLANO PERUANO

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. YONATAN ANAHUA SILVA**  
**Bach. RONALDO BUSTINCIO TURPO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**



APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE:**

  
.....  
D. Sc., SERGIO ISIDRO QUISPE

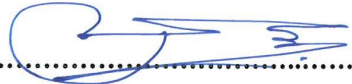
**PRIMER MIEMBRO:**

  
.....  
Dr. FAUSTO ALAN LAZARTE VELARDE

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
.....  
Mto. EDWIN LLANQUE CHAYÑA

**ASESOR DE TESIS:**

  
.....  
Mg. ARTURO JOELS VENTURA MAMANI

**ÁREA:** Planificación de Transporte y Territorio.

**TEMA:** Influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 24 de octubre de 2025



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mis docentes, por su entrega constante, su paciencia y su compromiso con la educación.

Gracias a su esfuerzo silencioso y su pasión por enseñar, despertaron en mí el deseo de superación y el amor por la profesión.

Su ejemplo ha sido guía fundamental en mi formación y en la culminación de este logro.

**Yonatan Anahua Silva**



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con especial cariño y respeto a mis docentes, quienes, con su esfuerzo silencioso y dedicación incansable, lograron forjar en mí los valores y conocimientos que hoy me acompañan como profesional.

Desde las aulas más alejadas del altiplano peruano, su ejemplo y compromiso sembraron las bases de mi crecimiento personal y académico.

**Ronaldo Bustincio Turpo**



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura por la formación brindada. A nuestro asesor, Mg. Arturo Joels Ventura Mamani, por su guía y apoyo constante. A nuestras familias y amigos, por ser nuestro sostén durante esta etapa

**Yonatan Anahua Silva**

**Ronaldo Bustincio Turpo**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
<b>1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.3.1. Hipótesis general .....	18
1.3.2. Hipótesis específicos .....	19
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
1.5.1. Objetivo general .....	20
1.5.2. Objetivos específicos .....	20



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>21</b>
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	30
2.1.3.	Antecedentes locales.....	34
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>35</b>
2.2.1.	Teoria en las intersecciones viales.....	35
2.2.2.	Teoria de la velocidad para el diseño de intersecciones .....	39
2.2.3.	Aplicación del modelo probit en diseño de intersecciones.....	40

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>UBICACIÓN GEÓGRAFICA</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.</b>	<b>ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4.</b>	<b>ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>43</b>
<b>3.5.</b>	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>43</b>
<b>3.6.</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>43</b>
3.6.1.	Técnicas de investigación .....	43
3.6.2.	Instrumentos de investigación.....	44
<b>3.7.</b>	<b>VALIDEZ Y CONFIABILIDAD</b> .....	<b>45</b>
3.7.1.	Validez .....	45
3.7.2.	Confiabilidad.....	45
<b>3.8.</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	<b>46</b>
3.8.1.	Población.....	46



3.8.2. Muestra .....	47
<b>3.9. VARIABLES .....</b>	<b>50</b>
3.9.1. Conceptualización de la variable dependiente .....	50
3.9.2. Conceptualización de la variable independiente .....	52
<b>3.10. DISEÑO ESTADISTICO.....</b>	<b>54</b>
3.10.1. Hipótesis estadística del objetivo general .....	54
3.10.2. Hipótesis estadística del objetivos específicos.....	54
3.10.3. Hipótesis estadística del objetivo específico 2 .....	55
3.10.4. Hipótesis estadística del objetivo específico 3 .....	56
<b>3.11. MODELO MATEMATICO.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
4.1.1. Modelo matemático probit .....	59
4.1.2. Evaluación de la hipótesis general .....	59
4.1.3. Evaluación de la hipótesis específico 1 .....	61
4.1.4. Evaluación de la hipótesis específico 2 .....	62
4.1.5. Evaluación de la hipótesis específico 3 .....	63
<b>4.2. DISCUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Evaluación de la validez y confiabilidad.....	46
<b>Tabla 2</b> Análisis de las dos variables .....	46
<b>Tabla 3</b> Resultados del modelo probit .....	59



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica de la unidad de estudio.....	41
<b>Figura 2</b> Intersección al inicio de la via Puno a Juliaca.....	47
<b>Figura 3</b> Intersección patallani .....	48
<b>Figura 4</b> Intersección paucarcolla I .....	48
<b>Figura 5</b> Intersección paucarcolla II .....	49
<b>Figura 6</b> Intersección final de la via .....	49
<b>Figura 7</b> Procedimiento para el cumplimiento de los objetivos.....	58



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1</b> Matriz de consistencia.....	77



## ACRÓNIMOS

HCM:	Manual de Capacidad de Carreteras
GHCM:	Manual Alemán de Capacidad de Carreteras
MES:	Modelos del Sistema Terrestre
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NRC:	Modelos de la Capacidad de Rotonda
SIDRA:	Diseño de Intersecciones Semaforzadas y no Semaforzadas
UAV:	Vehículos Aéreos no Tripulados
VISSIM:	Modelo de evaluación de potencia específica del vehículo y seguridad sustitutiva



## RESUMEN

La investigación se desarrolló en el contexto de las vías interurbanas del altiplano peruano, en donde las intersecciones presentan condiciones geométricas que influyen directamente en el comportamiento vehicular. Uno de los elementos más relevantes es el radio de curvatura, cuya configuración puede afectar la velocidad de entrada de los vehículos (seguridad vial). El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones, considerando también variables complementarias como la capacidad, el ancho y la longitud de la sección de entrada. El enfoque fue cuantitativo, básico aplicado, explicativo y cuasiexperimental, utilizando una base de datos simulada de 7860 registros con características geométricas variadas. Se aplicó un modelo Probit para estimar la probabilidad de velocidad alta en función de las variables. Los resultados evidenciaron que tanto el radio como la capacidad de la sección influyen significativamente en la velocidad de entrada, mostrando una relación negativa. En cambio, el ancho y la longitud de la sección no tuvieron efectos significativos. Se concluye que el radio de curvatura es un factor crítico para el control de velocidad en zonas interurbanas altoandinas, por lo que debe ser considerado con prioridad en el diseño geométrico. Estos hallazgos permiten fundamentar criterios técnicos más adecuados para contextos interurbanos en condiciones del altiplano peruano.

**Palabras clave:** Intersección, Radio, Velocidad, Vías interurbanas, Altiplano



## ABSTRACT

The research was conducted in the context of interurban roads in the Peruvian highlands, where intersections present geometric conditions that directly influence vehicle behavior. One of the most relevant elements is the radius of curvature, whose configuration can affect vehicle entry speeds (road safety). The objective of this study was to determine the influence of radius on intersection speeds, also considering complementary variables such as capacity, width, and length of the entry section. The approach was quantitative, applied, and quasi-experimental, using a simulated database of 7,860 records with varied geometric characteristics. A Probit model was applied to estimate the probability of high speeds based on the variables. The results showed that both radius and section capacity significantly influence entry speeds, showing a negative relationship. In contrast, section width and length had no significant effects. It is concluded that the radius of curvature is a critical factor for speed control in interurban areas in the high Andes, and therefore must be considered as a priority in geometric design. These findings allow for the development of more appropriate technical criteria for interurban environments in the Peruvian highlands.

**Keywords:** Intersection, radius, speed, interurban roads, highlands



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de crecimiento urbano e incremento de la movilidad interurbana en zonas altoandinas del Perú, se hace evidente la necesidad de optimizar el diseño geométrico de las vías, en particular de las intersecciones. Estas zonas presentan desafíos particulares como topografía irregular, condiciones climáticas extremas y características culturales propias que influyen en el comportamiento del conductor. En este marco, el radio de curvatura en las intersecciones se convierte en un elemento crítico, ya que afecta directamente la velocidad de los vehículos y, por tanto, la seguridad y eficiencia del tránsito.

El tramo entre las ciudades de Puno y Juliaca, en la región del altiplano peruano, constituye un eje vial estratégico que experimenta una demanda vehicular creciente. A pesar de ello, las intersecciones a nivel en esta vía no siempre cumplen con criterios geométricos adecuados, lo que podría comprometer la seguridad vial. Esta investigación se propone determinar la influencia del radio de las intersecciones sobre la velocidad de entrada de los vehículos, con el fin de generar lineamientos técnicos ajustados al contexto geográfico y social de la región.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la búsqueda de ciudades sostenibles y eficientes, el diseño vial cobra un papel central. Sin embargo, en las zonas interurbanas del altiplano peruano, el diseño de las intersecciones aún carece de criterios técnicos adaptados a las particularidades locales. Se observa que muchas intersecciones presentan radios de curvatura inadecuados.



Lo que genera variaciones bruscas en la velocidad vehicular, incrementando los riesgos de accidentes y reduciendo la eficiencia del flujo vehicular. Ante esta situación, surge la necesidad de formular la siguiente interrogante:

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la influencia de la capacidad de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?

¿Cuál es la influencia del ancho de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?

¿Cuál es la longitud de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?

## **1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Hipótesis general**

El radio tiene una influencia significativa sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

### **1.3.2. Hipótesis específicos**

La capacidad de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

El ancho de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

La longitud de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de las intersecciones en la vías interurbanas en la actualidad tomaron una mayor importancia en el desarrollo de las ciudades sostenibles (Bhasin & Gupta, 2024a; Brewer et al., 2023; Mennicken et al., 2024), por que determina las vías como el impulso de dichas economías, por lo que plantearan una nueva teoria sobre la relación entre el radio y la velocidad de entrada en las intersecciones (Bared et al., 1997).

Los métodos utilizados en la actualidad aun no fueron actualizados en el estado peruano, se sigue utilizado el primer método planteado en los EE. UU. (Bhasin & Gupta, 2024b; Brilon et al., 2023; Schmitz et al., 2024), porque se plantea una nueva metodología en el diseño de la intersecciones de vías interurbanas en el altiplano peruano (Ahmed & Easa, 2021).

En la práctica en la actualidad se diseñan vías con mayor demanda vehicular, por lo que los ingenieros en vías, puedan tomar las decisiones respecto al diseño de las



intersecciones en las vías interurbanas, tomando en cuenta la cultura, la demanda, el uso, o la economía entre ciudades, estas pueden ocasionar distintos efectos al diseño en las rotondas en donde pasa la línea vehicular (Brilon et al., 2023; Gbologah et al., 2022) , por tal motivo en esta investigación aportara en forma practica una alternativa en dichos diseños (Bared et al., 1997).

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

### **1.5.2. Objetivos específicos**

Determinar la influencia capacidad de la sección sobre la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

Determinar la influencia del ancho de la sección y la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

Determinar la influencia de la longitud de la sección y la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Kehagia et al., (2017) en su artículo “ Un análisis del impacto de los elementos geométricos de las rotondas en el comportamiento de conducción”, sostiene que para la seguridad y el buen funcionamiento de las rotondas, diseñar elementos geométricos que permitan un comportamiento de conducción adecuado es fundamental, especialmente en lo que respecta a la trayectoria en forma de S, que difiere de las intersecciones convencionales.

Pero sin embargo, en Japón, este tipo de comportamiento en rotondas aún no se ha estudiado lo suficiente. En este estudio, se realizaron videoencuestas sobre el comportamiento de conducción mediante un UAV en cuatro rotondas con diferentes diseños geométricos y se analizó su impacto (Kehagia et al., 2017).

Como resultado, el radio de entrada y el ángulo entre los tramos de entrada y salida se muestran como factores críticos para la relación velocidad-curvatura en relación con la estabilidad de la marcha, como características del comportamiento de conducción. Además, para reducir la variación desfavorable en el comportamiento de conducción, se sugiere no sobredimensionar el radio de entrada (Kehagia et al., 2017).

Pratelli & Souleyrette (2009) en su artículo “Visibilidad, percepción y seguridad en rotondas” sostiene que en Italia, en los últimos quince años, las rotondas modernas, o de segunda generación, se han popularizado enormemente.



En estas rotondas, los vehículos que entran deben ceder el paso a los que ya se encuentran dentro.

Este diseño moderno ofrece una capacidad de operación mucho mayor. Aunque se implementó por primera vez en el Reino Unido en la década de 1960, la segunda generación tardó veinte años en extenderse a otros países europeos. Entre 1987 y 2002, en particular, Alemania, Francia y Suiza realizaron investigaciones que dieron lugar a normas técnicas que, junto con las inglesas, constituyen actualmente las principales referencias técnicas (Pratelli & Souleyrette, 2009).

Las causas del retraso en la implementación son inciertas y objeto de mucha especulación. Estados Unidos ha comenzado su implementación recientemente, ya que no fue hasta la versión de 1998 que apareció un capítulo sobre rotondas en el Manual de Capacidad de Carreteras (desarrollado con más detalle en la edición de 2000) (Pratelli & Souleyrette, 2009).

En Italia, las primeras normas se propusieron para el Nuevo Código de Carreteras de 1993, pero no fue hasta 2004 que se aprobaron en la legislación nacional. Sin embargo, estos códigos son aproximados e inadecuados, y carecen de fundamentos técnicos elementales (el art. 4.5 del DM 19/04/2006, Nro.1699). Un cálculo rápido para 4 ramales y 60 metros de diámetro es suficiente para demostrar su fallo e inviabilidad (Pratelli & Souleyrette, 2009).

El diseño de una rotonda, como el de cualquier otro elemento vial, debe basarse en principios de seguridad y debe implementarse en un contexto sistémico que combine características geométricas para cumplir con los requisitos de



capacidad; la percepción del espacio vial también es importante (Pratelli & Souleyrette, 2009).

Al diseñar una rotonda, el ingeniero debe considerar simultáneamente los factores de seguridad y la capacidad. Pero además de utilizar normas, fórmulas y modelos geométricos, se deben considerar aspectos de percepción y atractivo visual. Palabras clave: diseño y seguridad de rotondas, percepción visual de rotonda, atractivo visual y evaluación de isletas internas, ángulo sólido (Pratelli & Souleyrette, 2009).

Ren et al. (2016) en su artículo “Evaluación de modelos de capacidad de rotondas: un estudio de caso empírico”. Con base en datos de campo recopilados en nueve rotondas de Gold Coast, Australia, evaluaron el rendimiento de la estimación de la capacidad para rotondas de un solo carril mediante modelos analíticos [incluidos el modelo del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) de 2000, el modelo del Manual Alemán de Capacidad de Carreteras (GHCM), el modelo de ayuda para el diseño e investigación de intersecciones semaforizadas y no semaforizadas (SIDRA) y un nuevo modelo de capacidad de rotonda (NRC)] y un modelo empírico (el modelo HCM de 2010).

En primer lugar, este estudio calibra las brechas críticas, los tiempos de seguimiento y los flujos conflictivos. En comparación con las capacidades medidas en campo, los autores realizan un estudio para analizar la precisión de los modelos HCM, GHCM, SIDRA y NRC (Ren et al., 2016).

Los resultados muestran que los cinco modelos subestiman la capacidad, pero el modelo NRC produce un rango de error relativo menor.  $-1.07\%$  a  $-5.74\%$ ) y la desviación cuadrática media (47,68) que el HCM 2010 ( $-4.62\%$  a  $-16.14\%$ ) y



105,00, respectivamente), HCM 2000 (-5.76a-17.21%y 115,29, respectivamente), GHCM (-8.95a-21.26%y 146,82, respectivamente), y SIDRA (-5.15a-17.51%y 113,48, respectivamente). Por consiguiente, el NRC supera a los otros cuatro modelos para las rotondas estudiadas (Ren et al., 2016).

Los cinco modelos estiman una capacidad similar en volúmenes de tráfico bajos y medios, y los vehículos que salen desempeñan un papel importante en volúmenes de tráfico altos. En condiciones de tráfico intenso, los vehículos que salen garantizan más oportunidades de entrada que superan el impacto de los altos volúmenes de circulación en la capacidad de entrada (Ren et al., 2016).

Šurdonja et al. (2013) en su artículo “Optimización de elementos de diseño de rotondas” su objetivo de la investigación fue buscar la optimización el diseño de elementos de rotondas para mejorar la capacidad de tráfico en intersecciones urbanas, considerando limitaciones de espacio y la influencia del tráfico peatonal y ciclista. Aplicaron métodos como el método austriaco y el modelo de aceptación de brechas, analizando parámetros de diseño como el radio de la rotonda y el tiempo crítico de los conductores. Se utilizó un procedimiento inverso para calcular elementos de diseño basados en niveles de saturación de entrada previamente establecidos.

Los resultados mostraron que es posible optimizar el radio y otros elementos de diseño para mantener la capacidad deseada, incluso en espacios limitados. La metodología propuesta se considera una fase inicial en el diseño de rotondas, permitiendo definir elementos de diseño en función de la saturación del tráfico (Šurdonja et al., 2013).



Małecki & Watróbski (2017) en su artículo “Autómata celular para estudiar el impacto de los cambios en las normas de tráfico en una rotonda: una aproximación preliminar” presenta un modelo de tráfico en rotondas basado en autómatas celulares para simulación por ordenador. El modelo considera rotondas de diferentes tamaños, así como diversos tipos y velocidades máximas de los vehículos. Se presenta una fase de frenado realista, ajustada al tipo de vehículo y a las condiciones meteorológicas.

También se analizan las opciones de tráfico en rotondas, incluyendo la aplicación de las normas de entrada y salida. Las normas de tráfico se incluyen en los respectivos escenarios de tráfico. Los resultados de la simulación indican un amplio margen para la reorganización del tráfico en rotondas, con miras a aumentar su capacidad (Małecki & Watróbski, 2017).

Fernandes et al. (2017) en su artículo “El efecto del diseño de un corredor de rotonda en la selección de la ubicación óptima del cruce de peatones: un análisis de impacto multiobjetivo” sostiene que los cruces peatonales ubicados en segmentos de mitad de cuadra entre rotondas pueden proporcionar un buen equilibrio entre demora, emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y diferencia relativa entre la velocidad de vehículos y peatones.

Sin embargo, al considerar criterios de contaminantes locales, la ubicación óptima del cruce peatonal puede ser diferente a la obtenida para el  $CO_2$ . Este documento describió un análisis multiobjetivo de las ubicaciones de los cruces peatonales, con los objetivos de minimizar la demora, las emisiones y la diferencia relativa entre la velocidad de vehículos y peatones (Fernandes et al., 2017).



Tener en cuenta la diferencia entre contaminantes globales ( $CO_2$ ) y locales (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos) fue una de las principales consideraciones de este trabajo. Recopilaron y extrajeron datos de actividad vehicular junto con datos de flujos de tráfico y peatones en seis corredores de rotondas en Portugal, uno en España y uno en Estados Unidos (Fernandes et al., 2017).

Utilizaron un entorno de simulación que utilizaba modelos VISSIM, Vehicle Specific Power y Surrogate Safety Assessment Model para evaluar las operaciones de tráfico a lo largo de los sitios. Se implementó el algoritmo genético de clasificación rápida no dominada (NSGA-II) para buscar ubicaciones óptimas de cruces peatonales. Los resultados mostraron mejoras tanto en la demora como en las emisiones mediante el uso de cruces peatonales optimizados para cada sitio.

Los hallazgos también revelaron que la separación entre intersecciones influyó considerablemente en la ubicación óptima del cruce peatonal en un tramo a mitad de cuadra. Si la separación es baja ( $<100$  m), la ubicación del cruce peatonal se situará aproximadamente entre el 20 % y el 30 % de la longitud del espaciamiento (Fernandes et al., 2017).

Para valores de separación entre 140 y 200 m, los cruces peatonales se ubicarían en la posición intermedia. Al considerar un criterio específico de contaminación, no se observaron diferencias significativas entre los conjuntos de datos de cruces peatonales óptimos (Fernandes et al., 2017).

Novák et al. (2018) en su artículo “Cómo influyen los parámetros de diseño de entrada a la rotonda en la seguridad”, consideran que las rotondas se consideran el diseño de intersección más seguro; sin embargo, el efecto de



seguridad puede no ser satisfactorio en cada rotonda específica. Esto es cierto especialmente en países donde el diseño de rotondas es un concepto relativamente nuevo, como en la República Checa.

Encontraron que la mayoría de los accidentes en rotondas checas ocurrieron en las entradas. Esto motivó el estudio presentado para investigar cómo los parámetros de diseño de entrada influyen en la seguridad en las rotondas checas y, de ser posible, utilizar los hallazgos para actualizar las directrices actuales de diseño de rotondas checas (Novák et al., 2018).

Para este fin, el estudio comprendió tres análisis: funciones de rendimiento de seguridad basadas en accidentes, análisis de velocidad y, finalmente, funciones de rendimiento de seguridad que incorporaron la velocidad. Los tres análisis demostraron que los parámetros de diseño de entrada tienen una influencia estadísticamente significativa en la seguridad, en términos de frecuencia de accidentes, gravedad y velocidad. Dado el objetivo del estudio, este hecho debería considerarse en las directrices de diseño de rotondas checas (Novák et al., 2018).

Bezina et al. (2020) en su artículo “Impacto de la alineación de aproximación en el diseño geométrico de las rotondas urbanas”, sostiene que hoy en día, las intersecciones de tres y cuatro brazos se sustituyen con frecuencia por rotondas. En comparación con las intersecciones convencionales, la implantación de rotondas en la red vial ofrece diversas ventajas, como mayor seguridad y capacidad de intersección, y menores costes de mantenimiento y contaminación atmosférica.

Pero sin embargo, en algunos casos, estas no se consiguen debido a un diseño geométrico deficiente. Uno de los principales requisitos para un diseño



óptimo de una rotonda es que todos los ejes de aproximación se crucen en el centro. La alineación del eje de aproximación con respecto al centro de la rotonda desempeña un papel importante en su diseño, ya que afecta a la deflexión (la capacidad de controlar la velocidad de circulación), la trayectoria de barrido del vehículo y la distancia de visibilidad. En la práctica, debido a las limitaciones de espacio y al creciente desarrollo inmobiliario a lo largo de la carretera, esta condición no siempre se puede cumplir (Bezina et al., 2020).

Esto se hace especialmente patente en entornos urbanos, donde la reconstrucción del eje de aproximación no suele ser posible. Considerando lo anterior, este trabajo investigará el impacto del desplazamiento radial del eje de acceso (el eje no pasa por el centro de la rotonda) en el diseño geométrico de rotondas urbanas. La investigación se realiza mediante varios ejemplos teóricos de rotondas urbanas pequeñas y medianas con diversos radios externos y para un autobús de 12,0 m de longitud (Bezina et al., 2020).

Montella (2018) en su libro “Rotondas” sostiene que las medidas destinadas a reducir los accidentes en intersecciones tienen un alto potencial de rentabilidad, ya que estas constituyen solo una pequeña parte del sistema vial general, pero los accidentes relacionados con ellas representan más del 50 % de todos los accidentes en zonas urbanas y más del 30 % en zonas rurales. Las rotondas son una medida de seguridad comprobada, pero se han observado varios problemas que afectan significativamente tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes, tanto en rotondas existentes como en nuevas.

Por lo cual proporciona orientación sobre la selección de rotondas y los criterios de diseño. Con una metodología en donde se describe primero los



criterios más relevantes para la elección de una rotonda. Tras explicar el proceso de diseño y una clara descripción de su clasificación, ofrece recomendaciones para cada etapa del diseño geométrico, destacando las principales características que contribuyen a un óptimo rendimiento en seguridad, incluyendo el control de velocidad y la verificación de la distancia de visibilidad (Montella, 2018).

Finalmente explica los dispositivos de control de tráfico y las instalaciones para peatones y ciclistas. Los hallazgos fueron que el diseño de las rotondas debe equilibrar las demandas opuestas y es importante adoptar un enfoque de diseño basado en el rendimiento dentro de un proceso iterativo. La comprobación de rendimiento más importante es el análisis de la velocidad de los vehículos en la rotonda, ya que alcanzar velocidades adecuadas tiene un efecto muy positivo en la seguridad (Montella, 2018).

Bared et al. (2005) en su artículo “Capacidad simulada de rotondas e impacto de la rotonda en una vía semaforizada en progreso” sostiene que muchas intersecciones en áreas urbanas están señalizadas. A medida que las rotondas se multiplican, se están considerando adyacentes a las intersecciones señalizadas y para reemplazar algunas intersecciones señalizadas. La simulación de tráfico se ha utilizado para estudiar el rendimiento de las intersecciones señalizadas y no señalizadas.

En la investigación utiliza la simulación para estudiar el impacto de las rotondas en el tráfico. Se estudian dos problemas; en primer lugar, se modelan rotondas urbanas de un solo carril y de doble carril con el software de simulación de tráfico VISSIM. Los resultados de la simulación se comparan con los de RODEL (modelo empírico) y ASSIDRA (modelo analítico). La comparación con



datos reales recopilados en varios sitios en Estados Unidos muestra que los resultados de VISSIM se aproximan más a los datos reales que los de RODEL y aaSIDRA (Bared et al., 2005).

En segundo lugar, se estudia el impacto de la proximidad de las intersecciones señalizadas a las rotondas utilizando el modelo desarrollado. Más específicamente, se estudia el impacto de la señalización coordinada de una arteria cuando una rotonda se inserta dentro de un corredor arterial. Los resultados de las mediciones de retardo promedio son comparables a la alternativa de señalización cuando la rotonda opera por debajo de su capacidad. Sin embargo, con un alto volumen de tráfico y la rotonda operando a plena capacidad, el rendimiento de la señalización es ligeramente mejor (Bared et al., 2005).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Cisneros et al. (2022) en su artículo “Diseño de mini rotondas con semáforos adaptativos para mejorar los tiempos de recorrido vehicular y la capacidad de las rotondas en ciudades metropolitanas” sostiene que los altos tiempos de viaje en rotondas urbanas se deben a una mayor demanda vehicular actual sobre la baja capacidad del diseño inicial.

Manifiesta que hoy en día, un conductor tarda entre 13 y 21 minutos más en un viaje de 30 minutos. Debido a esto, surge la necesidad de modificar e innovar en el diseño geométrico y semaforico de estas intersecciones. Por lo tanto, el artículo propone la aplicación conjunta de rediseños geométricos basados en minirrotondas y semaforicos adaptativos en rotondas urbanas. Esto busca reducir los tiempos de viaje y aumentar la capacidad vehicular (Cisneros et al., 2022).



Para llevar a cabo este diseño, se seleccionó un caso de aplicación de una rotonda semafórica con cinco ramales ubicada en Lima Metropolitana, la cual presenta altos tiempos de viaje vehicular. Los datos de la rotonda se obtuvieron mediante levantamiento y procesamiento de la información en campo. Con estos datos, se microsimula, calibra y valida la situación actual de la rotonda utilizando Vissim 9. Posteriormente, realizaron el diseño del escenario 1 de la geometría con minirrotondas y el escenario 2 de geometría y semafóricos adaptativos. La evaluación de los resultados de ambos escenarios con la situación actual de la intersección mostró una reducción de los tiempos de viaje de entre un 9% y un 81%. Además, la capacidad vehicular en la rotonda aumentó un 31%, manteniendo su nivel de servicio F. (Cisneros et al., 2022).

Luna et al. (2023) en su artículo “Evaluación de la influencia del radio de giro de vehículos pesados al interior de una rotonda en los conflictos vehiculares” sostiene que las rotondas permiten un flujo vehicular continuo y una mayor capacidad de tráfico en comparación con las intersecciones convencionales. Esta alternativa permite mejorar la situación crítica en algunos puntos de las vías principales. Sin embargo, su eficiencia se reduce cuando la estructura tiene un área reducida.

Asimismo, la presencia de vehículos pesados afecta la circulación continua de otros vehículos, ya que ocupan más de un carril para girar correctamente. Por lo tanto, se generan numerosos conflictos vehiculares, retrasos y colas. Esta investigación busca evaluar los conflictos en una rotonda de área reducida. Posteriormente, en el escenario 1, los vehículos pesados de la rotonda en estudio se reemplazaron por automóviles para evaluar la influencia de los vehículos pesados a través de la variación de los conflictos vehiculares. Finalmente, se



compara un segundo escenario con una rotonda con carriles definidos para vehículos pesados dentro de la isleta central (Luna et al., 2023).

Los carriles definidos que cruzan la isleta central tienen un mayor radio de giro en comparación con los diseñados en la rotonda. Se realizó la recopilación de datos de la situación actual y, posteriormente, se utilizó el software de simulación microscópica Vissim para simular los escenarios utilizando los datos de tráfico recopilados. Para evaluar el radio de giro, se utilizó el semirremolque como vehículo de diseño, ya que es uno de los principales vehículos que circulan por la intersección en estudio y requiere un amplio radio de giro (Luna et al., 2023).

Los resultados del escenario 1, que sustituye los remolques por automóviles, muestran una reducción del 20% en los conflictos vehiculares. Esto mismo ocurre en el escenario 2, que presenta una reducción similar en los conflictos vehiculares que en el escenario 1. Asimismo, el escenario 2 presenta una disminución en las demoras vehiculares, lo que mejora la eficiencia de la infraestructura en estudio (Luna et al., 2023).

Macedo (2025) en su tesis “Mejorando el transporte urbano en Lima” sostiene que el transporte urbano en Lima es actualmente uno de los problemas más críticos de la ciudad, ya que obliga a las personas a utilizar vehículos motorizados para desplazarse a la mayoría de sus destinos, lo que provoca congestión vehicular en la mayoría de las zonas más transitadas de la ciudad. Los residentes realizan más de 15 millones de viajes diarios, y cerca del 75% de estos se realizan en transporte público o masivo debido a la falta de infraestructura para el uso de bicicletas o caminatas, lo que conlleva consecuencias negativas para los ciudadanos en términos de tráfico, contaminación e inseguridad.



En el documento detalla algunas soluciones que podrían implementarse en una de las zonas más transitadas con problemas vehiculares: la Plaza Bolognesi, ubicada en el centro de Lima, su objetivo principal es proponer soluciones de diseño en las cinco avenidas que la rodean para brindar mayor seguridad a los ciudadanos que suelen desplazarse por la zona, ya sea a pie, en bicicleta, en coche o en cualquier otro medio de transporte. Algunas de las propuestas incluyen la creación de ciclovías e infraestructura peatonal, que contribuyen a mejorar la fluidez del tráfico y a construir comunidades amigables (Macedo, 2025).

Asimismo, se demuestra la importancia de los peatones mediante la inclusión de mobiliario urbano. Además, para evitar el aumento de la congestión vehicular y el desorden, se crean carriles exclusivos para autobuses y una señalización urbana más eficiente. Este proyecto demostrará la importancia de mejorar las prácticas sostenibles en las calles y el impacto positivo que esto traería a los ciudadanos que suelen frecuentar la zona (Macedo, 2025).

Calderón & Sequeiros (2023) en su tesis denominado “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”, tuvo como objetivo determinar la funcionalidad de la turbo rotonda con rondas convencionales en Quiñones, Vallecito e intersección los Incas con Andrés Avelino Cáceres. Donde utilizaron los métodos de estadística de registro para determinar los flujos y las velocidades, luego analizaron la geometría de las intersecciones mediante el método Highway Capacity Manual (2016).



Utilizando también los programas de PTV VISSIM 2023, diseñando, modelando con micro simulaciones de servicio en hipotéticos turbo rotondas en cada zona de estudio. Comparando entre el diseño real con el diseño de turbo rotonda obteniendo. Obteniendo resultados que permitieron establecer que el diseño de turbo rotonda es más eficiente frente a las rotondas convencionales, pero sin embargo, este nuevo diseño posee una mayor complejidad en su operación requiriendo un mayor conocimiento por los usuarios en comparación a las rotondas reales o convencionales que tiene la ciudad (Calderón & Sequeiros, 2023).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Carrasco (2022) en sus tesis denominada “Simulación de tráfico con el software Vissim y Viswalk para el diseño de un trébol de intercambio vial en la intersección de la carretera panamericana sur con la avenida estudiante en salcedo-Puno - 2020”, su objetivo principal fue mejorar las condiciones de circulación del tráfico vehicular y peatonal utilizando un programa de simulación como el Vissim y Viswalk , con la propuesta del diseño de un Trébol de intercambio vial.

Su metodología empleada es con un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y aplicada, sus resultados (2042) , Nivel C ( 3,2022), Nivel E (5,2042) , tiempo de demora (20.0 seg/veh), longitud de cola (71.44m), concluyendo que la intersección su nivel de servicio (deficiente), y para mejorar las características se debe plantear un Trebol en dicha intersección.(Carrasco, 2022).

Mamani & Chura (2016) en su tesis denominado “Diseño del intercambio vial a desnivel en las intersecciones de la carretera panamericana sur y la av. El estudiante de la ciudad de Puno". su objetivo fue proponer una solución al



problema del tráfico vehicular de la ciudad, así como mejorar la conectividad de los sistemas viales urbanos. Es una investigación aplicada, descriptiva, tipo expediente técnico, porque solo se puede resaltar el estudio de tráfico de 584 vehículos mixtos de salida, 668 vehículos por hora y 49 vehículos en 5 min, Concluyendo que se requiere realizar una obra de desnivel para mejorar la transitabilidad actual en la Av. El estudiante, que conecta el futuro distrito de Salcedo con la salida con las ciudades del sur de la región de Puno.

Soto (2017) en su tesis titulada “Análisis y planificación vial del tránsito vehicular en el cercado de la ciudad de Juliaca”, su objetivo fue caracterizar el tránsito y su planificación vial de la ciudad de Juliaca, con un enfoque cuantitativo analizo la situación del fenómeno con HCM 2010 y Synchro 8. Evaluó en un periodo de 10 años. En su estudio de tráfico obtuvo en un cuarto de hora (15min) de 605, 767,913 y 722 vehículos por cuarto de hora, Las conclusiones que obtuvo fue de proponer la categorización vial de Juliaca a nivel de servicio F.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Teoría en las intersecciones viales**

#### **2.2.1.1. Estado del Arte**

En el siglo XIX donde la revolución industrial llega y aparecen los automóviles aparecen los problemas de tránsito, es el caso de las grandes ciudades europeas, como es el caso de Londres, Paris , Madrid entre otras (Darder, 2005), el tráfico incremento considerablemente, el problema de tráfico por la deficiencia regulación en la intersecciones de la vías, como en la capacidad de las vías, como los retrasos y atascos que embotellaban



las circulaciones viales, encontrando ahí el problema de la época (Krbálek & Šleis, 2015)..

En 1913 a 1914 el ingeniero Hellier, implemento y desarrollo un sistema de tráfico circular, en la intersección confluía varias vías en su intersección desarrollando así el concepto de la rotonda o llamada también sistema circular (Tollazzi, 2015).

En el siglo XX las organizaciones de circulación terrestres empiezan a solucionar los problemas grandes de las ciudades europeas, en donde las organizaciones plantean soluciones al problema (Tollazzi, 2015). En 1918 se crea la junta de transporte de Inglaterra en donde plantea que las carreteras de Francia sirvieran como modelo para Europa, en los EEUU también se implementa, pero se sigue con los problemas por el incremento en la demanda vehicular y circulación en las vías (Brown, 1995).

En 1924 en la conferencia realizada por los norteamericanos propusieron derechos de paso en las intersecciones, como las señales de advertencia como de parada. Mientras en el Inglaterra y el Reino Unido se implementaron las rotondas en las intersecciones de mayores de cuatro vías (Analyses & Models, 1987). En el año de 1925 al 1926 se implementaron varias normas de cómo debería funcionar las rotondas, o la clasificación de giros en cada punto de intersección (Darder, 2005).

Los sistemas planteados en Londres fueron simplemente sistemas unidireccionales alrededor de plazas con una dificultad con esquinas muy cerradas (Kennedy, 2008). Los nuevos principios causaron varios conflictos dentro de ellas están la velocidad en los puntos de conflicto,



tomando en consideración que las velocidades de vehículos cambiaban en cada modelo como también las direcciones de las vías, como las señalizaciones eran un problema, por la no estandarización de las normativas en función de desarrollo de vehículos como el crecimiento de cada zona o ciudad donde se implementaban dichas rotondas (Darder, 2005).

### 2.2.1.2. Primera fórmula para determinar una intersección

El laboratorio de investigaciones vial de los EEUU denominado “Road Research Laboratory”, en el año de 1955 inicia a realizar ensayos en vías experimentales permitiendo variar las condiciones de diseño en la geometría, velocidad y cantidad de vehículos. Los investigadores llegan a la conclusión a la siguiente expresión (Brown, 1995):

$$Q_W = \frac{K * w * (l + \frac{e}{w}) * (l - \frac{P}{3})}{l + \frac{w}{l}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde;  $Q_W$  es la capacidad de una vía en una intersección,  $l$  es la longitud,  $e$  es la anchura promedio de la vía de intersección,  $P$  porcentaje de vehículos que realizan la maniobra en el trenzado. También llamado la fórmula propuesta de Wardrop (1957) incluyendo todos los parámetros analizados.

### 2.2.1.3. Fórmula de Kimber

Kimber (1988) plantea una fórmula de una intersección circular sin semáforos principio básico para el diseño, en los laboratorios de



“Transport and Road Research Laboratory” (TRRL), plantea el cálculo de la capacidad que tiene la vía para la entrada de la intersección de la arteria.

Desarrollando un estudio de la capacidad de tráfico de los flujos no prioritarios en intersecciones de prioridad principal y secundaria. Plantea que los flujos anormalmente altos en la vía principal, la capacidad depende linealmente del flujo en los flujos prioritarios relevantes de la vía principal.

Las relaciones dependen del ancho de carril disponible para el flujo no prioritario, la visibilidad de los conductores en espera, el ancho de la vía principal y, en las vías de doble calzada, del ancho de la mediana. Desarrollando un marco de ecuaciones predictivas de la capacidad normal, planteando dos métodos; a) para condiciones operativas locales con emplazamientos existentes con sobrecarga, b) para predecir efectos de los cambios de la geometría de los emplazamiento existentes.

Traduciendo en la siguiente formula:

$$C = 303x - 0.21t_D(1 + 0.2x) * Q_c \dots\dots\dots (2)$$

$$t_D = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{\frac{D-60}{10}}} \dots\dots\dots (3)$$

$$x = v + \frac{e-v}{1+2S} \dots\dots\dots (4)$$

$$S = \frac{e-v}{l} \dots\dots\dots (5)$$

Donde;  $t_D$  es el coeficiente que esta en función del diametro (D) y el espacio del ancho de entrada ( e ),  $Q_c$  es la demanda vehicular o la cantidad de vehículos que pasan por la vía,



### 2.2.2. Teoría de la velocidad para el diseño de intersecciones

Pilko et al. (2014) sostiene que la influencia de los elementos geométricos de diseño de rotondas en la velocidad de circulación vehicular es un factor clave para la seguridad vial y el nivel de servicio, concluye que una correlación significativa entre la velocidad de diseño teórica y la velocidad real observada, evidenciando que el diseño geométrico incide directamente en la trayectoria y comportamiento de los vehículos dentro de las rotondas.

Chen et al. (2013) manifiesta que la velocidad en rotondas influye directamente en la seguridad vial y el nivel de servicio. El diseño geométrico determina la trayectoria y velocidad de los vehículos. Las velocidades altas aumentan el riesgo de accidentes, mientras que velocidades moderadas mejoran la seguridad. Los Modelos predictivos permiten estimar la velocidad en etapas de diseño. La velocidad media de aproximación (AAS) es un buen indicador para evaluar la seguridad en rotondas.

Kim & Choi (2013) sostiene que la mayoría de los vehículos reduce su velocidad al ingresar a la rotonda. Identifico variables geométricas clave como el número de accesos y el ancho del carril. Propone un modelo predictivo basado en distribución binomial negativa para mejorar la seguridad vial.

Ossenbruggen (2025) demostró que las rotondas reducen la velocidad y mejoran la eficiencia operativa. La visualización del modelo muestra cómo pequeñas perturbaciones afectan la seguridad y tiempos de viaje. Se enfatiza la necesidad de educar al público sobre los beneficios de las rotondas y promover leyes de moderación del tráfico.



### 2.2.3. Aplicación del modelo probit en diseño de intersecciones

Guo & Zhao (2015) centrándose en cómo aceptan los espacios disponibles en el flujo vehicular mediante grabaciones en video y encuestas, se analizaron las decisiones de incorporación utilizando un modelo de elección binaria. Se propuso un método para calcular el intervalo crítico de tiempo, que depende del espacio disponible y la velocidad del vehículo que se aproxima por la vía principal. Los resultados indican que las velocidades mayores, los conductores requieren más tiempo y espacio para incorporarse de forma segura.

Zubaidi (2021) aplica métodos econométricos avanzados y aprendizaje automático para analizar rotondas o intersecciones. Se aplicaron modelos probit binarios con parámetros aleatorios y técnicas como máquinas de vectores de soporte (SVM). Indicando que varios factores geométricos y de comportamiento inciden en la gravedad de los accidentes. La importancia de considerar la heterogeneidad no observada en los datos.

Masaeid (1999) emplea modelos con precisión el comportamiento de aceptación de huecos por parte de los conductores mejora el análisis funcional de estas intersecciones (modelos logit) que estiman la probabilidad de que un conductor acepte un hueco según características del tráfico y de la rotonda. Estos modelos permiten una mejor estimación de la capacidad de las rotondas.

## CAPÍTULO III

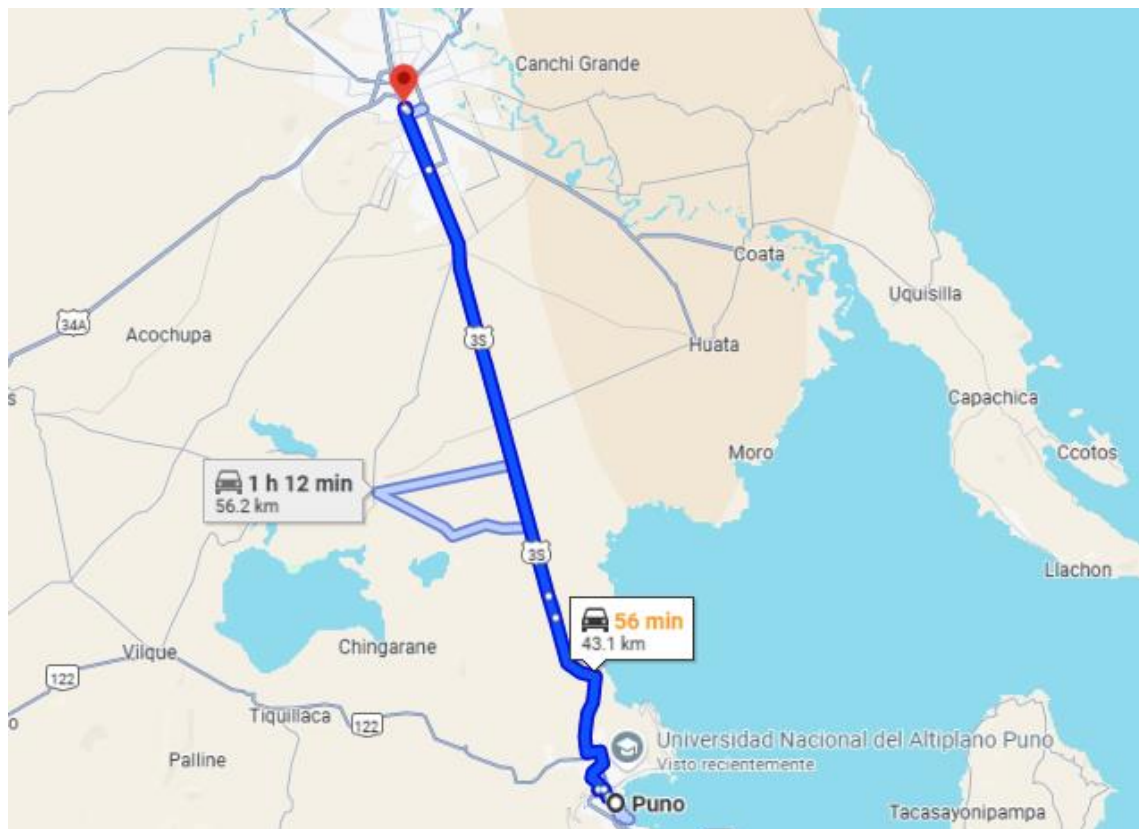
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEÓGRAFICA

La Unidad de estudio es vías interurbanas en el altiplano peruano, se consideró la autopista de Puno a Juliaca Figura 1.

#### Figura 1

*Ubicación geográfica de la unidad de estudio*



Nota: la ubicación es el centro de la vía PE 3S interurbana que conecta Puno con Juliaca, aproximadamente en el kilómetro 22 del trayecto. Este punto se localiza en coordenadas geográficas  $-15.6795^\circ$  de latitud y  $-70.0765^\circ$  de longitud. En el sistema UTM, corresponde a 422,350 metros Este y 8,265,100 metros Norte dentro de la zona 19L. De acuerdo con el Manual de Carreteras – Diseño Geométrico DG-2018 del MTC, las vías se clasifican según su demanda de tráfico y orografía. La carretera PE-35J, que conecta Puno y Juliaca, se categoriza como una carretera nacional de calzada simple (2 carriles) en terreno accidentado.



### 3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación adopta un enfoque **cuantitativo, empírico y aplicado**, orientado a analizar la influencia del radio, ancho, longitud y capacidad de las secciones viales sobre la velocidad de entrada en intersecciones de vías interurbanas en el altiplano peruano (Yasmin et al., 2014; Zhou et al., 2022). El **enfoque cuantitativo** se justifica porque se trabajará con variables medibles como el radio de curvatura, el ancho, la longitud y la capacidad de la sección vial, así como la velocidad de entrada de los vehículos (Creswell, 2019). Este enfoque permite establecer relaciones estadísticas y probabilísticas entre dichas variables, aplicando modelos econométricos como probit, los cuales son adecuados para estudios donde se desea predecir la probabilidad de ocurrencia de ciertos comportamientos viales (Washington et al., 2003).

### 3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es **básica y aplicada**. Es **básico** porque genera **conocimiento teórico sobre la relación entre variables geométricas viales** y el comportamiento dinámico de los vehículos, en particular la velocidad de entrada en intersecciones (Washington et al., 2003). Este conocimiento es útil para enriquecer los fundamentos del diseño vial y aportar a la teoría del comportamiento vehicular en contextos geográficos específicos como el altiplano (Creswell, 2019). Es **aplicada** porque sus resultados tienen un **propósito práctico y utilitario**, orientado a **mejorar la seguridad y eficiencia del diseño geométrico de intersecciones** en vías interurbanas. La investigación aplica modelo probit, proponiendo criterios técnicos que puedan ser considerados por ingenieros viales, planificadores del transporte y entidades públicas responsables del diseño y mantenimiento de infraestructura vial (Yasmin et al., 2014; Zhou et al., 2022).



### 3.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es **explicativo** identifico y analizo los factores que determinan el comportamiento de una variable dependiente la velocidad de entrada, analizando las variables geométricas independientes como el radio, el ancho, la longitud y la capacidad de la sección vial (Washington et al., 2003). Para ello se aplicó el modelo probit que permito estimar la probabilidad de ocurrencia de determinados rangos de velocidad, en función de condiciones geométricas observadas (Creswell, 2019).

### 3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación adoptó un **diseño cuasiexperimental** al analizar la influencia de variables geométricas del diseño vial como el radio de curvatura, el ancho, la longitud y la capacidad de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones de vías interurbanas del altiplano peruano (Creswell, 2019). Es cuasiexperimental por se manipula las variables en el modelo probit la asignación de escenarios distintos para poder determinar e inferir las relaciones causales, las mismas que permiten estimar probabilidades de ocurrencia de ciertas velocidades en función de las características del diseño (Washington et al., 2003).

### 3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.6.1. Técnicas de investigación

La investigación empleó técnicas cuantitativas centradas en la observación estructurada mediante registros de video para estimar la velocidad de entrada de vehículos en intersecciones interurbanas. Se realizará la medición directa de variables geométricas como el radio, ancho y longitud de sección, utilizando herramientas geospaciales.



La información recopilada se analizó mediante modelos probit, que permiten evaluar la influencia de estas variables sobre la velocidad. Además, se aplicó un análisis comparativo entre intersecciones con diferentes características geométricas. Estas técnicas permitieron establecer relaciones causales en condiciones reales, sin intervención directa. La sistematización de datos secundarios complementará el análisis con normas como el DG-2018 del MTC y documentos de la concesión vial. En conjunto estas técnicas aseguran un estudio riguroso y aplicable al diseño vial del altiplano peruano.

### **3.6.2. Instrumentos de investigación**

En la investigación se utilizaron diversos instrumentos para recolectar y analizar los datos en campo. Se emplearon cámaras de video de aeronaves no tripuladas para registrar el comportamiento vehicular en las intersecciones, permitiendo estimar la velocidad mediante el software Kinovea. En formato Excel se estimaron los datos como tipo de vehículo, velocidad de entrada y condiciones geométricas.

En relación para medir el radio de la curvatura, el ancho y longitud de secciones viales se usó las herramientas geoespaciales como fotografías aéreas. Los datos obtenidos se procesan con software estadístico como SPSS, aplicando modelos logit y probit.

También se utilizan documentos técnicos del DG-2018 del MTC y registros de COVISUR para contrastar y validar los parámetros normativos. Estos instrumentos permiten desarrollar un análisis riguroso, realista y aplicable al diseño vial en el altiplano peruano



### 3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

#### 3.7.1. Validez

Para garantizar la validez del instrumento, se llevó a cabo una **prueba piloto** en una intersección interurbana con características geométricas similares a las del estudio principal. Esta prueba permitió **verificar la funcionalidad de la ficha de observación estructurada**, así como la **ubicación óptima de las cámaras** para registrar la velocidad de entrada de los vehículos.

Los resultados obtenidos en esta etapa inicial facilitaron el ajuste de los tiempos de registro, la clasificación vehicular y la codificación de las variables geométricas. Además, se contrastaron los valores de velocidad estimados con software (Kinovea) frente a mediciones manuales para validar la precisión técnica del instrumento.

Complementariamente el instrumento fue sometido a **juicio de expertos** en ingeniería de transporte, quienes evaluaron la coherencia y pertinencia de los ítems con relación a los objetivos del estudio. Estos procedimientos permitieron asegurar la **validez de contenido y de criterio**, confirmando que el instrumento era adecuado y confiable para recolectar los datos requeridos en la investigación.

#### 3.7.2. Confiabilidad

Para poder analizar la confiabilidad de los instrumentos de la investigación se utilizó la prueba estadística de Rho de Spearman, para su evaluación se utilizó la Tabla 1 para su evaluación.



**Tabla 1**

*Evaluación de la validez y confiabilidad*

<b>Rango</b>	<b>Relación</b>	<b>Correlación</b>
$\rho = 0$	No existe	Nula
$0.00 < \rho \leq 0.20$	Poca intensa	Pequeña
$0.20 < \rho \leq 0.40$	Apreciable	Baja
$0.40 < \rho \leq 0.60$	Considerable	Regular
$0.60 < \rho \leq 0.80$	Intensa	Alta
$0.80 < \rho \leq 1.00$	Demasiado Intensa	Muy Alta

Nota: Spearman (1904), escala de validación del instrumento.

Analizando las dos variables se tiene los resultados en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Análisis de las dos variables*

<b>Estadísticos de fiabilidad</b>	
<b>Análisis/variable</b>	<b>Prueba AdC</b>
Variable dependiente: Velocidad de entrada	0.892
<b>Análisis/variable</b>	<b>Prueba AdC</b>
Variable independiente: Radio de la curvatura	0.889

Nota: como se observó en ambas casos superó las expectativas el instrumento es válido.

### 3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.8.1. Población

La población son las vías interurbanas del altiplano peruano

### 3.8.2. Muestra

Para ambas variables se tomó la vía interurbana de Puno a Juliaca dentro de ello se tiene 10 intersecciones, de cuales solo se muestreo 5 más del 50% , las cuales son:

#### Figura 2

*Intersección al inicio de la via Puno a Juliaca*



Nota, ubicado en coordenadas UTM 388575.69 m E, 388575.69 m E, zona 19L, radio 30 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 12 mts, capacidad de la sección 7 860 veh/día.

Las intersecciones tomadas como referencias son no probabilísticas, mientras el muestreo de las velocidades de entrada si son probabilísticos con relación al tiempo de la muestra se dio a 24 horas, 7 días de la semana.

### Figura 3

#### *Intersección patallani*



Nota, ubicado en coordenadas UTM 388616.79 m E, 388616.79 m E , zona 19L, radio 60 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 8 mts, capacidad de la sección 7 860 veh/día, radio 80 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 12 mts, capacidad de la sección 7 860. Radio 90 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 8 mts, capacidad de la sección 7 860.

### Figura 4

#### *Intersección paucarcolla I*



Nota, ubicado en coordenadas UTM 387213.54 m E, 8258508.11 m S, zona 19L, radio 35 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 12 mts, capacidad de la sección 7 860 veh/día.

## Figura 5

### *Intersección paucarcolla II*



Nota, ubicado en coordenadas UTM 386838.91 m E, 8259699.20 m S, zona 19L, radio 35 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 12 mts, capacidad de la sección 7 860 veh/día.

## Figura 6

### *Intersección final de la via*



Nota, ubicado en coordenadas UTM 380156.04 m E, 8282776.51 m S, zona 19L, radio 35 m, Longitud de entrada 80 mts, ancho de la vía 12 mts, capacidad de la sección 7 860 veh/día.



## **3.9. VARIABLES**

### **3.9.1. Conceptualización de la variable dependiente**

#### **3.9.1.1. Definición conceptual de la velocidad de entrada**

La velocidad de entrada es la rapidez con la que un vehículo accede a una intersección vial, medida en función de la distancia recorrida por unidad de tiempo al momento de ingresar al área de conflicto de la intersección. Representa una variable clave en el análisis del comportamiento vehicular, ya que está influenciada por factores geométricos como el radio de curvatura, el ancho y la longitud de la sección vial, así como por las condiciones operativas de la vía.

En el contexto del diseño vial, la velocidad de entrada se asocia con la comodidad del conductor, la seguridad vial y el nivel de servicio de la intersección. Es una variable dependiente en estudios de tránsito, ya que refleja cómo los elementos físicos del entorno influyen en la conducta de conducción.

#### **3.9.1.2. Definición operativa de la velocidad de entrada**

La velocidad de entrada se define operativamente como la velocidad estimada en km/h que tiene un vehículo al ingresar a la intersección, medida desde el momento en que atraviesa la línea de aproximación o zona de influencia hasta que se incorpora completamente al área central de la intersección.



Esta velocidad se determina mediante el análisis de video, registrando el tiempo que tarda un vehículo en recorrer una distancia conocida en el tramo definido entre dos puntos de referencia marcados en campo o en imagen. El cálculo se realiza con el apoyo de software especializado como Kinovea, que permite obtener tiempos exactos en función de fotogramas.

La medición se aplica a diferentes vehículos y se repite en diversas intersecciones, con el fin de identificar variaciones relacionadas con las características geométricas de cada diseño vial.

### **3.9.1.3. Forma de uso de los datos de la velocidad de entrada**

Para Los datos de velocidad de entrada se utilizan como variable dependiente principal en la investigación. Se obtienen mediante análisis de video, registrando el tiempo que tarda un vehículo en recorrer una distancia conocida al ingresar a la intersección.

Esta información se organiza en una base de datos para ser analizada estadísticamente. Primero, se describen sus características con medidas de tendencia central y dispersión. Luego, se comparan velocidades entre diferentes intersecciones con distintos radios y dimensiones geométricas.

Finalmente, se aplican modelos probit para estimar la influencia del diseño vial sobre la probabilidad de ciertas velocidades. Este análisis permite comprender cómo el diseño geométrico afecta el comportamiento vehicular.

## **3.9.2. Conceptualización de la variable independiente**

### **3.9.2.1. Definición conceptual del radio de curvatura**

El radio de curvatura de la intersección es un parámetro geométrico que representa la distancia desde el centro del arco de giro hasta cualquier punto del borde de la trayectoria curva seguida por un vehículo al ingresar, circular o salir de una intersección vial.

Este radio determina el grado de suavidad o rigidez con que un vehículo puede realizar un giro, y tiene una influencia directa sobre la velocidad de operación, la comodidad del conductor y la seguridad vial. En el diseño geométrico de intersecciones, el radio de curvatura es una variable fundamental que condiciona el comportamiento del tránsito, especialmente en vías interurbanas, donde se requiere compatibilizar eficiencia operativa con condiciones de seguridad.

Su valor depende del tipo de intersección, el diseño de los accesos y la jerarquía funcional de la vía, siendo establecido conforme a normas como el Manual de Carreteras – DG-2018 del MTC.

### **3.9.2.2. Definición operativa del radio de curvatura**

El radio de curvatura se mide como la distancia en metros entre el centro del arco de giro y el eje del carril vehicular en el tramo curvo de acceso, circulación o salida de la intersección. En esta investigación, su medición se realiza directamente en campo utilizando herramientas geospaciales.



Este valor se registra como una variable cuantitativa continua, expresada en metros (m), y se incorpora al análisis estadístico para evaluar su influencia sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones estudiadas.

### **3.9.2.3. Forma de uso de los datos del radio de curvatura**

Los datos del radio de curvatura se utilizan como variable independiente principal en el análisis estadístico. Una vez recolectados mediante herramientas geospaciales, estos valores expresados en metros se integran en una base de datos junto con otras variables geométricas.

Posteriormente, se utilizó para analizar su influencia sobre la velocidad de entrada de los vehículos a través de modelos econométricos como probit, que permiten estimar la probabilidad de alcanzar ciertos rangos de velocidad en función del valor del radio.

Además los radios se comparan entre diferentes intersecciones para determinar si radios más amplios permiten velocidades mayores y si radios menores inducen a velocidades de ingreso más bajas. Este uso permite establecer relaciones funcionales y causales entre el diseño geométrico y el comportamiento vehicular, aportando evidencia técnica para decisiones de diseño vial.



### **3.10. DISEÑO ESTADISTICO**

#### **3.10.1. Hipótesis estadística del objetivo general**

##### **3.10.1.1. Planteamiento de la hipótesis general**

El radio tiene una influencia significativa sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

##### **3.10.1.2. Prueba estadística**

$H_0$  = El radio no tiene una influencia significativa sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

$H_1$  = El radio tiene una influencia significativa sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

- Si  $P \text{ Sig} < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$ , entonces el radio tiene influencia significativa.
- Si  $P \text{ Sig} \geq 0.05$ , no se rechaza la  $H_0$ , entonces el radio no tiene influencia significativa

#### **3.10.2. Hipótesis estadística del objetivos específicos**

##### **3.10.2.1. Planteamiento de la hipótesis específico 1**

La capacidad de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano



### 3.10.2.2. Prueba estadística

$H_0$  = La capacidad de la sección no influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

$H_1$  = La capacidad de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

- Si  $P \text{ Sig} < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$ , entonces la capacidad tiene influencia significativa.
- Si  $P \text{ Sig} \geq 0.05$ , no se rechaza la  $H_0$ , entonces la capacidad no tiene influencia significativa

### 3.10.3. Hipótesis estadística del objetivo específico 2

#### 3.10.3.1. Planteamiento de la hipótesis específico 2

El ancho de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

#### 3.10.3.2. Prueba estadística

$H_0$  = El ancho de la sección no influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

H1 = El ancho de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

- Si  $P \text{ Sig} < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$ , entonces el ancho de la sección tiene influencia significativa.
- Si  $P \text{ Sig} \geq 0.05$ , no se rechaza la  $H_0$ , entonces el ancho de la sección no tiene influencia significativa.

### **3.10.4. Hipótesis estadística del objetivo específico 3**

#### **3.10.4.1. Planteamiento de la hipótesis específico 3**

La longitud de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

#### **3.10.4.2. Prueba estadística**

$H_0$  = La longitud de la sección no influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

H1 = La longitud de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano

- Si  $P \text{ Sig} < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$ , entonces la longitud de la sección tiene influencia significativa.

- Si  $P \text{ Sig} \geq 0.05$ , no se rechaza la  $H_0$ , entonces la longitud de la sección no tiene influencia significativa.

### 3.11. MODELO MATEMATICO

El modelo matemático planteado es la siguiente:

- a) Variable dependiente: es la velocidad de entrada

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{si la velocidad de entrada es alta fuera de la velocidad de diseño} \\ 0 & \text{si la velocidad de entrada es bajo esta dentro de la velocidad de dsieño} \end{cases}$$

- b) Variable independiente: radio de curvatura de la intersección en metros (m)

- c) Modelo matemático probit:

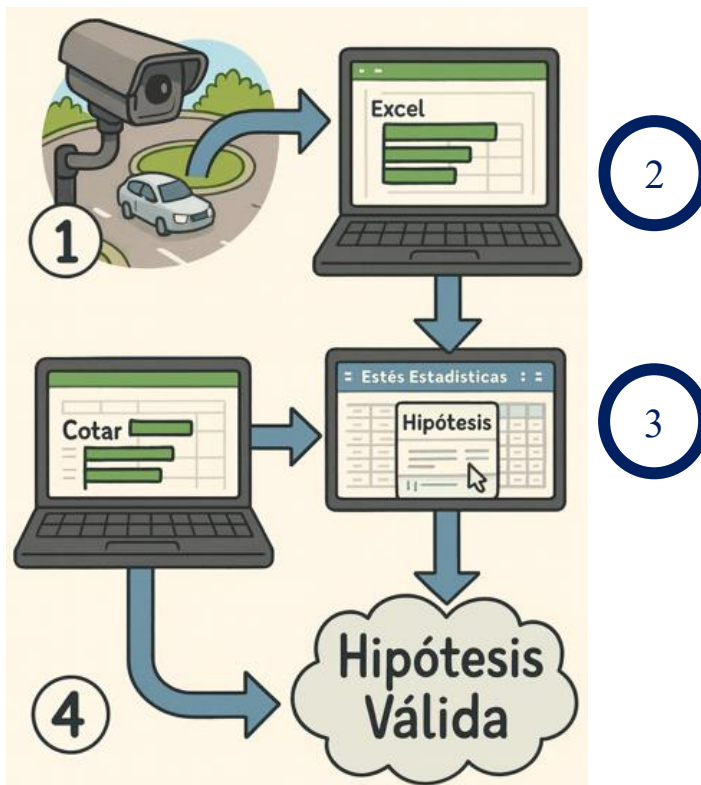
$$P(Y = 1) = \varphi(\beta_0 + \beta_1 \text{Radio} + \beta_2 \text{Capacidad} + \beta_3 \text{Ancho} + \beta_4 \text{Longitud})$$

Donde:

- $P(Y = 1)$ : Probabilidad de que un vehículo registre la velocidad de diseño
- $\varphi$  : Función de distribución acumulada normal estándar
- $\beta_0$ : Intercepto en termino constante
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  y  $\beta_4$  : Coeficientes estimados que miden la influencia en cada variable

**Figura 7**

*Procedimiento para el cumplimiento de los objetivos*



Nota, 1 es la recolección de datos mediante herramientas geospaciales, 2 es el procedimiento de proceso de la video cámara para el proceso en Excel, 3 es el proceso de Excel a SPSS versión educacional para poder cumplir con el objetivo general y los específicos.

Para poder determinar los cuatro objetivos ( general y tres específicos) se determino con el modelo matemático establecido, utilizando la metodología probit, utilizando una sola muestra y teniendo única evaluación del modelo la misma que se evaluó cada hipótesis planteada tal como se muestra en el capítulo de resultados. El modelo probit es adecuado para cumplir con los objetivos planteados, tomando en consideración el esquema presentado en la Figura 7.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Modelo matemático probit

Se tiene los resultados del modelo:

**Tabla 3**

*Resultados del modelo probit*

Variable	Coef. ( $\beta$ )	Error Estándar	z	p-valor
Constante	1.102	0.636	1.73	0.0834 ( $\approx 0.05$ )
Radio	-0.0152	0.00174	-8.72	< <b>0.00001</b>
Longitud entrada	0.00051	0.0005	1.02	0.3084
Ancho vía	0.0243	0.0482	0.5	0.6143
Capacidad vía	-0.00294	0.00043	-6.84	< <b>0.00001</b>

Nota, la variable Radio como la Capacidad de la vía tiene un efecto negativo y significativo, a mayor sea el radio menor es la probabilidad de exceder la velocidad de diseño. Mientras la variable longitud de entrada y ancho de la vía no tienen un influencia significativa.

##### 4.1.2. Evaluación de la hipótesis general

La hipótesis general sostiene que “el radio tiene una influencia significativa sobre la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones a nivel de vías interurbanas del altiplano peruano”. Para evaluar la hipótesis se aplicó un modelo econométrico tipo Probit, utilizando una base de datos de 7860 registros, estructurada con variables geométricas clave como el radio, la longitud de entrada, el ancho de la vía y la capacidad de la sección.



La variable dependiente fue una clasificación dicotómica de la velocidad , codificada como 1 para velocidades no cumplen (alta) y 0 para los que cumplen al diseño y están debajo de ellas (bajas), de acuerdo con proporciones establecidas por intersección. El modelo mostró que el coeficiente del radio de curvatura fue de  $-0.0152$ , con un p-valor menor a  $0.00001$ , lo que indica una alta significancia estadística. El efecto marginal asociado al radio fue de  $-0.0058$ , lo que implica que por cada metro adicional en el radio de curvatura, la probabilidad de que un vehículo registre velocidad alta disminuye en aproximadamente  $0.58\%$ , manteniendo constantes las demás variables del modelo. Esto respalda empíricamente la hipótesis planteada.

La interpretación de estos resultados sugiere que radios mayores generan trayectorias más abiertas, donde los conductores tienden a anticipar su ingreso con mayor precaución, reduciendo su velocidad. Esto coincide con estudios previos que indican que el diseño geométrico de las intersecciones particularmente el radio de giro afecta directamente el comportamiento operacional y la seguridad vial.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, concluyendo que el radio de curvatura influye significativamente en la velocidad de entrada. Estos hallazgos aportan evidencia útil para decisiones de diseño vial en contextos interurbanos andinos, donde las condiciones geométricas y operativas requieren soluciones adaptadas a la topografía y al tipo de flujo vehicular predominante. El análisis realizado ofrece fundamentos sólidos para futuras recomendaciones normativas y diseños que prioricen la eficiencia sin comprometer la seguridad vial.

#### 4.1.3. Evaluación de la hipótesis específico 1

Se evaluó la hipótesis específica 1 que plantea que “la capacidad de la sección vial influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones ubicadas en vías interurbanas del altiplano peruano”. Tomando en consideración el modelo matemático Probit, aplicando la variable dependiente velocidad frente a las variables explicativas geométricas, incluyendo la capacidad expresada en vehículos por hora.

El modelo fue estimado con un total de 7860 registros, generados con base en criterios de distribución realistas para las características geométricas y operativas. Los resultados del modelo mostraron que el coeficiente de la variable capacidad fue  $-0.00294$ , con un  $p$ -valor  $< 0.00001$ , indicando alta significancia estadística. El efecto marginal ( $dy/dx$ ) fue de  $-0.00113$ , lo que implica que por cada incremento de un vehículo por hora en la capacidad de la sección, la probabilidad de que un vehículo ingrese a la intersección con velocidad alta se reduce en aproximadamente 0.11%, manteniéndose constantes las demás variables.

Este comportamiento sugiere que en intersecciones con mayor capacidad vial, donde probablemente exista más flujo o densidad vehicular, los conductores tienden a ingresar con mayor precaución, reduciendo su velocidad. Este hallazgo tiene sentido operativo: a mayor saturación o volumen, el comportamiento vehicular tiende a ser más moderado por razones de seguridad y percepción del entorno vial.

Dado el alto nivel de significancia estadística, se rechaza la hipótesis nula (que plantea que la capacidad no influye) y se acepta la hipótesis alterna. Se



concluye, por tanto, que la capacidad de la sección sí influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones interurbanas.

Este resultado es relevante para el diseño y planificación de intersecciones en zonas andinas, ya que demuestra que no solo las características físicas influyen en el comportamiento vehicular, sino también las condiciones operativas de capacidad y carga vehicular. Así se recomienda considerar esta variable como factor técnico en el diseño geométrico y en los estudios de nivel de servicio de intersecciones rurales interurbanas.

#### **4.1.4. Evaluación de la hipótesis específico 2**

En la hipótesis específica 2 se planteó que “el ancho de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones a nivel de vías interurbanas del altiplano peruano”. Para evaluar esta afirmación, se utilizó un modelo matemático Probit sobre una base de datos estructurada con 7860 observaciones, simuladas de forma controlada para reflejar la realidad geométrica y operativa de este tipo de intersecciones.

En el modelo, la variable dependiente velocidad fue explicada a partir de variables independientes como el radio, la longitud de entrada, la capacidad de la sección y el ancho de la vía, siendo esta última la variable objeto de esta evaluación. El resultado del modelo Probit para la variable ancho de vía arrojó un coeficiente estimado de +0.0243, con un p-valor de 0.614.

Lo que nos indica que no existe evidencia estadísticamente significativa de que el ancho tenga un efecto directo sobre la velocidad de entrada de los vehículos. Asimismo, el efecto marginal ( $dy/dx$ ) fue de +0.0093, lo que representa un cambio positivo muy pequeño en la probabilidad de velocidad alta por cada



metro adicional de ancho. Sin embargo, este efecto no es estadísticamente significativo ( $p > 0.05$ ), y su intervalo de confianza incluye el valor cero.

Dado estos resultados, se concluye que el ancho de la sección no tiene un efecto significativo sobre la velocidad de entrada, al menos dentro del rango de valores observados (10 a 12 m). Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula asociada a esta variable, y no se puede afirmar que el ancho influya en la velocidad de forma estadísticamente significativa.

Este hallazgo sugiere que, en contextos interurbanos andinos, el ancho de la vía no representa un factor decisivo en el comportamiento de velocidad de los conductores, posiblemente porque la percepción de espacio o la geometría general de la intersección está condicionada más por otras variables como el radio o la visibilidad.

En conclusión, con base en el modelo y los datos analizados, la hipótesis específica 2 no es respaldada empíricamente, y se recomienda no considerar el ancho como un predictor prioritario de la velocidad en este tipo de intersecciones, salvo que se incorporen rangos más amplios o se combinen con otros factores de diseño.

#### **4.1.5. Evaluación de la hipótesis específico 3**

La hipótesis específica 3 establece que “la longitud de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en intersecciones interurbanas del altiplano peruano”. Para comprobar esta afirmación, se aplicó un modelo econométrico Probit a una base de datos estructurada con 7860 registros, simulados conforme a criterios técnicos de diseño vial y distribución realista de variables geométricas.



Dentro del modelo, la variable dependiente velocidad se trató como dicotómica, mientras que la variable longitud fue considerada como explicativa, junto a otras variables de control como el radio, ancho de vía y capacidad. Esta longitud representa el tramo previo de aproximación a la intersección. El coeficiente estimado para longitud fue de +0.00051, con un p-valor de 0.3084, lo que implica una relación no estadísticamente significativa al nivel convencional de confianza del 95%. El efecto marginal ( $dy/dx$ ) fue de +0.00020, lo cual representa un cambio extremadamente bajo en la probabilidad de velocidad alta por cada metro adicional de longitud.

Aunque el signo positivo del coeficiente sugiere que mayores longitudes podrían estar asociadas a una mayor probabilidad de ingreso con velocidad alta, la evidencia estadística no es concluyente. El intervalo de confianza incluye el cero, lo que impide confirmar que el efecto observado no sea producto del azar. Por lo tanto, se mantiene la hipótesis nula y no se acepta la hipótesis alterna. Es decir, la longitud de la sección no influye de forma significativa en la velocidad de entrada en las condiciones del modelo y los datos analizados.

Este resultado podría estar condicionado por la limitada variabilidad en los datos simulados (rangos de longitud entre 5 m y 120 m) o por la interacción de esta variable con otras dimensiones del diseño vial. En escenarios reales con mayores longitudes o curvas suaves, su efecto podría amplificarse. En conclusión, la hipótesis específica 3 no se ve respaldada estadísticamente por el análisis, y se recomienda explorar interacciones no lineales o incluir factores como visibilidad y tipo de flujo vehicular en estudios posteriores.



## 4.2. DISCUSIÓN

En cuanto a los **antecedentes locales**, los resultados del presente estudio pueden discutirse en relación con trabajos desarrollados en regiones del sur del Perú, especialmente en contextos urbanos e interurbanos similares al altiplano. Tenemos a **Carrasco (2022)** y **Mamani & Chura (2016)** proponen soluciones de infraestructura vial (tréboles e intercambios a desnivel) para intersecciones críticas de la carretera Panamericana Sur, destacando la necesidad de mejorar la conectividad y reducir el nivel de servicio deficiente debido al crecimiento vehicular. Aunque estos estudios se centran en intersecciones semaforizadas o propuestas de paso a desnivel, comparten el objetivo de **reducir la velocidad y mejorar la fluidez mediante un rediseño geométrico**, lo cual converge con la importancia de controlar la velocidad mediante el ajuste del radio y la capacidad.

Por su parte, **Soto (2017)**, en su análisis del tránsito vehicular en Juliaca, plantea la necesidad de una mejor planificación vial basada en niveles de servicio y flujos, lo que coincide con el hallazgo del presente estudio: **la capacidad de la sección sí influye significativamente en la velocidad de ingreso**, y por tanto, en la eficiencia y seguridad de las intersecciones.

Asimismo **Calderón & Sequeiros (2023)**, en su estudio comparativo entre turbo rotondas y rotondas convencionales en Arequipa, concluyen que el diseño influye directamente en el comportamiento vehicular, aunque se requiere un mayor grado de aprendizaje por parte de los usuarios. Este enfoque refuerza el argumento de que las características geométricas bien diseñadas (como un radio controlado) mejoran la operación general.



Finalmente **Luna et al. (2023)** estudian el efecto del radio de giro para vehículos pesados en conflictos vehiculares, hallando que radios mayores (diseñados dentro de la isleta central) reducen conflictos y demoras. Este resultado es congruente con el hallazgo estadísticamente significativo del presente estudio: **el radio de curvatura influye de forma negativa en la probabilidad de velocidad alta**, es decir, radios más amplios moderan la velocidad y mejoran la maniobrabilidad.

En resumen, los antecedentes locales y nacionales no solo complementan los hallazgos del presente estudio, sino que **resaltan la necesidad de adaptar el diseño geométrico de intersecciones a las condiciones topográficas, funcionales y sociales del altiplano peruano**. La coincidencia en cuanto a la importancia del diseño geométrico, el control de velocidad y la gestión de capacidad evidencia que la planificación vial en regiones como Puno o Juliaca debe considerar estas variables como ejes centrales para alcanzar un tránsito más seguro y eficiente.

Respecto a los antecedentes internacionales, los resultados obtenidos a partir del modelo Probit aplicado a 7860 registros permitieron evaluar tres hipótesis principales sobre el comportamiento de la velocidad de entrada en intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano.

En función de variables geométricas clave como el radio, el ancho, la longitud de la sección y la capacidad vial. Esta sección discute dichos resultados a la luz de antecedentes nacionales e internacionales. Respecto a la hipótesis sobre el radio, se encontró que existe una relación significativa y negativa entre el radio de curvatura y la probabilidad de velocidad alta. Este resultado coincide con los hallazgos de **Kehagia et al. (2017)**, quienes señalan que un mayor radio en la entrada a la rotonda está asociado a comportamientos de conducción menos estables y mayor velocidad.



Asimismo **Montella (2018)** destaca que el diseño geométrico debe contemplar controles de velocidad como parte central del proceso iterativo de diseño, reforzando que el radio tiene un papel directo sobre la seguridad vial. En el contexto local, **Luna et al. (2023)** evidencian que el radio de giro para vehículos pesados incide en los conflictos vehiculares, validando indirectamente la importancia del radio sobre la fluidez y seguridad. En relación con la hipótesis sobre la capacidad de la sección, se demostró que dicha variable tiene una influencia significativa y negativa sobre la velocidad de entrada. Este resultado se relaciona con lo encontrado por **Ren et al. (2016)**, quienes concluyen que la capacidad efectiva de la rotonda se ve reducida bajo condiciones de alto volumen vehicular.

Desde el ámbito nacional **Cisneros et al. (2022)** confirman que el rediseño geométrico de rotondas con semáforos adaptativos permite aumentar la capacidad y reducir los tiempos de viaje, lo que implica que mayor capacidad está relacionada con menor velocidad de entrada por congestión. Esta relación también es consistente con lo expresado por **Bared et al. (2005)**, quienes destacan el comportamiento diferenciado de las rotondas en condiciones de demanda elevada.

Asimismo los resultados empíricos obtenidos coinciden con los hallazgos de **Carrasco (2022)** y **Mamani & Chura (2016)** quienes identifican la necesidad de mejorar el nivel de servicio en intersecciones viales mediante soluciones de infraestructura, debido a la creciente demanda vehicular. La relación entre alta capacidad y velocidades moderadas refuerza la idea de que los cuellos de botella geométricos afectan el comportamiento vehicular.

Por otro lado **Soto (2017)** evidencia, a partir de estudios en Juliaca, que los niveles de servicio en zonas urbanas alcanzan valores críticos (nivel F), lo que concuerda con los



resultados del presente modelo, donde la capacidad muestra una relación inversa con la velocidad, ya que mayor capacidad refleja contextos de mayor saturación y control del flujo vehicular.

Por otro punto la hipótesis sobre el ancho de la vía no fue estadísticamente significativa. Este hallazgo contrasta con lo sugerido por autores como **Bezina et al. (2020)** quienes afirman que la alineación de los ejes de aproximación y el espacio disponible pueden afectar la trayectoria y deflexión, aunque en este caso podría deberse a la escasa variabilidad del ancho en la muestra **Pratelli & Souleyrette (2009)** destacan que la percepción del espacio vial y su atractivo visual afectan la velocidad, pero ello implica considerar el ancho en conjunto con otros factores como la isleta central y la visibilidad.

En consecuencia, podría interpretarse que el ancho por sí solo no condiciona la velocidad en tramos interurbanos del altiplano, sino en articulación con otros elementos visuales y funcionales, dentro de otros elementos para el diseño de las intersecciones, como el espacio, como las velocidades de frenados entre otros puntos.

La hipótesis sobre la longitud de entrada tampoco fue significativa en el modelo, lo cual puede deberse a que dentro del rango analizado (30 a 120 m), los conductores no perciben diferencias sustanciales que influyan en su comportamiento de ingreso. Esto se contrapone parcialmente a lo que plantea **Novák et al. (2018)**, quienes hallan que los parámetros de entrada tienen influencia directa sobre la seguridad y la velocidad en rotondas en la República Checa. Sin embargo, la diferencia podría explicarse por el hecho de que los estudios de **Novák** se centran en zonas urbanas densas, mientras que el presente estudio está enfocado en tramos interurbanos.



En síntesis los resultados empíricos obtenidos respaldan parcialmente los hallazgos internacionales y nacionales sobre el diseño geométrico de rotondas. Se confirma la importancia del radio y la capacidad de la sección como variables críticas, mientras que el ancho y la longitud no muestran una influencia directa en la velocidad de entrada, al menos en el contexto geográfico y estructural del altiplano peruano. Esto sugiere que los futuros lineamientos de diseño deberían priorizar la modulación del radio y la gestión de la capacidad para lograr velocidades seguras en intersecciones interurbanas.



## V. CONCLUSIONES

- El análisis econométrico con modelo Probit sobre 7860 registros confirma que el radio de curvatura influye significativamente en la velocidad en intersecciones interurbanas del altiplano peruano. El coeficiente resultó negativo y altamente significativo ( $p < 0.00001$ ), mostrando que un mayor radio reduce la probabilidad de ingresar con velocidad alta. El efecto marginal fue de  $-0.0058$ , es decir, cada metro adicional disminuye en 0.58% la probabilidad de velocidad alta, manteniendo constantes las demás variables. Este hallazgo es consistente con estudios que señalan que radios amplios generan trayectorias más suaves, pero inducen mayor precaución, especialmente en contextos de visibilidad y control limitados. En consecuencia, el radio se reafirma como un elemento clave del diseño geométrico vial y la seguridad en intersecciones, siendo su ajuste particularmente crítico en el altiplano peruano.
- El análisis Probit confirma que la capacidad de la sección influye negativamente en la velocidad de entrada en intersecciones interurbanas del altiplano peruano. El coeficiente estimado ( $-0.00294$ ;  $p < 0.00001$ ) y el efecto marginal ( $-0.00113$ ) indican que por cada 100 vehículos/hora adicionales, la probabilidad de ingresar con velocidad alta cae en 11.3%. Este resultado refleja una adaptación del conductor ante mayores volúmenes, reduciendo su velocidad por percepción de congestión o saturación. Los hallazgos coinciden con estudios nacionales e internacionales que asocian mayor capacidad con menor velocidad y más control del flujo. Así, la capacidad se reafirma como variable estratégica en el diseño vial, especialmente en regiones altoandinas donde la topografía y el tránsito plantean desafíos singulares de seguridad y eficiencia.



- El análisis mostró un coeficiente positivo (+0.0243) para el ancho de vía, pero con un valor  $p = 0.6143$ , lo que indica que no es estadísticamente significativo. El efecto marginal (+0.0093) sugiere que cada metro adicional podría aumentar levemente la probabilidad de velocidad alta, aunque sin respaldo estadístico, en parte por la escasa variabilidad en los datos (10–12 m en la mayoría de los casos). Además, el ancho por sí solo no parece determinante, pues su impacto depende de factores como deflexión, visibilidad o isletas. Este resultado contrasta con estudios como Bezina et al. (2020) y Pratelli & Souleyrette (2009), que resaltan el rol de la geometría y la percepción visual. En el contexto del altiplano peruano, su efecto parece secundario frente a variables como pendiente, clima, señalización o tráfico. En conclusión, el ancho no influye significativamente en la velocidad de entrada, aunque se recomienda evaluarlo junto con otros factores geométricos y perceptuales para una visión más completa.
- El modelo Probit estimó para la longitud de entrada un coeficiente positivo muy pequeño (+0.00051) con  $p = 0.308$ , lo que confirma que no existe significancia estadística en su relación con la velocidad de ingreso. El efecto marginal (+0.00020) indica un impacto casi nulo, de modo que dentro del rango analizado (30–120 m) los conductores no modifican su velocidad en función de la longitud disponible. Otros factores como el radio, la visibilidad o la geometría parecen más influyentes. Aunque estudios como Novák et al. (2018) destacan la relevancia de la longitud en contextos urbanos europeos, en el altiplano peruano las condiciones de tránsito, topografía y señalización pueden moderar su efecto. En conclusión, la longitud de entrada no muestra incidencia significativa en la velocidad en intersecciones interurbanas de la región.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda incorporar el radio de curvatura como parámetro clave en el diseño de intersecciones interurbanas, dado que su influencia sobre la velocidad ha sido estadísticamente significativa. Se recomienda evitar radios excesivamente amplios, ya que reducen la deflexión y permiten velocidades elevadas que comprometen la seguridad vial. Radios moderados pueden inducir velocidades de entrada más seguras y estables en entornos rurales o de baja supervisión. También con los datos obtenidos debe considerarse abrir investigaciones respecto a utilizar técnicas de videograbación y análisis cinemático, para validar los resultados estadísticos obtenidos y proponer valores óptimos de diseño.
- Para poder gestionar la capacidad vial de las secciones de aproximación como estrategia para moderar la velocidad de ingreso, ya que una mayor capacidad está asociada con menores probabilidades de velocidad alta. Esto implica evaluar la demanda proyectada y su relación con el comportamiento vehicular esperado, especialmente en tramos que alimentan zonas urbanas o nodos logísticos regionales. Para poder obtener más resultados en relación entre capacidad vial y congestión en intersecciones rurales mediante simulación de tráfico en escenarios con diferentes niveles de demanda considerando el impacto en la velocidad de ingreso y en la formación de colas.
- Evitar considerar el ancho de la sección como variable aislada para controlar la velocidad de entrada, ya que los resultados indican que no tiene un efecto significativo en este contexto. Su influencia puede ser relevante solo si se combina con otros elementos del entorno geométrico, como visibilidad, presencia de isletas, vegetación lateral o señalización vertical.



- Tener presente el ajuste de la longitud de la sección de entrada no es una medida directa de control de velocidad, ya que no se evidenció una relación estadísticamente significativa. Sin embargo, esta variable podría considerarse en conjunto con otras como el ángulo de ingreso, diseño de accesos o alineamiento de aproximación, para optimizar la percepción del conductor y facilitar decisiones seguras.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Masaeid, H. R. (1999). Capacity and performance of roundabouts. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(5), 597–605. <https://doi.org/10.1139/199-018>
- Analyses, A., & Models, O. (1987). The Highway Capacity Manual. *Simulation*, October, 26–27.
- Bared, J. G., Edara, P. K., Praveen Edara, F. K., & Tech, V. (2005). *Simulated Capacity of Roundabouts and Impact of Roundabout Within a Progressed Signalized Road Word Count = 2549 (text) + 4000 (figures and tables) = 6549 Simulated Capacity of Roundabouts and Impact of Roundabout Within a Progressed Signalized Road. 2549.*
- Bezina, Š., Dragčević, V., & Stančerić, I. (2020). Approach Alignment Impact on the Geometric Design of Urban Roundabouts. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 700–707. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.108>
- Brown, M. (1995). *The design of roundabouts.*
- Calderón Gamarra, C. H., & Sequeiros Castillo, E. A. (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.* Universidad Católica de Santa María.
- Carrasco, Z. (2022). Simulación De Tráfico Con El Software Vissim Y Viswalk Para El Diseño De Un Trébol De Intercambio Vial En La Intersección De La Carretera Panamericana Sur Con La Avenida Estudiante En Salcedo - Puno -2020. In *Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano.*
- Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, E., & Bassani, M. (2013). Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.011>
- Cisneros, C., Morales, L., Silvera, M., & Campos, F. (2022). Design of mini roundabouts with adaptive traffic lights to improve vehicular travel times and roundabout capacity in metropolitan cities. *2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI57704.2022.9953666>
- Creswell, J. W. (2019). Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches. In *English Language Teaching* (Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.5539/elt.v12n5p40>
- Darder, V. (2005). Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización. In *Universidad Politecnica de Cataluña.* Universidad Politecnica



de Cataluña.

- Fernandes, P., Salamati, K., Roupail, N. M., & Coelho, M. C. (2017). The effect of a roundabout corridor's design on selecting the optimal crosswalk location: A multi-objective impact analysis. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(3), 206–220. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1237689>
- Guo, R., & Zhao, Y. (2015). Critical Gap of a Roundabout Based on a Logit Model. *ICTE 2015*, 2597–2603. <https://doi.org/10.1061/9780784479384.331>
- Kehagia, F., Anagnostopoulos, A., Damaskou, E. P., & Mouratidis, A. (2017). An analysis on impact of geometric elements of multilane roundabouts on driver behavior. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 12(June).
- Kennedy, J. V. (2008). The uk standars for roundabouts and mini-roundabouts. *Trasport Research Laboraty*.
- Kim, S., & Choi, J. (2013). Safety analysis of roundabout designs based on geometric and speed characteristics. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(6), 1446–1454. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0177-4>
- Kimber, R. M. (1988). The Design of Unsignalized Intersections in the UK. In *Intersections without Traffic Signals* (pp. 20–34). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-83373-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-83373-1_2)
- Krbálek, M., & Šleis, J. (2015). Vehicular headways on signalized intersections: Theory, models, and reality. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 48(1). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/48/1/015101>
- Luna, C. O. V., Esquivel, M. Y. G., Silvera, M., & Campos, F. (2023). Evaluation of the influence of the turning radius of heavy vehicles inside a roundabout in vehicular conflicts. *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONITI)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CONITI61170.2023.10324050>
- Macedo, V. (2025). *Improving Urban Transportation in Lima*. The University.
- Małeckki, K., & Watróbski, J. (2017). Cellular automaton to study the impact of changes in traffic rules in a roundabout: A preliminary approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/app7070742>
- Mamani, E., & Chura, O. (2016). *Diseño de intercambio vial a desnivel en las intersecciones de la carretera panamericana sur y la avenida el estudiante de la ciudad de Puno*.
- Montella, A. (2018). Roundabouts. In *Roundabouts* (pp. 147–174). <https://doi.org/10.1108/S2044-994120180000011009>



- Novák, J., Ambros, J., & Frič, J. (2018). How Roundabout Entry Design Parameters Influence Safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(34), 73–84. <https://doi.org/10.1177/0361198118776159>
- Ossenbruggen, P. J. (2025). Traffic Planning, Safety, Roundabouts, the Public, and Control Theory. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 151(9). <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-8749>
- Pilko, H., Brčić, D., & Šubić, N. (2014). Study of vehicle speed in the design of roundabouts. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 66. <https://doi.org/10.14256/JCE.887.2013>
- Pratelli, A., & Souleyrette, R. R. (2009). Visibility, perception and roundabout safety. *WIT Transactions on the Built Environment*, 107, 577–588. <https://doi.org/10.2495/UT090511>
- Ren, L., Qu, X., Guan, H., Easa, S., & Oh, E. (2016). Evaluation of Roundabout Capacity Models: An Empirical Case Study. *Journal of Transportation Engineering*, 142(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000878](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000878)
- Soto, D. (2017). Análisis y planificación vial del tránsito vehicular en el cercado de la ciudad de Juliaca. In *Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., & Babić, S. (2013). Optimization of roundabout design elements. *Tehnicki Vjesnik*, 20(3), 533–539.
- Tollazzi, T. (2015). First Developments of Different Roundabout Types. In *Springer Tracts on Transportation and Traffic* (pp. 11–56). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09084-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09084-9_2)
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. (2003). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780203497111>
- Yasmin, S., Eluru, N., Bhat, C. R., & Tay, R. (2014). A latent segmentation based generalized ordered logit model to examine factors influencing driver injury severity. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2013.10.002>
- Zhou, Z., Yang, Z., Zhang, Y., Huang, Y., Chen, H., & Yu, Z. (2022). A comprehensive study of speed prediction in transportation system: From vehicle to traffic. *IScience*, 25(3), 103909. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103909>
- Zubaidi, H. (2021). *Seguridad en rotondas: modelos econométricos y de aprendizaje automático y sus aplicaciones*. Universidad Estatal de Oregon.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Métodos y Técnicas
¿Cuál es la influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?	Determinar la influencia del radio sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	El radio tiene una influencia significativa sobre la velocidad en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	<p><b>Tipo de investigación:</b> Básica Aplicada</p> <p><b>Nivel</b> de</p> <p><b>Investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Muestra:</b> Vía Puno a Juliaca</p> <p><b>Método</b> de</p> <p><b>investigación:</b> Cuasiexperimental</p> <p><b>Enfoque</b> de</p> <p><b>Investigación:</b> Cuantitativo</p>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	
¿Cuál es la influencia de la capacidad de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?	Determinar la influencia capacidad de la sección sobre la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	La capacidad de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	
¿Cuál es la influencia del ancho de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?	Determinar la influencia del ancho de la sección y la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	El ancho de la sección influye significativamente en la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	
¿Cuál es la longitud de la sección sobre la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano?	Determinar la influencia de la longitud de la sección y la velocidad de entrada en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	La longitud de la sección influye significativamente la velocidad de entrada de los vehículos en las intersecciones a nivel de vías interurbanas en el altiplano peruano	



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RONALDO BUSTINCIO TURPO, identificado con DNI 74049343 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA,

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL ALTIPLANO PERUANO" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de octubre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo RONALDO BUSTINCIO TURPO, identificado con DNI 74049343 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL ALTIPLANO PERUANO"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de octubre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YONATAN ANAHUA SILVA, identificado con DNI 74836287 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA,

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL ALTIPLANO PERUANO" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de octubre del 2025

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)

Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo YONATAN ANAHUA SILVA, identificado con DNI 74836287 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DEL RADIO SOBRE LA VELOCIDAD EN LAS INTERSECCIONES A NIVEL DE VÍAS INTERURBANAS EN EL ALTIPLANO PERUANO"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de octubre del 2025

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)

