

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería en Informática y Sistemas

**ANÁLISIS DEL TRÁFICO VEHICULAR DEL ÓVALO
CUSCO UTILIZANDO UN MODELO DE
SIMULACIÓN PARA LÍNEAS
DE ESPERA, TACNA
2017**

TESIS

Presentada por:

Bach. Victor Mamani Hualpa

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS

TACNA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

JURADO CALIFICADOR Y CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS

TESIS N° _____

TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero en Informática y Sistemas

La Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, por Resolución de Facultad N°05343-2018-FAIN/UNJBG, designó jurado para la sustentación oral de la Tesis titulada: ANÁLISIS DEL TRÁFICO VEHICULAR DEL ÓVALO CUSCO UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LÍNEAS DE ESPERA, TACNA 2017.

El mismo que está conformado por:

Presidente: Dr. Edwin Antonio Hinojosa Ramos

Secretario: Dr. Erbert Francisco Osco Mamani

Vocal: Mgtr. Gianfranco Alexey Málaga Tejada


Para calificar la sustentación de la tesis en acto público el día 29 de octubre del 2019, presentado por el Bachiller Victor Mamani Hualpa, de la Escuela Profesional de Ingeniería en Informática y Sistemas.

El jurado calificador en forma secreta e individual emitió su opinión sobre el tema de la tesis expuesta y procedió a obtener el promedio que arrojó el calificativo de aprobado con la nota de Trece (13).


Para ratificar lo detallado firman:



Dr. Edwin Antonio Hinojosa Ramos
Presidente



Dr. Erbert Francisco Osco Mamani
Secretario



Mgtr. Gianfranco Alexey Málaga Tejada
Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN, TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INFORMÁTICA Y
SISTEMAS**

**ANÁLISIS DEL TRÁFICO VEHICULAR DEL ÓVALO CUSCO
UTILIZANDO UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA LÍNEAS DE
ESPERA, TACNA 2017**

**TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 29 DE OCTUBRE DEL 2019
ESTANDO EL JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR:**

Presidente

:



Dr. Edwin Antonio Hinojosa Ramos

Secretario

:



Dr. Erbert Francisco Osco Mamani

Vocal

:



Mgtr. Gianfranco Alexey Málaga Tejada

Asesor

:



MSc. Edgar Aurelio Taya Acosta

Dedicatoria

*A mis padres, mi hermano, familiares,
amigos y amigas.*

Agradecimientos

A mis padres por todo su apoyo incondicional en todo momento.

A mi hermano por su preocupación y aliento.

A mis docentes por su dedicación y tiempo.

A mi asesor de la Tesis por su preocupación y aliento.

A mis familiares y amigos por su aliento y motivación.

Contenido

Portada	i
Hoja de jurados	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
Resumen	xii
Introducción	1
Capítulo I	3
Planteamiento del problema	3
1.1. Descripción del problema	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación.	5
1.2. Formulación del problema	7
1.3. Justificación e importancia	7
1.4. Alcances y limitaciones	8
1.5. Objetivos	10
1.6. Hipótesis	11
Capítulo II	13
Marco Teórico	13

2.1. Antecedentes del estudio	13
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. Simulaciones terminales	29
2.2.2. Intervalos de confianza	30
2.2.3. Número de réplicas	31
2.2.4. Software de simulación Arena	32
2.3. Definición de términos	34
Capítulo III	35
Marco Metodológico	35
3.1. Tipo y diseño de la investigación	35
3.2. Población y muestra	36
3.3. Operacionalización de variables	40
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	42
3.5. Procesamiento y análisis de datos	42
Capítulo IV	43
Resultados y Discusión	43
4.1. Resultados	43
4.1.1. Resultados de la simulación en una hora punta	44
4.1.2. Resultados de la simulación en una hora no punta	46
4.1.3. Resultados de las simulaciones en los horarios estudiados	48
4.1.4. Prueba de hipótesis	50

4.2. Discusión	53
Conclusiones	55
Recomendaciones	56
Referencias Bibliográficas	57
Anexos	61

Índice de tablas

Tabla 1:	Limitaciones de horario para la investigación	9
Tabla 2:	Población semanal estimada	36
Tabla 3:	Determinación del tamaño de la muestra del día martes 4 de junio del 2019	38
Tabla 4:	Tabla de operacionalización de variables	39
Tabla 5:	Resultados de las simulaciones en una hora punta y en una hora no punta	47
Tabla 6:	Base de datos de la muestra para el procesamiento de datos	63
Tabla 7:	Base de datos de réplicas correspondientes a los resultados de la simulación	66
Tabla 8:	Resumen de los resultados del juicio de expertos	84
Tabla 9:	Resumen de los resultados de la aplicación del método de test paralelos	86
Tabla 10:	Resultados de la aplicación del método de test paralelos	87
Tabla 11:	Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta	89
Tabla 12:	Tabla de frecuencia del número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora punta	90
Tabla 13:	Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora punta	92
Tabla 14:	Datos de tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta	94

Tabla 15:	Tabla de frecuencia acumulada de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora punta	95
Tabla 16:	Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora punta	97
Tabla 17:	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora no punta	99
Tabla 18:	Tabla de frecuencia del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta	100
Tabla 19:	Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora no punta	102
Tabla 20:	Datos de tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta	104
Tabla 21:	Tabla de frecuencia de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta	105
Tabla 22:	Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora no punta	107
Tabla 23:	Entidades del sistema	108
Tabla 24:	Promedio de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta	110
Tabla 25:	Promedio de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta	112

Índice de figuras

Figura 1:	Evolución del parque automotor en circulación en la ciudad de Tacna	4
Figura 2:	Captura de la videograbación del tráfico vehicular de ingreso al óvalo Cusco por la Av. Municipal	6
Figura 3:	Parámetros de configuración del software de simulación Arena	44
Figura 4:	Reporte de salidas promedio simulados en una hora punta	45
Figura 5:	Reporte de tiempos promedio de entidades en el modelo de simulación	46
Figura 6:	Reporte de salidas promedio de entidades del modelo de simulación en una hora no punta	47
Figura 7:	Reporte de tiempos promedio de entidades en el modelo de simulación	48
Figura 8:	Tiempos promedio de permanencia luego de simular 70 réplicas con una longitud de una hora cada uno	49
Figura 9:	Número de entidades promedio en el sistema luego de simular 70 réplicas con una longitud de una hora cada uno	50
Figura 10:	Captura de pantalla de los resultados del software IBM SPSS luego de haber aplicado la prueba de normalidad a los promedios de los tiempos de recorrido simulados	51
Figura 11:	Captura de pantalla de los resultados del software IBM SPSS luego de haber aplicado la prueba de Mann-Whitney a los promedios de los tiempos de recorrido simulados	52

Figura 12:	Toma de datos de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta	62
Figura 13:	Toma de datos de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta	62
Figura 14:	Llegada de vehículos al óvalo Cusco en una hora punta	88
Figura 15:	Histograma del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta	91
Figura 16:	Recorrido de vehículos al óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora punta	93
Figura 17:	Histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta	96
Figura 18:	Llegada de vehículos al óvalo Cusco en una hora no punta	98
Figura 19:	Histograma del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta	101
Figura 20:	Recorrido de vehículos por el óvalo siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta	103
Figura 21:	Histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta	106
Figura 22:	Modelo de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta	109
Figura 23:	Modelo de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta	109

Resumen

El presente trabajo de investigación denominado: “Análisis del tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017”, tiene por propósito analizar el tráfico vehicular producido por buses destinados al transporte público en un tramo del óvalo Cusco que conecta la avenida Municipal con la avenida Cusco.

El diseño de la investigación es no experimental descriptivo. Se realiza un análisis del tráfico vehicular en una hora con un nivel de tráfico alto y otro en una hora con un nivel de tráfico no alto. La población estimada está constituida por los vehículos de transporte público de pasajeros que transitan por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco, en una semana. La muestra está compuesta por los buses que transitaron por el tramo del óvalo el martes 4 de junio del 2019.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: Se logró analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.

Se encontró la existencia de una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta.

En una hora punta, el tiempo promedio que tarda un bus en recorrer el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco es de 17,43 segundos y transitan en promedio 167 buses.

En una hora no punta, el tiempo promedio que tarda un bus en recorrer el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco es de 13,9 segundos y transitan en promedio 170 buses.

Introducción

En la actualidad, la mayoría de ciudades en el mundo enfrentan problemas ocasionados por el tráfico vehicular, debido al creciente número de vehículos que empiezan a ocupar en gran parte la misma infraestructura vial construida para contener un número menor de automóviles.

La presente investigación busca introducirnos al problema que se genera por el tráfico vehicular en un óvalo y cómo los modelos de simulación nos permiten describir el flujo vehicular en la citada infraestructura.

En este trabajo, se realizó un análisis del tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera. Se describe el comportamiento del tráfico vehicular en una hora punta y otra en una hora no punta.

Para alcanzar los objetivos de la investigación se midió el tiempo que tarda en recorrer un vehículo el tramo del óvalo que une la Av. Municipal con la Av. Cusco, en una hora punta y en una hora no punta.

La presente investigación consta de cuatro capítulos, además de las conclusiones, las recomendaciones, la referencia bibliográfica y los anexos.

El Capítulo I estructura el planteamiento del problema, incluye los tópicos: descripción del problema, formulación del problema, justificación, alcances y limitaciones, objetivos e hipótesis.

El Capítulo II presenta el sustento o marco teórico de la investigación, aborda como tópicos los antecedentes del estudio y las bases teóricas respecto al problema mismo, en el cual se revisan temas más constituidos que apoyan a la resolución del problema de investigación.

El Capítulo III corresponde al marco metodológico, dónde se describe el tipo y diseño de investigación, la operacionalización de variables, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procesamiento y análisis de datos.

El Capítulo IV muestra los resultados, a través del análisis descriptivo estadístico de la variable de estudio.

Asimismo, presenta las discusiones, conclusiones, las recomendaciones, la referencia bibliográfica y finalmente los anexos.

Capítulo I

Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

1.1.1. Antecedentes del problema

El tráfico vehicular es un fenómeno que ocurre en las ciudades del mundo en diferente magnitud y provocando diversos problemas como la congestión vehicular, contaminación ambiental, contaminación acústica, entre otros.

El parque automotor en circulación en el departamento de Tacna, hasta el año 2016, ascendió a un total de 51 729 vehículos. Su aumento sigue una tendencia creciente como se muestra en la figura 1, obtenido del Sistema de información regional para la toma de decisiones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018).

Se construyó una obra de infraestructura vial en el óvalo Cusco con el fin de enfrentar los problemas que ya se presentaban en años anteriores. Con una inversión de 8 095 127 soles, según el portal del Ministerio de Economía y Finanzas (2019).

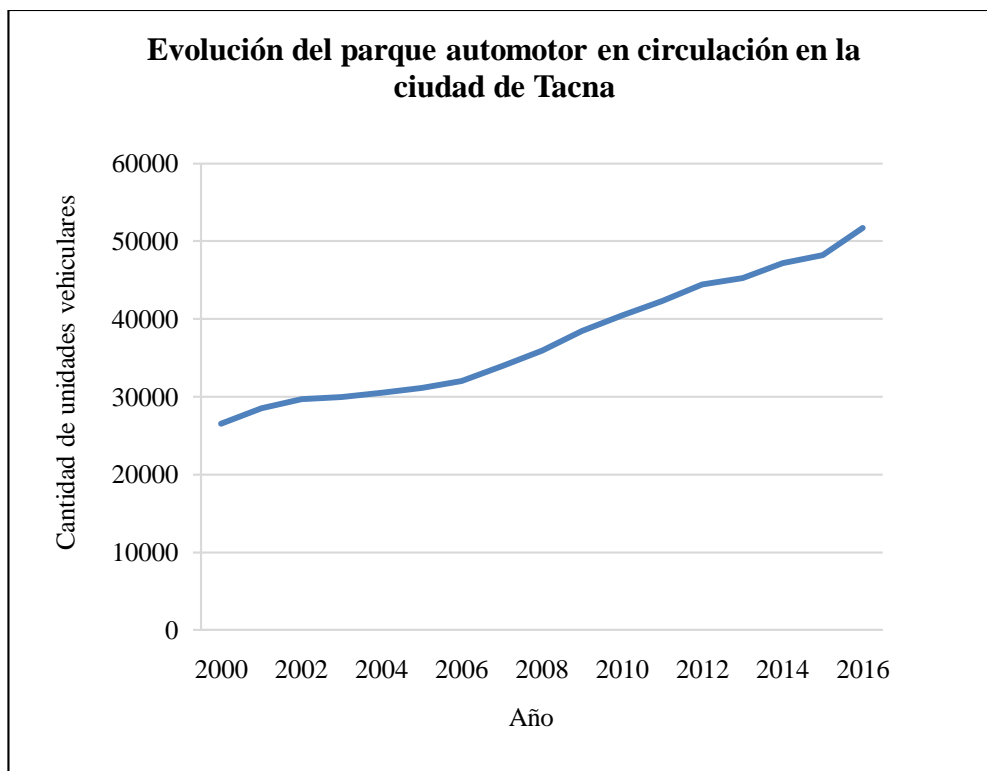


Figura 1. Evolución del parque automotor en circulación en la ciudad de Tacna

Fuente: Adaptado del Sistema de información regional para la toma de decisiones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018).

La citada infraestructura se construyó con la siguiente finalidad según Diario Correo (2018):

Brindar un adecuado tránsito vial a más de 10 000 vehículos que circulan por el óvalo Cusco diariamente, la Municipalidad Provincial de Tacna inauguró la noche del pasado martes [octubre del 2014] el primer paso a desnivel o bypass de la ciudad (párr. 1).

La Municipalidad Provincial de Tacna, en fecha 14 de julio del año 2017, observando que aún existe un problema referido al tráfico vehicular en el óvalo Cusco; indicó en su página web que realizó un estudio de tráfico y desviación de rutas, que permitirá eliminar los puntos de congestión vehicular en horas punta con el fin de registrar estadísticamente la orientación del flujo vehicular, y así buscar las alternativas de solución a la congestión, utilizando rutas alternas que se encuentran libres de tránsito (Municipalidad Provincial de Tacna, 2018).

1.1.2. Problemática de la investigación.

“El tráfico alrededor del mundo es un problema constante, ya que en algunas ciudades los conductores pasan más de 100 horas al año sentados” (Staff, 2018, párr. 1).

En un ámbito nacional, el portal web de El Comercio publicó un artículo del que se destaca lo siguiente: “Competiendo permanentemente por el primer puesto en las encuestas que buscan identificar los mayores problemas a nivel nacional ... el caos vehicular se ha convertido en uno de los principales reclamos de la ciudadanía hacia las autoridades” (Macera, 2018, párr. 2).

La Municipalidad Provincial de Tacna logró percibir los problemas que genera el tráfico vehicular en alguna de las vías que conecta el óvalo Cusco. En tal sentido, tomó las acciones que se citan en los antecedentes.

Sin embargo, se observa que se hizo una inversión millonaria en la búsqueda de resolver los problemas suscitados por el tráfico vehicular abundante en más de una de las avenidas que conecta el óvalo Cusco en determinadas horas, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Captura de la videograbación del tráfico vehicular de ingreso al óvalo Cusco por la Av. Municipal

Fuente: Videograbación alcanzada por cámaras de video vigilancia de la Municipalidad Distrital Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa (2017).

Ante la situación problemática se plantea realizar un estudio para generar evidencias científicas y demostrables de la problemática, proyectando analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco en el trayecto de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco utilizando un modelo de simulación de líneas de espera.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo es el tráfico vehicular en el óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?
- b) ¿Cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?

1.3. Justificación e importancia

Según el INEI (2018), el distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa es el más poblado de la provincia y departamento de Tacna, con una población estimada para el año 2014 de 110 567 personas, superando ampliamente a la población de los demás distritos de la ciudad.

El incremento del parque automotor y el aumento de la población en el distrito mencionado en el párrafo anterior, sumados a un intensificado uso del Óvalo Cusco, podrían llegar a generar que se presente un mayor tiempo de viaje, congestión vehicular, inseguridad vial, intensificación de la contaminación sonora, entre otros. En los antecedentes del problema se cita más al respecto. No se ha logrado resolver el problema ocasionado por el tráfico vehicular.

Por lo expuesto y con el fin de evidenciar los valores críticos del tráfico vehicular, se considera que la propuesta de esta investigación es de importancia ya que así se brindará estudios formales con el fin de enfrentar con este aporte el problema ocasionado por el flujo vehicular.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

Se pretende analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco, utilizando un modelo de simulación para líneas de espera. Para lograrlo, se modelará el sistema de estudio con el apoyo del software de simulación Arena versión 14, que permite representar de manera abstracta el sistema estudiado.

1.4.2. Limitaciones

Para efectos operativos, economía de tiempo, recursos disponibles y siguiendo una opinión a priori, se establecieron dos horarios para la recolección de los datos como se muestra en la tabla 1.

Los días considerados para la población estimada no fueron todos pertenecientes a una misma semana por limitaciones de tiempo, pero si fueron diferentes y pertenecientes a una semana ordinaria.

Se logró registrar el tráfico vehicular mediante grabaciones de video de dos teléfonos inteligentes con un formato de grabación de 1 920 x 1 080 píxeles.

Tabla 1

Limitaciones de horario para la investigación

Tipo de hora	Intervalo horario	
	Inicio	Fin
Punta	7 h 0 min 0 s	8 h 0 min 0 s
No punta	9 h 0 min 0 s	10 h 0 min 0 s

Fuente: Elaboración propia.

Para el estudio se incluye el análisis de todos los vehículos de transporte público, buses, con una capacidad mayor a 15 asientos, no se incluye a los vehículos automotores menores, ya sean destinados al transporte público o no; que recorran o ingresen a la zona de estudio.

Se excluirá a los vehículos, vehículos automotores menores y vehículos combinados que transiten de forma inusual por el óvalo debido a cierres de vías o eventos sobrenaturales o de emergencia registradas en el momento de la recolección de datos.

La hora punta se define basado en los horarios de ingreso escolar para las instituciones educativas de educación básica del turno de la mañana en la provincia de Tacna y el estudio iniciado por la Municipalidad provincial de Tacna el cual se realizó el 14 de julio del 2017.

La hora no punta se define basándose en la hora punta, siendo una hora no punta una hora intermedia entre la hora punta y el medio día.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Describir cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.
- b) Describir cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.

1.6. Hipótesis

La hipótesis general del presente estudio busca predecir valores del tráfico vehicular luego de haberse realizado un análisis de éste último en el óvalo Cusco como se muestra aludido en el título del estudio “Análisis del tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017”, enfocándose en los tiempos promedios de recorrido en el óvalo Cusco en una hora punta y en una hora no punta.

1.6.1. Hipótesis general

H0: No existe una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta.

H1: Existe una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta.

1.6.2. Hipótesis específicas

En esta sección correspondería plantear dos hipótesis, una por cada problema específico y de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), estas hipótesis deben “intentar predecir un dato o valor en una o más variables que se van a medir u observar” (p. 108).

Por otro lado, la “calidad de una investigación no está relacionada con el número de hipótesis que contenga. En este sentido, se debe tener el número de hipótesis necesarias para guiar el estudio, ni una más ni una menos” (Hernández et al., 2014, p. 116).

Finalmente, no corresponde el planteamiento de las hipótesis específicas para la investigación, por las siguientes razones:

- No se tiene información previa sobre los tiempos de entre llegadas y los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio.
- El objetivo general de la investigación es analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de líneas de espera, para alcanzarlo solo necesitamos conocer el número de vehículos que ingresan al óvalo por minuto y los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta y en hora no punta.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes del estudio

A continuación, se presentan en síntesis una serie de investigaciones que se encuentran en el ámbito de la problemática de la presente investigación:

Igor (2009) en “Simulación de una vía de acceso de tránsito vehicular al sector céntrico de la ciudad Puerto Montt” tiene como objetivo crear un modelo de simulación del flujo vehicular en el programa de nombre *Flexsim*, y en uno de sus objetivos específicos realizó un análisis estadístico de la situación actual, del escenario propuesto y su modelado en el simulador.

De la publicación, se aprecia la descripción concisa y completa de las etapas generales de la simulación de un modelo, además, resalta la aplicación de estudio piloto del cual se desprende un análisis estadístico de aforos vehiculares.

Igor (2009) nos alcanza algunos resultados importantes para nuestra investigación:

Se realizó un análisis estadístico de la situación actual y de los modelos simulados, tanto real como propuesto, entregando estadística descriptiva de la situación actual que antes no existía.

Siguiendo el modelo de la investigación hecha por el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Universidad Católica en el año 2006, se entregaron resultados en cuanto a aforos vehiculares, tiempos de viaje en el sistema, velocidades en la vía y tiempos entre llegadas.

Se identificó un escenario claro que permitió reducir aproximadamente en un 20 % los tiempos de viaje, una vez entrado un vehículo en el tramo compuesto por las vías que formaron parte de este estudio. Si bien esta propuesta se realizó sólo para el horario punta de la mañana, estudios preliminares determinaron que este horario es en el que existe mayor flujo vehicular, por lo que se tomó este horario para desarrollar la metodología propuesta pensando en que puede ser aplicado también a solucionar problemas de cuello de botella en los otros horarios punta.

Se estableció una metodología propuesta de trabajo, la cual reúne técnicas de estudio de tiempos y de ingeniería de tránsito en una metodología base como lo es la planteada por Jerry Banks para realizar modelos de simulación.

Una vez realizado el modelo propuesto, se establecieron contadores a las salidas de las fuentes en donde se realizaron aforos vehiculares, con el fin de comprobar si los tiempos entre llegadas muestreados tenían correspondencia al conteo de vehículos realizado.

Luego de realizar cinco réplicas del escenario real, se comprobó que los tiempos entre llegadas ingresados al simulador corresponden a los que entregan los datos de los aforos vehiculares, ya que, utilizando un concepto de la investigación de simulación, de cierta manera se puede “validar” al no presentar ninguno una variación mayor al 20 %.

Se logró reducir en cifras que rondan el 20 %, porcentaje considerado como óptimo en reducción de tiempos de viaje al eliminar cuellos de botella, los tiempos de viaje desde las fuentes que representaban los mayores tramos recorridos dentro del sistema tal y como son nombradas estas fuentes en el simulador.

Este estudio nos alcanza algunas conclusiones importantes para nuestra investigación:

Gracias a una simulación en este software [Flexsim], se pudo comprobar que existe una solución disponible que no requiere de demasiada intervención en las vías. Entregó una metodología propuesta que integra tres disciplinas: Simulación, Ingeniería de tránsito y estudio de tiempos.

Por tratarse del primer estudio en su tipo que se realiza en el área observada, hubo ciertos pasos que no pudieron ser realizados como la Verificación.

Por su parte, Ballón (2016), en su trabajo de investigación “Estudio, simulación y optimización del flujo de tráfico de la avenida Jorge Chávez desde la calle Víctor Lira hasta la calle Paucarpata”, aborda el análisis de la implementación de un sistema de control de tráfico accionado por vehículos.

Para lo cual procedió con una serie de pasos que calzan a los seguidos al realizar una prueba piloto a fin de recolectar datos y la construcción de un modelo base de simulación en el programa de micro-simulación VISSIM, con todas las características existentes de las zonas de estudio, los cuales le sirvieron para calibrar y validar su modelo.

La publicación realiza un claro aporte en la construcción de un modelo base de simulación en un programa de simulación, donde reúne las características existentes de la zona de trabajo destacando los pasos que siguió para la recolección de datos, los cuales refuerzan la aplicación de una prueba piloto similar.

Por su parte, Sevilla y Poma (2016), en su trabajo de investigación “Mejora del nivel de servicio en la atención presencial en una empresa de telecomunicaciones empleando simulación de eventos discretos”, tiene como objetivo aplicar un modelo de simulación que permita mejorar el proceso de atención presencial por medio de la disminución de los tiempos de espera.

De la investigación se observa la aplicación del modelo de simulación, para en primera instancia analizar el sistema de atención presencial donde se observaban colas. En el trabajo de investigación concluye que la recolección de datos es una parte fundamental de la ejecución de un modelo de simulación debido a que es necesario tener una data suficientemente grande de cada variable que podría ser relevante como entrada en el software de simulación con el fin de que el modelo propuesto sea lo más parecido al sistema real.

Elías (2013) en “Simulación de Montecarlo y proceso operativo del depósito franco de régimen simplificado de mercancías de Zofratana, semestre I-2013” tiene como objetivo simular el proceso operativo del depósito franco de régimen simplificado de mercancías de Zofratana utilizando el método de Montecarlo.

Destaca el diseño de un modelo de simulación a efectos de representar para esta investigación el proceso real de estudio y así observar el comportamiento del proceso a través del tiempo mediante computador.

Limache (2011) en “Diagnóstico de la contaminación sonora emitida por el tráfico vehicular que permita proponer medidas correctivas al sistema de gestión ambiental en el distrito de Tacna, 2010”, presenta como punto de partida el problema generado en los últimos años en que se ha incrementado el parque automotor, llegando en el año 2009 a 55 079 unidades, generando un flujo por vía o calle en un momento dado de 2 295 vehículo/h.

La investigación aborda la problemática generada por el incremento del parque automotor, abordando el problema de la contaminación sonora generada por el tráfico vehicular. Se observa también la definición de conceptos relacionados al tráfico vehicular y la aplicación del estudio realizado en el ámbito local.

- **Modelo**

Según Fábregas, Wadnibar, Paternina y Mancilla (2007), es una representación de la realidad que se desarrolla con el propósito de estudiarla.

En la mayoría de los análisis no es necesario considerar todos los detalles; de tal manera, el modelo no sólo es un sustituto de la realidad, sino también una simplificación de ella (p. 7).

Según E. García, García & Cárdenas (2013) “existen distintos modelos de simulación que permiten representar situaciones reales de diferentes tipos” (p. 2).

Los modelos de simulación tienen diversas clasificaciones, una de ellas es en modelos continuos y modelos discretos. Los modelos continuos son “aquellos en los que las relaciones entre las variables relevantes de la situación real se definen por medio de ecuaciones diferenciales, dado que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo” (García et al., 2013, p. 2).

Los modelos discretos tienen que ver principalmente con el estudio de líneas de espera con el objetivo de determinar medidas como el tiempo de espera promedio y la longitud de la cola. Estas medidas cambian sólo cuando un cliente entra o sale del sistema. Los instantes en que ocurren los cambios en puntos discretos específicos del tiempo (eventos de llegada y salida), originan el nombre simulación de evento discreto (Taha, 2012, p. 652).

- **Simulación**

Es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo (Coss, 2003, p. 12).

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema (Coss, 2003, p. 12).

- **Modelo de simulación**

El modelo es una representación de la realidad que se desarrolla con el propósito de estudiarla. En la mayoría de los análisis no es necesario considerar todos los detalles; de tal manera, el modelo no sólo es un sustituto de la realidad, sino también una simplificación de ella (Fábregas et al., 2007, p. 7).

Los modelos de simulación tienen diversas clasificaciones, una de ellas es en modelos continuos y modelos discretos.

Los modelos continuos son “aquellos en los que las relaciones entre las variables relevantes de la situación real se definen por medio de ecuaciones diferenciales, dado que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo” (García et al., 2013, p. 3).

“En ellos [modelos de simulación discretos] el comportamiento que nos interesa analizar puede representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado” (García et al., 2013, p. 3).

- **Tránsito**

“Conjunto de desplazamientos de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (circulación)” (DRTC-SM, 2019).

- **Vehículo**

“Artefacto de libre operación que sirve para transportar personas o bienes por una vía” (DRTC-SM, 2019).

- **Vehículo automotor (vehículo motorizado)**

“Vehículo de más de dos ruedas que tiene motor y tracción propia, circula por sus propios medios y sirve generalmente para el transporte de personas o bienes o para tracción vial de otros vehículos” (DRTC-SM, 2019).

- **Vehículo automotor menor**

“Vehículo de dos o tres ruedas, provisto de montura o asiento para el uso de su conductor y pasajeros, según sea el caso (bicimotor, motoneta, motocicleta, mototaxi, triciclo motorizado y similares)” (DRTC-SM, 2019).

- **Vehículo combinado**

“Combinación de dos o más vehículos, siendo el primero un vehículo automotor y los demás remolcados” (DRTC-SM, 2019).

- **Tráfico**

El tránsito vehicular o automovilístico (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta también con muchas similitudes en otros fenómenos como el flujo de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones (Wiki Culturalia, 2019, párr. 1).

- **Congestión vehicular**

Bull (2003) afirma que “es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás [vehículos]” (p. 23).

- **Números pseudoaleatorios**

Según Ross (1999) “estos números constituyen una sucesión de valores que, aunque son producidos de manera a determinista, tienen toda la apariencia de ser variables aleatorias uniformes e independientes en $(0,1)$ ” (p. 36).

Para Coss (2003) “algunos autores califican a los números rectangulares generados a través de relaciones de recurrencia con números pseudoaleatorios, por ser una sucesión de dígitos generada mediante una regla puramente determinística” (p. 19).

Los números pseudoaleatorios se definen como sigue:

En todos los experimentos de simulación existe la necesidad de generar valores de las variables aleatorias que representan a una cierta distribución de probabilidad. Durante un experimento de simulación, el proceso de generar un valor de la variable aleatoria de una distribución particular, puede repetirse tantas veces como se desee y tantas veces como distribuciones de probabilidad existan en el experimento de simulación. Sin embargo, es conveniente señalar que el proceso de generación de variables aleatorias no uniformes se hace a partir de la generación de número rectangulares (Coss, 2003, p. 20).

- **Generación de números pseudoaleatorios**

Para realizar una simulación se requieren números aleatorios en el intervalo $(0,1)$, denotados por r_i , los cuales constituyen la parte medular de la simulación de procesos estocásticos, y generalmente se usan para generar el comportamiento de variables aleatorias, tanto continuas como discretas. Debido a que no es posible generar números realmente aleatorios, consideramos a los r_i como números pseudo aleatorios, generados por medio de algoritmos determinísticos que requieren parámetros de arranque (García et al., 2013, p. 22).

Los resultados no pueden basarse en una sola simulación del sistema; por el contrario, es necesarios realizar varias réplicas de la misma, corriendo cada una de ellas con números pseudoaleatorios diferentes (García et al., 2013, p. 23).

Dada la importancia de contar con un conjunto de r_i suficientemente grande, para obtenerlo se presentan diferentes algoritmos determinísticos. Por otra parte es conveniente señalar que el conjunto de r_i deben ser sometidas a una variedad de pruebas para verificar si los números que lo conforman son realmente independientes y uniformes. Si los números pseudoaleatorios superan las pruebas, podrá utilizarse en la simulación; de lo contrario debe desecharse (García et al., 2013, p. 23).

Para generar los r_i se presentan diferentes algoritmos determinísticos los cuales para se clasifican en algoritmos congruenciales y no congruenciales.

Los algoritmos no congruenciales que analiza son cuadrados medios, productos medios y multiplicador constante. Entre los algoritmos congruenciales se encuentran los congruenciales lineales y los no lineales. Los algoritmos congruenciales lineales que aborda son tales como el algoritmo congruencial lineal, multiplicativo y aditivo y los algoritmos no lineales como el algoritmo de Blum, Blum y Shub, y el congruencial cuadrático (García et al., 2013, p. 24).

- **Pruebas estadísticas para los números pseudoaleatorios**

“Puesto que cualquier variable aleatoria no-uniforme (Normal, Exponencial, Poisson, etc.), es obtenida a partir de números uniformes (0;1), el principal énfasis en pruebas estadísticas deberá ser respecto al generados de números pseudoaleatorios” (Coss, 2003, p. 31).

Para García et al. (2013) “el conjunto resultante [de números pseudoaleatorios generados] debe ser sometido a una serie de pruebas para validar si los números que lo integraron son aptos para usarse en un estudio de simulación” (p. 34).

- **Pruebas de bondad de ajuste**

Según Ross (1999) Con frecuencia uno comienza un análisis probabilístico de un fenómeno dado estableciendo como hipótesis que algunos de sus elementos aleatorios tienen una distribución de probabilidad particular...Para verificar tales hipótesis en forma estadística se observan los datos y se decide después si la hipótesis de una distribución de probabilidad particular es congruente con estos. Las pruebas estadísticas se llaman pruebas de bondad de ajuste (pp. 189-190).

La distribución de probabilidad de los datos históricos puede determinarse mediante las pruebas Chi-cuadrada, de Kolgomorov-Smirnov y de Anderson-Darling (García et al., 2013, p. 62).

- **Prueba Chi-cuadrada**

Según García et al. (2013), la prueba Chi-cuadrada busca determinar si los números del conjunto r_i se distribuyen uniformemente en el intervalo (0,1). Para llevar a cabo esta prueba es necesario dividir el intervalo (0,1) en m sub intervalos, en donde es recomendable $m = \sqrt{n}$. Posteriormente se clasifica cada número pseudo aleatorio del conjunto r_i en los m intervalos.

A la cantidad de números r_i que se clasifican en cada intervalo se le denomina frecuencia observada (O_i), y a la cantidad de números r_i que se espera encontrar en cada intervalo se le llama frecuencia esperada (E_i); teóricamente, la r_i es igual n/m . A partir de los valores de (O_i) y (E_i) se determina el estadístico X_0^2 mediante la ecuación:

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \quad [1]$$

Si el valor del estadístico X_0^2 es menor al valor de las tablas de $X_{\alpha, m-1}^2$, entonces no se puede rechazar que el conjunto de números r_i sigue una distribución uniforme. En caso contrario, se rechaza que r_i sigue una distribución uniforme (pp. 63-65).

- **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Según García et al. (2013) “Determina la distribución de probabilidad de una serie de datos. Una limitante de la prueba de Kolmogorov-Smirnov estriba en que solamente se puede aplicar al análisis de variables continuas” (p. 56).

- **Variable aleatoria**

Para Webster (2000) es “una variable cuyo valor es resultado de un evento aleatorio” (pp. 104-105).

Podemos decir que las variables aleatorias son aquella que tienen un comportamiento probabilístico en la realidad. Por ejemplo, el número de clientes que llegan cada hora a un banco depende del momento del día, del día de la semana y de otros factores: por lo general, la afluencia de clientes será mayor al mediodía que muy temprano por la mañana; la demanda será más alta el viernes que el miércoles; habrá más clientes un día de pago que un día normal, etcétera (García et al., 2013, p. 60).

Según Walpole, R. H. Meyers y Meyers (1999), “Si un espacio muestral contiene un número finito de posibilidades o una serie interminable con tantos elementos como números enteros existen, se llama espacio muestral discreto” (p. 53).

“Sea S un espacio muestral sobre el que se encuentra definida una función de probabilidad. Sea X una función de valor real definida sobre S , de manera que transforme los resultados de S en puntos sobre la recta de los reales. Se dice entonces que X es una variable aleatoria” (Canavos, 1988, p. 52).

- **Generación de variables aleatorias**

Según Coss (2003) En todo modelo de simulación estocástico, existe una o varias variables aleatorias interactuando. Generalmente, estas variables siguen distribuciones de probabilidad teóricas o empíricas diferentes a la distribución uniforme.

Por consiguiente, para simular este tipo de variables, es necesario contar con un generador de números uniformes [números aleatorios] y una función que a través de un método específico, transforme estos números en valores de la distribución de probabilidad deseada.

Entre los procedimientos más comunes y más difundidos se pueden mencionar: El método de transformada inversa, el método de rechazo, el método de composición y procedimientos especiales (p. 56).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Simulaciones terminales

Según García et al. (2013) Tienen como característica principal la ocurrencia de un evento que da por terminada la simulación...[ejemplo] el número de clientes que se atiende en una cafetería entre las 8 h y 9 h.

El análisis estadístico recomendado para este tipo de simulaciones involucra la utilización de intervalos de confianza y la determinación de la distribución de probabilidad de la variable de salida (p. 114).

2.2.2. Intervalos de confianza

Debido a la naturaleza aleatoria de los resultados de este tipo de modelos [de simulaciones terminales], es necesario determinar su distribución de probabilidad y su intervalo de confianza en las diferentes réplicas.

Si la variable aleatoria sigue una distribución normal, el intervalo de confianza está dado por:

$$IC = \left[\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{r}} \left(t_{\frac{\alpha}{2}, r-1} \right), \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{r}} \left(t_{\frac{\alpha}{2}, r-1} \right) \right] \quad [2]$$

Si la variable aleatoria sigue una distribución diferente a la normal, el intervalo de confianza se calcula como:

$$IC = \left[\bar{X} - \frac{S}{\sqrt{ra}}, \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{ra}} \right] \quad [3]$$

En ambas ecuaciones:

r = Número de réplicas

α = Nivel de rechazo

$$\bar{X} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r X_i \quad [4]$$

$$S = \left(\frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (X_i - \bar{X})^2 \right)^{1/2} \quad [5]$$

(García et al., 2013, p. 114)

2.2.3. Número de réplicas

Múltiples e independientes réplicas del modelo son siempre requeridas cuando se trabaja en simulación estocástica.

Para determinar el tamaño del experimento de simulación se ejecuta el modelo con un número de réplicas preliminar n .

$$N = \left[\frac{\sigma_n * Z}{e * \bar{X}_n} \right]^2 \quad [6]$$

Donde:

N : Numero de réplicas que el modelo necesita para alcanzar un nivel de confianza deseado.

n : Número de réplicas preliminares (muestra preliminar).

σ_n : Valor estimado de la desviación estándar σ , sobre la base de los datos de la muestra preliminar n .

e : Error entre la media estimada $\bar{X}(n)$ y la media verdadera μ (media teórica) que estamos dispuestos a tolerar.

$\bar{X}(n)$: Es la media estimada $\bar{X}(n)$.

Z : Estadístico normal estándar (nivel de confianza de 95 % = 1,96) (Penunuri, 2019).

2.2.4. Software de simulación Arena

Según Fábregas et al. (2007) Es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo).

El desarrollo de modelos de simulación mediante este sistema tiene varias ventajas, entre las que se encuentran (Fábregas et al., 2013, p. 3):

- Es una poderosa herramienta de simulación.
- Comprende un entorno amigable, que está especialmente diseñado para personas que no poseen conocimientos de programación.
- Los utilitarios que brinda son de fácil uso.
- Ofrece gran versatilidad, pues se puede modelar desde una fábrica automotriz hasta una sala de espera de un hospital.
- Es compatible con productos Microsoft Office.

Sin embargo, el software Arena tiene también algunos puntos débiles, a saber (Fábregas et al., 2013, p. 4):

- Es difícil correr un modelo creado en Arena en cualquier otro programa de simulación. Esto se da básicamente porque es difícil sincronizar los relojes con los que funcionan los programas.
- La edición para estudiantes tiene muchas limitaciones.
- La documentación y la ayuda que este sistema ofrece es poca; además, no es lo suficientemente clara, y algunos de los ejemplos que presenta tienen errores.

2.3. Definición de términos

Tráfico vehicular: Es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.

Vehículo: Artefacto de libre operación que sirve para transportar personas o bienes por una vía.

Tránsito: Es el desplazamiento de un conjunto de personas, vehículos y animales por las vías terrestres de uso público (circulación).

Congestión vehicular: Es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás [vehículos].

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación sigue un diseño no experimental, de clase transversal descriptivo.

En la presente investigación se observó el fenómeno de tránsito in situ, sin realizar ninguna manipulación del tráfico vehicular. Posteriormente, se logró analizar los datos obtenidos empleando un modelo de simulación de líneas de espera.

El presente estudio se realiza en el día 4 de junio del 2019, donde se observan y describen a los vehículos de transporte público de pasajeros (buses) que pasan por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en la provincia y región de Tacna.

Hernández et al. (2014) resume la investigación no experimental como los “estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p. 154).

Siguiendo la clasificación de los diseños no experimentales que presenta Hernández et al. (2014), los “diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (p. 154).

“Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población” (Hernández et al., 2014, p. 155).

3.2. Población y muestra

a) Población

La población está constituida por los vehículos de transporte público de pasajeros (buses) que pasan por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en la provincia y región de Tacna. Los criterios de inclusión considerados para la limitación poblacional son los siguientes:

- Vehículos automotores destinados al transporte público de pasajeros con número de ruedas mayor o igual a cuatro y un número de asientos mayor a 15.
- Vehículos que no lleguen a recorrer la circunferencia completa del óvalo.
- Vehículos que pasen en horas de la mañana en el intervalo horario de 7 h 0 min 0 s a 10 h 0 min 0 s del día martes 4 de junio del 2019.

Los criterios de exclusión considerados para la limitación poblacional son los siguientes:

- Vehículos automotores que no estén destinados al transporte público de pasajeros con número de ruedas menor o igual a cuatro y un número de asientos menor a 15.
- Vehículos que logren recorrer la circunferencia completa del óvalo y salgan por la avenida Cusco.
- Vehículos que pasen en un intervalo horario diferente al de 7 h 0 min 0 s a 10 h 0 min 0 s del día martes 4 de junio del 2019.

Considerando los criterios indicados, se obtuvo una población semanal estimada como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Población semanal estimada

Hora	L	M	Mi	J	V	S	D	Subtotal
Punta	169	163	175	157	139	148	144	1 094
No punta	117	120	114	112	110	111	111	793
Total								1 887

Nota: Hora punta = Es el intervalo horario que comprende de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s; Hora no punta = Es el intervalo horario que comprende de 9 h 0 min 0 s hasta las 10 h 0 min 0 s; L = lunes, M = martes, Mi = miércoles, J = jueves, V = viernes, S = sábado y D: domingo.

Fuente: Elaboración propia.

b) Muestreo

Dentro de las muestras orientadas a la investigación cualitativa, según Hernández et al. (2014) están las muestras por conveniencia, las cuales están formadas por los casos disponibles a los cuales tenemos acceso (p. 390).

Las muestras dirigidas son válidas en cuanto a que un determinado diseño de investigación así las requiere; sin embargo, los resultados se aplican nada más a la muestra en sí o a muestras similares en tiempo y lugar (transferencia de resultados), pero esto último con suma precaución. No son generalizables a una población ni interesa esta extrapolación (Hernández et al., 2014, p. 390).

Para la investigación el muestreo responderá a un criterio de selección conveniente guiado por los objetivos de la investigación.

c) Muestra

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población (Hernández et al., 2014, p. 175).

La muestra no probabilística es un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación (Hernández et al., 2014, p. 176).

En la presente investigación se tiene acceso a una población semanal estimada, del cual se realiza un estudio descriptivo de un solo día, siendo este el martes 4 de junio del 2019.

El criterio de muestreo no probabilístico y conveniente que se sigue en la investigación, permitió obtener una muestra de 283 vehículos como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Determinación del tamaño de muestra del día martes 4 de junio del 2019

Tipo de hora	NUVIO	NUVROTMC	Subtotal
Punta	113	50	163
No punta	65	55	120
Muestra total			283

Nota: NUVIO = Número de unidades vehiculares que ingresan por minuto

al óvalo Cusco; NUVROTMC = Número de unidades vehiculares que realizan el recorrido por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por Av. Cusco; Punta = Es el intervalo horario que comprende de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s; No punta = Es el intervalo horario que comprende de 9 h 0 min 0 s hasta las 10 h 0 min 0 s.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4

Tabla de operacionalización de variables

Variable de estudio	Descripción	Dimensión	Indicadores	Nivel de medición
Tráfico vehicular	Es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.	Situación de congestamiento	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora punta.	Razón
			Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora no punta.	
		Tiempo de tránsito	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en una hora punta	Intervalo
			Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en una hora no punta.	

Fuente: Elaboración propia

Según Hernández et al. (2014) en nivel de medición por intervalos, además del orden o la jerarquía entre categorías, se establecen intervalos iguales en la medición. En este nivel de medición el cero (0) es arbitrario, no es real, ya que se asigna arbitrariamente a una categoría el valor de cero y a partir de esta se construye la escala (p. 216).

Haciendo un análisis del párrafo anterior adyacente a este con los indicadores que miden el tiempo de recorrido de los vehículos, se puede aplicar el siguiente razonamiento: Si el cero es arbitrario, no implica que en realidad haya cero (ningún) tiempo de recorrido de un vehículo.

“Este nivel de medición permite utilizar las operaciones aritméticas básicas y diversos métodos estadísticos, que de otro modo no se utilizarían. Aunque algunos investigadores no están de acuerdo con suponer tales mediciones como si fueran de intervalo” (Hernández et al., 2014, p. 216).

Por otro lado, en el nivel de medición de razón, se tiene la unidad de medida común, intervalos iguales entre las categorías y aplicación de operaciones aritméticas básicas y sus derivaciones, el cero es real y absoluto, es decir hay un punto en la escala donde está ausente o no existe la propiedad medida (Hernández et al., 2014, p. 216).

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

En el contexto de estudio, la técnica de observación cuantitativa con el instrumento guía de observación, es el adecuado para la medición de esta variable. El instrumento se encuentra en el anexo 4.

La variable tráfico vehicular se midió por medio de los indicadores que se muestran en la tabla de operacionalización de variables (ver tabla 4).

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Para procesar los datos recopilados se hará uso de la estadística descriptiva, tanto de la información que se tiene como de la procesada.

Se hará uso de pruebas estadísticas de bondad de ajuste, como también de los intervalos confidenciales.

La presentación de los datos se realizará mediante tablas, cuadros y gráficos estadísticos.

Los programas de análisis usados fueron el software IBM SPSS en su versión 20 y con el apoyo de hojas de cálculo de Excel 2016.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Resultados

Luego de haber desarrollado la propuesta (ver el anexo 8), se logró obtener el número de réplicas óptimo para que los resultados generados por los modelos de simulación alcancen el nivel de confianza deseado.

Para las simulaciones en una hora punta y en una hora no punta se establecieron parámetros iguales, el número de réplicas fue 70 y la longitud de réplica fue de una hora. El modelo de simulación fue elaborado en el software de simulación Arena versión 14 y su configuración de inicio se muestra en la figura 3.

Los modelos de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco diseñados en el software Arena permiten abstraer que el tiempo promedio de permanencia de una entidad es igual a decir la media de tiempo de recorrido de la entidad. Esta afirmación se realiza luego de observar los diseños mostrados en las figuras 22 y 23.

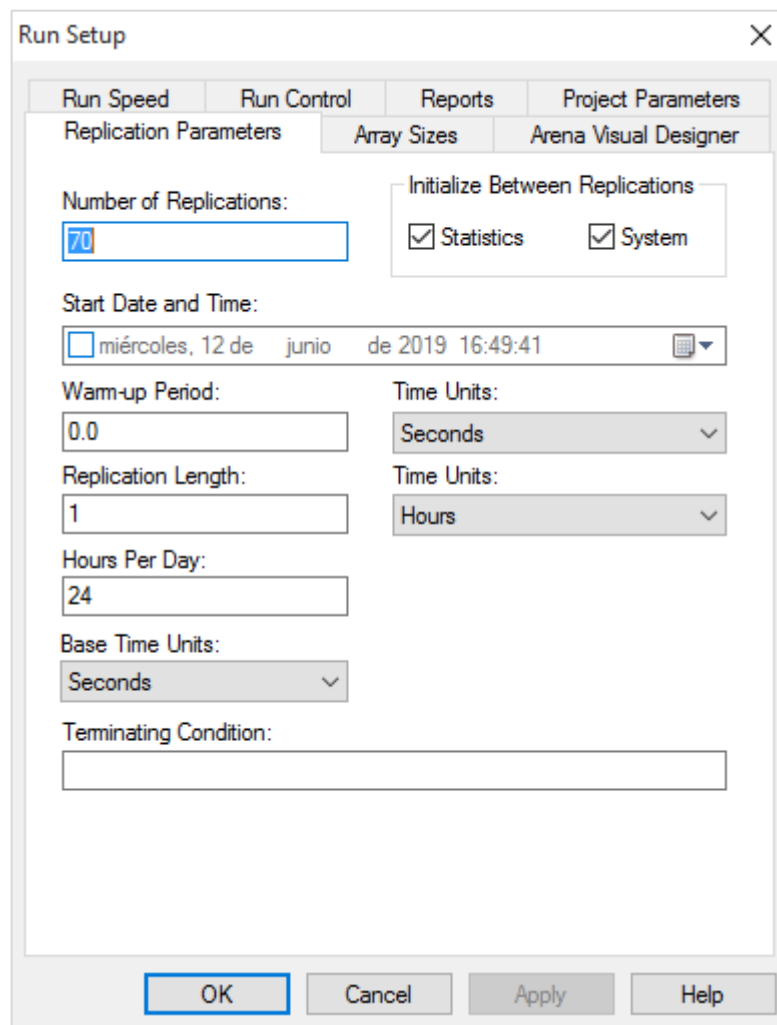


Figura 3. Parámetros de configuración en el software de simulación Arena

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Resultados de la simulación en una hora punta

Luego del análisis de la información recolectada, se identificó los componentes que permitieron elaborar un modelo de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco.

En la figura 4 se observa en promedio 167 entidades de tipo “vehículo hora punta” que completan el recorrido por el sistema luego de 70 réplicas de una hora de longitud.

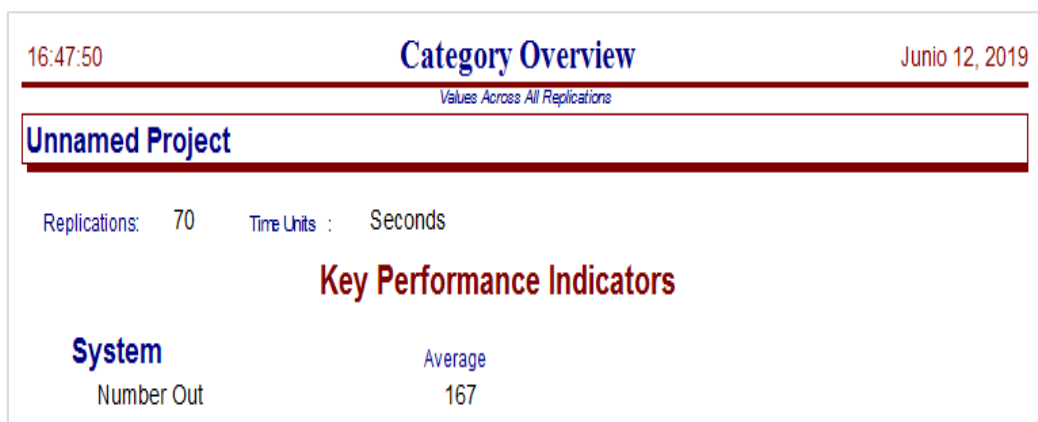


Figura 4. Reporte de salidas promedio simulados en una hora punta

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, en la figura 5 se observa el tiempo promedio de permanencia del “vehículo hora punta” en el modelo de simulación es de 17,43 segundos.

Se aprecia un tiempo de permanencia que fluctúa en un mínimo de 16,9 segundos y un máximo de 17,8 segundos.

16:47:50		Category Overview				Junio 12, 2019	
Values Across All Replications							
Unnamed Project							
Replications:	70	Time Units:	Seconds				
Entity							
Time							
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	17.4338	0.05	16.9521	17.8475	7.5366	26.7	
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	17.4338	0.05	16.9521	17.8475	7.5366	26.7	

Figura 5. Reporte de tiempos promedio de entidades en el modelo de simulación

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados de la simulación en una hora no punta

Posterior al análisis de la información recolectada se identificó los componentes que permitieron elaborar el modelo de simulación del tráfico vehicular en el óvalo Cusco.

En la figura 6 se observa en promedio 170 entidades de tipo “vehículo hora punta” que completan el recorrido por el sistema luego de 70 réplicas de una hora de longitud.

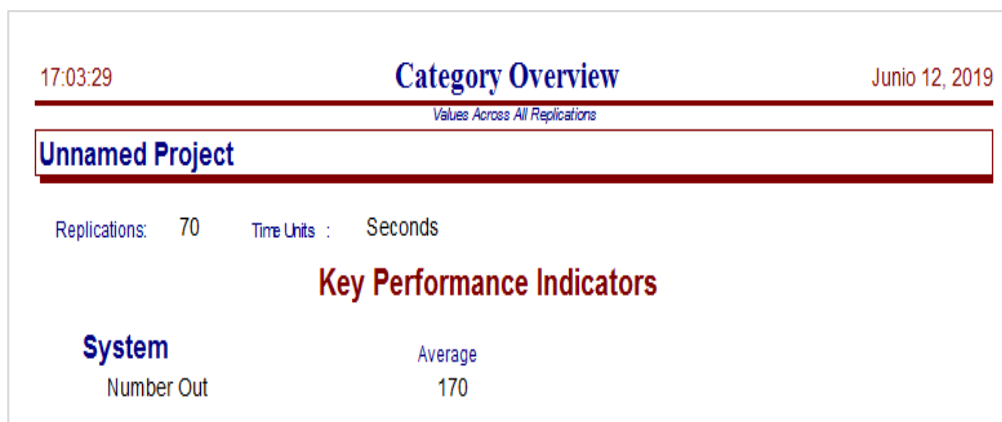


Figura 6. Reporte de salidas promedio de entidades del modelo de simulación en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente en la figura 7 se observa un tiempo promedio de permanencia del “vehículo hora no punta” en el modelo de simulación, el cual es de 13,9 segundos para el tiempo de recorrido por la zona de estudio.

Se aprecia un tiempo mínimo de recorrido de 13,6 segundos y un máximo de 14,2 segundos.

16:47:50		Category Overview				Junio 12, 2019	
Values Across All Replications							
Unnamed Project							
Replications:	70	Time Units:	Seconds				
Entity							
Time							
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	13.9543	0.03	13.6219	14.1835	7.5719	19.5	
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
VEHICULO HORA PUNTA	13.9543	0.03	13.6219	14.1835	7.5719	19.5	

Figura 7. Reporte de tiempos promedio de entidades en el modelo de simulación

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Resultados de las simulaciones en los horarios estudiados

Tabla 5

Resultados de simulaciones en una hora punta y en una hora no punta

Hora	Tiempo promedio de permanencia (s)	Número de entidades promedio (vehículos)
Punta	17,4	167
No punta	13,9	170

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se puede observar que existe una diferencia entre los tiempos promedio de permanencia y número de entidades promedio en una hora punta y en una hora no punta.

En la figura 8 se presenta los resultados de la tabla 5 para observar la diferencia en los tiempos promedio de permanencia luego de realizar 70 réplicas de longitud de una hora cada uno.

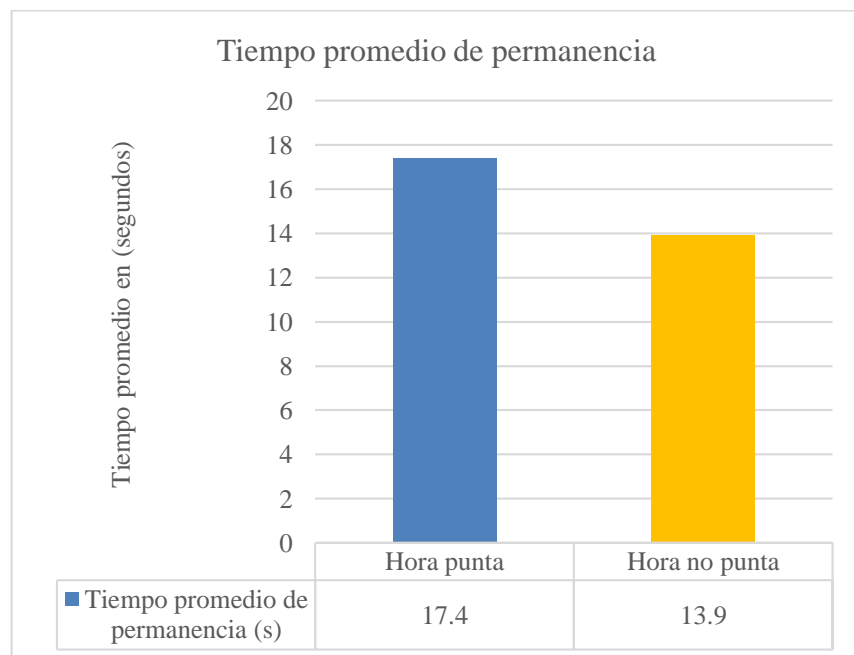


Figura 8. Tiempos promedio de permanencia luego de simular 70 réplicas con una longitud de una hora cada uno

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9 se presenta también los resultados de la tabla 5 para observar la diferencia en el número de entidades promedio simulados luego de realizar 70 réplicas de longitud de una hora cada uno.

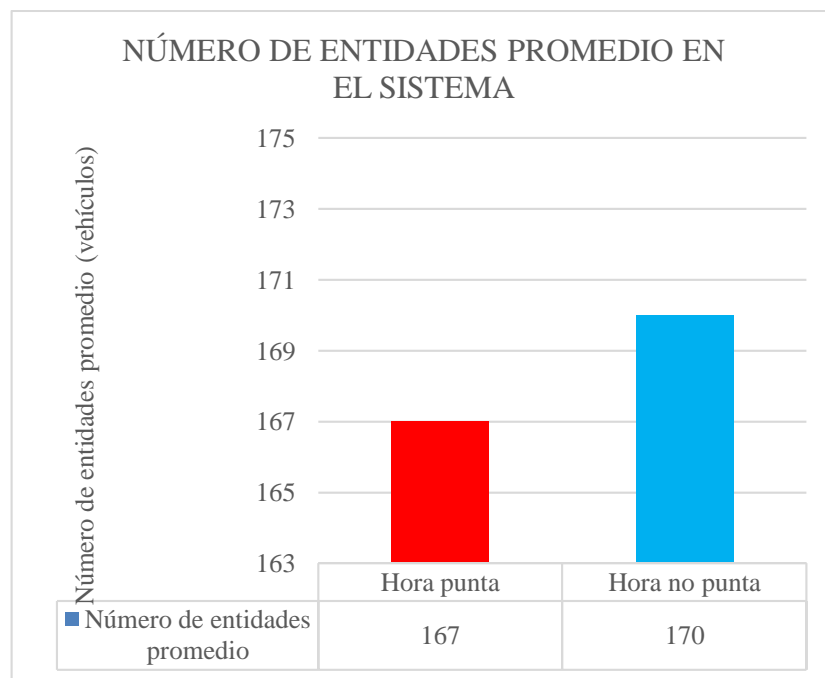


Figura 9. Número de entidades promedio en el sistema luego de simular 70 réplicas con una longitud de una hora cada uno

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Prueba de hipótesis

En primer lugar, se realizó una prueba de normalidad a promedios de los tiempos de recorrido simulados en una hora punta y en una hora no punta; para lo cual se estableció la siguiente hipótesis:

H0: Los promedios de los tiempos de recorrido simulados en una hora punta y en una hora no punta se distribuyen bajo una distribución normal.

H1: Los promedios de los tiempos de recorrido simulados en una hora punta y en una hora no punta no se distribuyen bajo una distribución normal.

Para comprobar la hipótesis se aplicó la herramienta analizar del software IBM SPSS versión 20 con un nivel de significación del 5 %, obteniendo los resultados que se observan en la figura 10.

Pruebas de normalidad							
Tipo de hora		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Tiempos de recorrido	Hora punta	,238	70	,000	,673	70	,000
	Hora no punta	,274	70	,000	,620	70	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 10. Captura de pantalla de los resultados del software IBM SPSS luego de haber aplicado la prueba de normalidad a los promedios de los tiempos de recorrido simulados

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de la figura 10, se considera la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se observa que en una hora punta y en una hora no punta el valor sig. 0,00 es menor que 0,05; por lo que se interpreta que los promedios de tiempo de recorrido en una hora punta y en una hora no punta, no siguen una distribución normal.

Por lo tanto, se concluye que los promedios de tiempo de recorrido en hora no punta y los promedios de tiempo de recorrido en una hora punta no se distribuyen bajo una distribución normal.

Considerando los resultados obtenidos, para la prueba de hipótesis general se aplicó la prueba de Mann-Whitney para muestras independientes con un nivel de significación del 5 %. Dicha prueba se realizó haciendo uso del software estadístico mencionado en el apartado 3.4., obteniendo los resultados que se muestran en la figura 11.

Estadísticos de contraste^a	
	Tiempos de recorrido
U de Mann-Whitney	,000
W de Wilcoxon	2485,000
Z	-10,305
Sig. asintót. (bilateral)	,000

a. Variable de agrupación: Tipo de hora

Figura 11. Captura de pantalla de los resultados del software IBM SPSS luego de haber aplicado la prueba de Mann-Whitney a los promedios de los tiempos de recorrido simulados

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos en la figura 11 se observa que la significancia asintótica (bilateral) 0,00 es menor que 0,05; por consiguiente, se aceptó la hipótesis **H1**.

Por lo tanto, existe una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta.

4.2. Discusión

La investigación de Igor (2009): “Simulación de una vía de acceso de tránsito vehicular al sector céntrico de la ciudad de Puerto Montt” presenta la aplicación de la simulación en el software Flexim enfrenta un problema de cuello de botella observado en un horario punta de la mañana. La simulación realizada le permitió comprobar que existe una solución disponible que no requiere la intervención de muchas vías, pudiendo reducir en cifras cercanas al 20 % los tiempos de viaje dentro del sistema que estudió. En la presente investigación se abordó la simulación desde el punto de vista descriptivo sin comprobar soluciones que requieran intervenciones de las vías y además la simulación se modeló en el software Arena versión 14 con el propósito de analizar el tráfico vehicular en un óvalo en una hora punta y en una hora no punta.

La investigación de Ballón (2016): “Estudio, simulación y optimización del flujo de tráfico de la Av. Jorge Chávez desde la calle Victor Lira hasta la calle Paucarpata”, aborda el análisis de la implementación de un sistema de control de tráfico accionado por vehículos en la Av. Jorge Chávez cuyo algoritmo de control mide el estado del tráfico en cada momento, y esta información es utilizada para sincronizar las señales de control en tiempo real.

La implementación del sistema de control de tráfico accionado permitió la reducción del tiempo de viaje en más de un 25 %, así como la reducción de demoras, demoras debido al largo de cola y número de paradas. En la presente investigación se describió el sistema de control de tráfico estudiado (óvalo) bajo un punto de vista analítico en dos horas puntuales y diferenciadas, de los cuales se pudo desprender que en promedio el tiempo de viaje en una hora no punta disminuye en cifras cercanas al 20 % con respecto al tiempo de viaje en una hora punta.

Conclusiones

Se logró analizar el tráfico vehicular del óvalo Cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, producto de ello, se encontró la existencia de una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta.

En una hora punta el tiempo promedio que tarda un bus en recorrer el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco es de 17,43 segundos. Asimismo, en la citada hora logran transitar en promedio 167 buses.

El tiempo promedio que tarda un bus en recorrer el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta es de 13,9 segundos y en la citada hora logran transitar en promedio 170 buses.

Recomendaciones

En próximos estudios se sugiere realizar una micro simulación del comportamiento del tráfico vehicular en situaciones de congestión de las principales vías que conecta el óvalo Cusco en un mismo instante.

Para incrementar el conocimiento acerca del tráfico vehicular en el óvalo Cusco y vías concurrentes, se recomienda realizar los estudios correspondientes del tiempo de espera y tiempo entre llegadas de los vehículos que ingresan al óvalo.

Se recomienda realizar trabajos de investigación del tráfico vehicular con el uso de programas para estudios de micro simulación como el programa computacional VISSIM.

Referencias Bibliográficas

- Azarang M. & García E. (1996). *Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos*. México: McGraw-Hill.
- Ballón, S. (2016). *Estudio, Simulación y Optimización del Flujo de Tráfico de la Av. Jorge Chávez desde la Calle Víctor Lira hasta la Calle Paucarpata*. Tesis de Pre Grado, Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú
- Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L., y Nicol, D.M. (2005). *Discrete-Event System Simulation* (4ta ed.) NuevaJersey: Prentice Hall.
- Barceló, J. (1996). *Simulación de sistemas discretos*. España: Isdefe
- Bull, A. (2003). *Congestión Del tránsito: El problema y Como enfrentarlo*. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística Aplicaciones y métodos*. México: McGraw-Hill.
- Cao, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. España: Netbiblo, S.L.
- Chaiña, K. (2013). *Satisfacción del usuario y la gestión de incidencias usando la biblioteca de infraestructura de tecnologías de información (ITIL V.3) en la empresa Electrosur S.A. Tacna - 2013*. Tesis de Pre Grado, recuperada del Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. (<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2437>).
- Coss, R. (2003). *Simulación: un enfoque práctico*. México: Editorial Limusa.

- Diario Correo. (2018). Municipio inaugura paso a desnivel en óvalo Cusco. Recuperado el 14 de diciembre del 2018, de <https://diariocorreo.pe/peru/municipio-inaugura-paso-a-desnivel-en-ovalito-cusco-194361/>
- Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones – San Martín (2019). Manual del conductor. Recuperado el 05 de enero del 2019, de http://www.drctsanmartin.gob.pe/documentos/manual_conductor/Definiciones.pdf
- Elías, K. (2013). *Simulación de Montecarlo y proceso operativo del depósito franco de régimen simplificado de mercancías de Zofratana, semestre I-2013*. Tesis de Pre Grado, recuperada del Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. (<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2436>).
- Fábregas, A., Wadnibar, R., Paternina, C. & Mancilla, A. (2007). *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Colombia: Ediciones Uninorte.
- García, E., García, H., Cárdenas, L. (2013). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. México: Pearson Educación.
- Hernández, R, Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Igor, F. (2009). *Simulación de una vía de acceso de tránsito vehicular al sector céntrico de la ciudad de Puerto Montt*. Trabajo de Titulación, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Chile.
- INEI (2018). Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado el 18 de diciembre del 2018, de <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/inicio.html#app=8d5c&d4a2-selectedIndex=1&d9ef-selectedIndex=1>

- Limache, M. (2011). *Diagnóstico de la contaminación sonora emitida por el tráfico vehicular que permita proponer medidas correctivas al sistema de gestión ambiental en el distrito de Tacna, 2010*. Tesis de Maestría, recuperada del Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. (<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/645>).
- Macera, D. (2018). Tráfico vehicular: Gobierno ahorraría US\$500 mlls. si mejora el caos. El Comercio. Recuperado el 14 de diciembre del 2018 de <https://elcomercio.pe/economia/dia-1/trafico-vehicular-gobierno-anuncia-ahorros-us500-mlls-mejora-caos-noticia-553184>
- Ministerio de Economía y Finanzas (2019). Proyecto de inversión pública Mejoramiento de la Av. Jorge Basadre Grohmann entre el ovalo Cusco y la Av. Basadre y forero de la ciudad de Tacna, distrito de Tacna, provincia de Tacna – Tacna, código SNIP 244275. Recuperado el 7 de noviembre del 2019, de <http://ofi4.mef.gob.pe/bp/ConsultarPIP/frmConsultarPIP.asp?&accion=consultar&txtCodigo=244275>
- Municipalidad Provincial de Tacna (2018). Municipalidad Provincial de Tacna. Recuperado el 14 de diciembre del 2018 de http://munitacna.gob.pe/link_buscar_noticias1.php?idnoti=123458715
- Municipalidad Distrital Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa. (Productor). (2017). *Videos de vigilancia, lugar de ocurrencia Óvalo Cusco, fecha 31 de octubre del 2017, hora de 6:45h a 7:45h*. De central de monitoreo de cámaras.
- Penunuri, S. (2019). Determinación del número de corridas. Sandra-penunuri.blogspot.com. Recuperado el 9 de enero del 2019 de <http://sandra-penunuri.blogspot.com/2011/04/determinacion-del-numero-de-corridas.html>
- Ross, S. (1999). *Simulación*. México: Pearson.

- Sevilla, C., Poma, D. (2016) *Mejora del nivel de servicio en la atención presencial en una empresa de telecomunicaciones empleando simulación de eventos discretos*. Tesis de Pre Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Staff, F. (2018). Estas son las 7 ciudades con más tráfico en el mundo y no, no es CDMX. Recuperado el 14 de diciembre del 2018 de <https://www.forbes.com.mx/estas-son-las-7-ciudades-con-mas-trafico-en-el-mundo-y-no-no-es-cdmx/>
- Taha, Hamdy A. (2012). *Investigación de operaciones*. México: Pearson Educación.
- Webster, A. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía, tercera edición*. Colombia: McGraw-Hill.
- Walpole, R., Myers, R. H. & Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros, 6ª. Ed.* México: Pearson.
- Wiki Culturalia. (2019). Cuál es el Significado de Tráfico. Recuperado el 07 de enero del 2019, de <https://edukavital.blogspot.com/2013/01/conceptos-y-definicion-de-trafico.html>

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Imágenes de la toma de datos

Anexo 3: Base de datos del procesamiento de datos y de réplicas

Anexo 4: Guías de observación

Anexo 5: Formato de validez de las guías de observación

Anexo 6: Validez de contenido de la guía de observación

Anexo 7: Fiabilidad de la guía de observación

Anexo 8: Desarrollo de la propuesta

Anexo 1: Matriz de consistencia

Análisis del tráfico vehicular del óvalo Cuzco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017					
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño de la investigación
<p><u>Problema principal</u> ¿Cómo es el tráfico vehicular en el óvalo Cuzco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?</p>	<p><u>Objetivo general</u> Analizar el tráfico vehicular del óvalo Cuzco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>H0: No existe una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cuzco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cuzco en una hora no punta.</p> <p>H1: Existe una diferencia significativa entre la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cuzco en una hora punta y la media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cuzco en una hora no punta.</p>	<p>Única variable Tráfico vehicular Es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta. Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta. Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta. Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta. 	<p><u>Población</u> Se tiene una población semanal estimada de 1890 vehículos.</p> <p><u>Muestra</u> Para la investigación se obtuvo una muestra de 283 vehículos, correspondiente al martes 4 de junio del 2019. La muestra fue obtenida empleando la técnica de muestreo por conveniencia.</p> <p><u>Diseño de investigación</u> No experimental. Descriptiva Transversal</p> <p><u>Técnica e Instrumento</u> Observación - Guía de observación</p>
<p><u>Problema específico 1</u> ¿Cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo cusco en una hora punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?</p>	<p><u>Objetivo específico 1</u> Describir cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo cusco en una hora punta utilizando un modelo de simulación de líneas de espera.</p>	<p>No corresponde el planteamiento de las hipótesis específicas para la investigación, por las razones indicadas en el apartado 1.6.2.</p>			
<p><u>Problema específico 2</u> ¿Cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo cusco en una hora no punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera?</p>	<p><u>Objetivo específico 2</u> Describir cómo se comporta el tráfico vehicular del óvalo cusco en una hora no punta utilizando un modelo de simulación para líneas de espera.</p>				

Anexo 2: Imágenes de la toma de datos

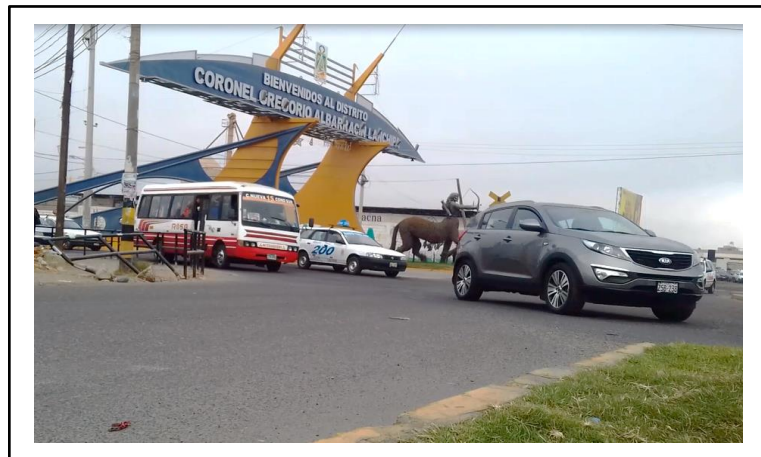


Figura 12. Toma de datos de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Toma de datos de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Base de datos del procesamiento de datos y de réplicas

Tabla 6

Base de datos de la muestra para el procesamiento de datos

Base de datos de la muestra							
Fecha de recolección de datos							
4/6/2019							
Hora punta				Hora no punta			
Intervalo horario de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s				Intervalo horario de 9 h 0 min 0 s hasta las 10 h 0 min 0 s			
Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)	Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)
1	1	1	17,99	1	2	1	13,48
2	2	2	16,57	2	3	2	17,39
3	3	3	14,1	3	3	3	15,08
4	5	4	18,94	4	2	4	15,92
5	2	5	18,43	5	2	5	10,17
6	2	6	17,94	6	5	6	12,78
7	6	7	14,61	7	5	7	12,15
8	2	8	19,61	8	2	8	13,25
9	2	9	20,91	9	2	9	13,07
10	2	10	17,42	10	3	10	18,2
11	3	11	19,85	11	1	11	14,97
12	3	12	19,53	12	2	12	13,78
13	4	13	18,98	13	3	13	11,19
14	5	14	15,81	14	2	14	12,23
15	0	15	15,63	15	2	15	11,38
16	4	16	16,94	16	5	16	11,96
17	3	17	20,78	17	2	17	14,56
18	4	18	16,07	18	4	18	13,54
19	1	19	16,43	19	4	19	12,35
20	3	20	20,08	20	2	20	14,38
21	3	21	19,06	21	4	21	13,56
22	3	22	18,39	22	3	22	14,48
23	2	23	19,23	23	0	23	14,35
24	3	24	17,48	24	3	24	12,75
25	0	25	18,88	25	5	25	15,79

(Continúa)

Base de datos de la muestra							
Fecha de recolección de datos							
4/6/2019							
Hora punta				Hora no punta			
Intervalo horario de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s				Intervalo horario de 9 h 0 min 0 s hasta las 10 h 0 min 0 s			
Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)	Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)
26	1	26	19,09	26	3	26	14,86
27	4	27	18,95	27	0	27	13
28	4	28	20,86	28	1	28	12,83
29	2	29	19	29	3	29	14,13
30	2	30	21,73	30	2	30	13,89
31	2	31	17,47	31	4	31	13,79
32	6	32	19,69	32	4	32	11,37
33	3	33	18,49	33	3	33	14,13
34	2	34	17,26	34	3	34	10,77
35	5	35	18,79	35	4	35	13,68
36	5	36	15,51	36	1	36	13,39
37	0	37	15,36	37	3	37	15,33
38	2	38	15,12	38	3	38	11,77
39	0	39	13,41	39	4	39	13,34
40	7	40	15,76	40	1	40	11,15
41	0	41	10,47	41	2	41	13,57
42	4	42	16,59	42	4	42	15,79
43	2	43	14,04	43	4	43	14,37
44	3	44	13,43	-	-	44	11,38
45	0	45	13,59	-	-	45	14,77
46	5	46	11,08	-	-	46	12,17
47	5	47	14,67	-	-	47	10,61
48	3	48	11,96	-	-	48	15,12
49	0	49	12,71	-	-	49	12,35
50	2	50	15,5	-	-	50	13,24
51	1	-	-	-	-	51	14,49
52	5	-	-	-	-	52	15,29
53	0	-	-	-	-	53	12,94
54	5	-	-	-	-	54	13,18
55	2	-	-	-	-	55	10,89
56	6	-	-	-	-	-	-

(Continúa)

Base de datos de la muestra							
Fecha de recolección de datos							
4/6/2019							
Hora punta				Hora no punta			
Intervalo horario de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s				Intervalo horario de 9 h 0 min 0 s hasta las 10 h 0 min 0 s			
Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)	Minuto N°	Número de vehículos (Unidades)	N°	Tiempo de recorrido (s)
57	0	-	-	-	-	-	-
58	5	-	-	-	-	-	-
59	2	-	-	-	-	-	-
TIPO DE HORA		NUVIO		NUVROTMC		SUBTOTAL	
HORA PUNTA		113		50		163	
HORA NO PUNTA		65		55		120	
TOTAL						283	

Nota: **NUVIO:** Número de unidades vehiculares que ingresan por minuto al óvalo Cusco.

NUVROTMC: Número de unidades vehiculares que realizan el recorrido por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por Av. Cusco. **HORA PUNTA:**

Es el intervalo horario que comprende de 7 h 0 min 0 s hasta las 8 h 0 min 0 s. **HORA NO PUNTA:**

Es el intervalo horario que comprende de 9 h 0 min 0 s a las 10 h 0 min 0 s.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7*Base de datos de réplicas correspondientes a los resultados de la simulación.*

Base de datos de réplicas					
Hora punta		Hora no punta		Hora punta	
Nº de réplica	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Nº de réplica	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Promedio de tiempos de recorrido (s)
1	17,57	14,06	36	17,43	13,96
2	17,55	14,04	37	17,43	13,96
3	17,54	14,05	38	17,42	13,95
4	17,54	14,05	39	17,42	13,95
5	17,42	13,98	40	17,43	13,95
6	17,44	13,96	41	17,43	13,95
7	17,47	13,98	42	17,42	13,95
8	17,49	14	43	17,43	13,95
9	17,47	13,98	44	17,42	13,95
10	17,45	13,96	45	17,43	13,95
11	17,43	13,95	46	17,43	13,95
12	17,46	13,97	47	17,43	13,96
13	17,45	13,96	48	17,44	13,96
14	17,43	13,95	49	17,43	13,96
15	17,45	13,96	50	17,43	13,95
16	17,46	13,97	51	17,43	13,95
17	17,46	13,97	52	17,42	13,95
18	17,47	13,97	53	17,42	13,95
19	17,46	13,97	54	17,42	13,95
20	17,45	13,96	55	17,42	13,95
21	17,43	13,95	56	17,42	13,95
22	17,44	13,96	57	17,42	13,95
23	17,44	13,96	58	17,42	13,94
24	17,45	13,97	59	17,42	13,94
25	17,44	13,96	60	17,42	13,95
26	17,45	13,97	61	17,42	13,94
27	17,45	13,97	62	17,42	13,95
28	17,45	13,97	63	17,43	13,95

(Continúa)

Base de datos de réplicas					
N° de réplica	Hora punta		Hora no punta		N° de réplica
	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Promedio de tiempos de recorrido (s)	Promedio de tiempos de recorrido (s)	
29	17,45	13,97	64	17,43	13,95
30	17,45	13,97	65	17,42	13,95
31	17,44	13,97	66	17,43	13,95
32	17,44	13,96	67	17,43	13,95
33	17,44	13,96	68	17,43	13,95
34	17,43	13,96	69	17,44	13,95
35	17,44	13,96	70	17,43	13,95

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Guías de observación

Guía de observación N° 1

I. Información de la guía

Fecha:	04/06/2019
Lugar:	ÓVALO CUSCO
Nombre del observador:	VIKTOR MAMANI HUALPA
Hora de inicio de la observación:	07h 00min 00s
Hora de fin de la observación:	08h 00min 00s

II. Recolección de datos

N° correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
1	1	17.99
2	2	16.57
3	3	14.1
4	4	18.94
5	5	18.43
6	6	17.94
7	7	14.61
8	8	19.61
9	9	20.91
10	10	17.42
11	11	19.85
12	12	19.53
13	13	18.98

(continúa)

N° correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
14	14	15.81
15	15	15.63
16	16	16.94
17	17	20.78
18	18	16.07
19	19	16.43
20	20	20.08
21	21	19.06
22	22	18.39
23	23	19.23
24	24	17.48
25	25	18.88
26	26	19.09
27	27	18.95
28	28	20.86
29	29	19
30	30	21.73
31	31	17.47
32	32	19.69
33	33	18.49
34	34	17.26
35	35	18.79
36	36	15.51
37	37	15.36
38	38	15.12

(continúa)

Nº correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
39	39	13.41
40	40	15.76
41	41	10.47
42	42	16.59
43	43	14.04
44	44	13.43
45	45	13.59
46	46	11.08
47	47	14.67
48	48	11.96
49	49	12.71
50	50	15.5
51	51	
52	52	
53	53	
54	54	
55	55	
56	56	
57	57	
58	58	

Guía de observación N° 2

I. Información de la guía

Fecha:	04/06/2019
Lugar:	ÓVALO CUSCO
Nombre del observador:	VICTOR MAHANI HUALLPA
Hora de inicio de la observación:	9h 0min 0s
Hora de fin de la observación:	10h 0min 0s

II. Recolección de datos

Nº correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
1	1	13.48
2	2	17.39
3	3	15.08
4	4	15.92
5	5	10.17
6	6	12.78
7	7	12.15
8	8	13.25
9	9	13.07
10	10	18.2
11	11	14.97
12	12	13.78
13	13	11.19

(continúa)

N° correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
14	14	12.23
15	15	11.38
16	16	11.96
17	17	14.56
18	18	13.54
19	19	12.35
20	20	14.38
21	21	13.56
22	22	14.48
23	23	14.35
24	24	12.75
25	25	15.79
26	26	14.86
27	27	13
28	28	12.83
29	29	14.13
30	30	13.89
31	31	13.79
32	32	11.37
33	33	14.13
34	34	10.77
35	35	13.68
36	36	13.39
37	37	15.33
38	38	14.77

(continúa)

Nº correlativo	Identificador del vehículo	Tiempo de recorrido (s)
39	39	13.34
40	40	11.15
41	41	13.57
42	42	15.79
43	43	14.37
44	44	11.38
45	45	14.77
46	46	12.17
47	47	10.61
48	48	15.12
49	49	12.35
50	50	13.24
51	51	14.49
52	52	15.29
53	53	12.94
54	54	13.18
55	55	10.89
56	56	
57	57	
58	58	

Guía de observación N° 3

I. Información de la guía

Fecha:	04/06/2019
Lugar:	ÓVALO CUSCO
Nombre del observador:	VICTOR HAMANI HUALLPA
Hora de inicio de la observación:	7h 0min 0s
Hora de fin de la observación:	8h 0min 0s

II. Recolección de datos

N° correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
1	1	I	1
2	2	II	2
3	3	III	3
4	4	IIIT	5
5	5	II	2
6	6	II	2
7	7	IIIT I	6
8	8	II	2
9	9	II	2
10	10	II	2
11	11	III	3
12	12	III	3
13	13	IIII	4
14	14	IIIT	5

(continúa)

Nº correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
15	15		0
16	16		4
17	17		3
18	18		4
19	19		1
20	20		3
21	21		3
22	22		3
23	23		2
24	24		3
25	25		0
26	26		1
27	27		4
28	28		4
29	29		2
30	30		2
31	31		2
32	32	LHT 1	6
33	33		3
34	34		2
35	35	LHT	5
36	36	LHT	5
37	37		0
38	38		2
39	39		0

(continúa)

Nº correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
40	40	LHT II	7
41	41		0
42	42	IIII	4
43	43	II	2
44	44	III	3
45	45		0
46	46	LHT	5
47	47	LHT	5
48	48	III	3
49	49		0
50	50	II	2
51	51	I	1
52	52	LHT	5
53	53		0
54	54	LHT	5
55	55	II	2
56	56	LHT I	6
57	57		0
58	58	LHT	5
59	59	II	2
60	60		

Guía de observación N° 4

I. Información de la guía

Fecha:	04/06/2019
Lugar:	ÓVALO CUSCO
Nombre del observador:	VICTOR MAMANI HUALPA
Hora de inicio de la observación:	9h 0min 0s
Hora de fin de la observación:	10h 0min 0s

II. Recolección de datos

N° correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
1	1	II	2
2	2	III	3
3	3	III	3
4	4	II	2
5	5	II	2
6	6	III	5
7	7	III	5
8	8	II	2
9	9	II	2
10	10	III	3
11	11	I	1
12	12	II	2
13	13	III	3
14	14	II	2

(continúa)

Nº correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
15	15		2
16	16		5
17	17		2
18	18		4
19	19		4
20	20		2
21	21		4
22	22		3
23	23		0
24	24		3
25	25		5
26	26		3
27	27		0
28	28		1
29	29		3
30	30		2
31	31		4
32	32		4
33	33		3
34	34		3
35	35		4
36	36		1
37	37		3
38	38		3
39	39		4

(continúa)

Nº correlativo	Identificador de minuto	Área de conteo	Cantidad de unidades vehiculares registradas
40	40	I	1
41	41	II	2
42	42	III	4
43	43	III	4
44	44		
45	45		
46	46		
47	47		
48	48		
49	49		
50	50		
51	51		
52	52		
53	53		
54	54		
55	55		
56	56		
57	57		
58	58		
59	59		
60	60		

Anexo 5: Formato de validez de las guías de observación

EVALUACIÓN DE LAS GUÍAS DE OBSERVACIÓN

Estimado(a) experto(a),

Por medio de la presente, solicito su valiosa colaboración para la validación de contenido de unas guías de observación, los cuales forman parte de la investigación que lleva por título: "Análisis del tráfico vehicular del óvalo cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017" a cargo de la Bach. Víctor Mamani Hualpa.


La variable medida por los instrumentos es el "tráfico vehicular", asimismo, para estimar su juicio se le ha suministrado las guías de observación y la matriz de consistencia. Marque con un aspa (X) el casillero que considere conveniente, donde "Sí" significa que el ítem es adecuado, o "No" en caso contrario.

Relación de ítems que conforman las guías de observación:

Código ítem	Ítem	Adecuado	
		Sí	No
11	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones y/o recomendaciones del experto

Los instrumentos se adecuan al propósito de la investigación; se sugiere tomar una lectura por vez en 30s.

Datos del experto	
Apellidos y nombres:	<i>Polar Fuentes, Jaime Freddy</i>
Grado Académico:	<i>Ingeniero de Sistemas</i>
Empresa/Institución donde labora:	<i>U. N. Jorge Basadre Grohmann</i>
Firma de validación del experto	
	

EVALUACIÓN DE LAS GUÍAS DE OBSERVACIÓN

Estimado(a) experto(a),

Por medio de la presente, solicito su valiosa colaboración para la validación de contenido de unas guías de observación, los cuales forman parte de la investigación que lleva por título: "Análisis del tráfico vehicular del óvalo cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017" a cargo de la Bach. Victor Mamani Hualpa.

La variable medida por los instrumentos es el "tráfico vehicular", asimismo, para estimar su juicio se le ha suministrado las guías de observación y la matriz de consistencia. Marque con un aspa (X) el casillero que considere conveniente, donde "Si" significa que el ítem es adecuado, o "No" en caso contrario.

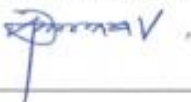
Relación de ítems que conforman las guías de observación:

Código ítem	Ítem	Adecuado	
		Si	No
I1	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I2	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I3	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora punta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I4	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones y/o recomendaciones del experto

--

Datos del experto

Apellidos y nombres:	ESPINOZA VILARINA, HUGO MANUEL
Grado Académico:	MAESTRO EN LENGUAS / INGENIERO EN INFORMÁTICA
Empresa/Institución donde labora:	UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ GARCÍA RODRÍGUEZ
Firma de validación del experto	
	

EVALUACIÓN DE LAS GUÍAS DE OBSERVACIÓN

Estimado(a) experto(a),

Por medio de la presente, solicito su valiosa colaboración para la validación de contenido de unas guías de observación, los cuales forman parte de la investigación que lleva por título: "Análisis del tráfico vehicular del óvalo cusco utilizando un modelo de simulación para líneas de espera, Tacna 2017" a cargo de la Bach. Victor Mamani Hualpa.

La variable medida por los instrumentos es el "tráfico vehicular", asimismo, para estimar su juicio se le ha suministrado las guías de observación y la matriz de consistencia. Marque con un aspa (X) el casillero que considere conveniente, donde "Sí" significa que el ítem es adecuado, o "No" en caso contrario.

Relación de ítems que conforman las guías de observación:

Código ítem	Ítem	Adecuado	
		Sí	No
11	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora punta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora no punta.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones y/o recomendaciones del experto

--

Datos del experto

Apellidos y nombres:	Condori Siles, Enrique Waldo
Grado Académico:	Ingeniero en Informática y Sistemas
Empresa/Institución donde labora:	U.N. Jorge Basadre Grohmann
Firma de validación del experto	
	

Anexo 6: Validez de contenido de la guía de observación

La validación se hizo a través del juicio de tres expertos, y a partir del cálculo del Coeficiente V de Aiken, cuyo cálculo es por medio de la Ecuación 7.

$$V = \frac{S}{n * (c - 1)} \quad (7)$$

Donde:

S = la sumatoria de s_i

s_i = Valor asignado por el juez i

n = Número de jueces

c = Número de valores de la escala de valoración

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos del juicio de expertos, en donde se calcula por cada ítem el Coeficiente V de Aiken denotado por V ; como todos los ítems han obtenido un coeficiente de Aiken (V) igual a uno, cada ítem fue aceptado, por lo tanto, el instrumento es válido en contenido.

Tabla 8*Resumen de los resultados del juicio de expertos*

Código ítem	Ítem	Expertos			N° de acuerdos	V	Decisión
		1	2	3			
I1	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora punta.	1	1	1	3	1	A
I2	Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en hora no punta.	1	1	1	3	1	A
I3	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora punta	1	1	1	3	1	A
I4	Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por Av. Municipal y salida por Av. Cusco en hora no punta.	1	1	1	3	1	A

Nota: N° de jueces = 3, V = Coeficiente V de Aiken, A = ítem aceptado, R = ítem rechazado

Fuente: Adaptado de Chaiña (2013).

Anexo 7: Fiabilidad de la guía de observación

La valoración de la fiabilidad de los instrumentos se realizó aplicando el método de los test paralelos a partir del coeficiente de correlación de Pearson, cuyo cálculo es por medio de la Ecuación 8.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Donde:

r = Coeficiente de correlación r de Pearson

x = Variable independiente

y = Variable dependiente

\bar{x} = Media de valores independientes

\bar{y} = Media de valores dependientes

En la tabla 9 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la medida de fiabilidad, en donde se calcula por cada instrumento el Coeficiente r de Pearson denotado por r .

Tabla 9

Resumen de los resultados de la aplicación del método de test paralelos

N° de Guía de observación	Coefficiente de correlación de Pearson
1	$1 > 0,7$
2	$1 > 0,7$
3	$0,92 > 0,7$
4	$0,94 > 0,7$

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 9 se observa que los instrumentos presentan un Coeficiente de correlación r de Pearson en un rango de $0,8 < r < 1$, lo cual se interpreta como una correlación muy alta, lo cual convierte a los instrumentos como muy fiables.

La aplicación del método de test paralelos se observa a detalle en la tabla 10, donde se puede observar los instrumentos los datos tomados en paralelo, los promedios de los mismos y el coeficiente de Pearson.

Tabla 10*Resultados de la aplicación del método de test paralelos*

Instrumentos	Observador 1	Observador 2	Promedios	Coeficiente <i>r</i> de Pearson
	Datos tomados en paralelo			
	X	Y		
Guía de observación 1	1	1	$\bar{X} = 2,7$ $\bar{Y} = 2,7$	1
	2	2		
	3	3		
	5	5		
	2	2		
	2	2		
	6	6		
	2	2		
	2	2		
Guía de observación 2	2	2	$\bar{X} = 2,9$ $\bar{Y} = 2,9$	1
	3	3		
	3	3		
	2	2		
	2	2		
	5	5		
	5	5		
	2	2		
	2	2		
Guía de observación 3	17,99	18,99	$\bar{X} = 17,6$ $\bar{Y} = 17,9$	0,92
	16,57	16,57		
	14,1	15,1		
	18,94	19,94		
	18,43	18,43		
	17,94	18,94		
	14,61	14,61		
	19,61	20,61		
	20,91	19,91		
17,42	16,42			
Guía de observación 4	13,48	12,48	$\bar{X} = 14,1$ $\bar{Y} = 13,6$	0,94
	17,39	16,39		
	15,08	14,08		
	15,92	14,92		
	10,17	11,17		
	12,78	11,78		
	12,15	11,15		
	13,25	13,25		
	13,07	12,07		
18,2	19,2			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Desarrollo de la propuesta

1. Recolección de la información de campo en una hora punta

- Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta
- Recolección de información de campo

Se recolectó el número de vehículos por minuto que ingresan a la zona de estudio bajo las limitaciones de la presente investigación.

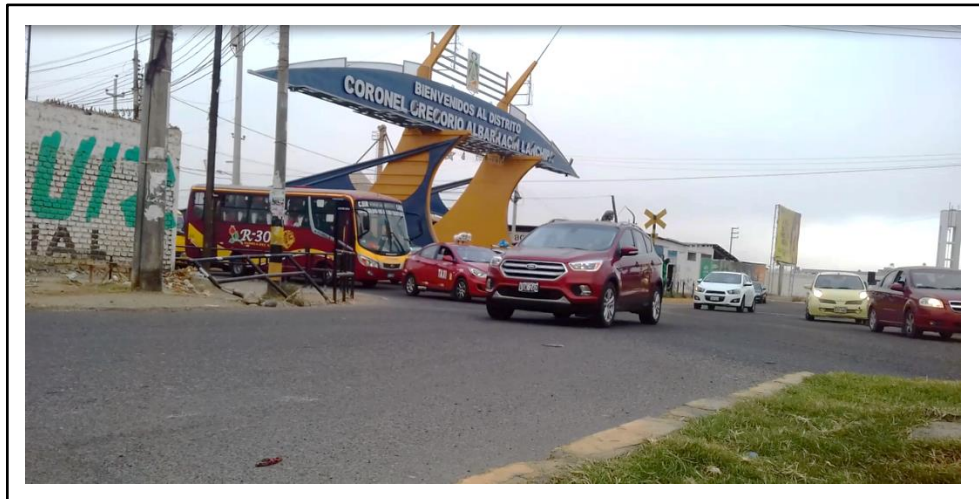


Figura 14. Llegada de vehículos al óvalo Cusco en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11*Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta*

Minuto N°	Número vehículos por minuto	Minuto N°	Número vehículos por minuto
1	1	31	2
2	2	32	6
3	3	33	3
4	5	34	2
5	2	35	5
6	2	36	5
7	6	37	0
8	2	38	2
9	2	39	0
10	2	40	7
11	3	41	0
12	3	42	4
13	4	43	2
14	5	44	3
15	0	45	0
16	4	46	5
17	3	47	5
18	4	48	3
19	1	49	0
20	3	50	2
21	3	51	1
22	3	52	5
23	2	53	0
24	3	54	5
25	0	55	2
26	1	56	6
27	4	57	0
28	4	58	5
29	2	59	2
30	2	60	-

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen estadístico de la información recolectada**

Para realizar pruebas de bondad de ajuste se tabularon los datos como se muestra en la tabla 12, donde se aprecia el número de vehículos por minuto que se registró y la frecuencia con la que se presentó.

Tabla 12

Tabla de frecuencia del número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora punta

Número de vehículos	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	9	15,3	15,3	15,3
1	4	6,8	6,8	22
2	16	27,1	27,1	49,2
3	11	18,6	18,6	67,8
4	6	10,2	10,2	78
5	9	15,3	15,3	93,2
6	3	5,1	5,1	98,3
7	1	1,7	1,7	100
Total	59	100	100	

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfica de histograma**

En la figura 15 se muestra el histograma de llegadas de los vehículos al sistema, se visualiza que el comportamiento puede ser Poisson.

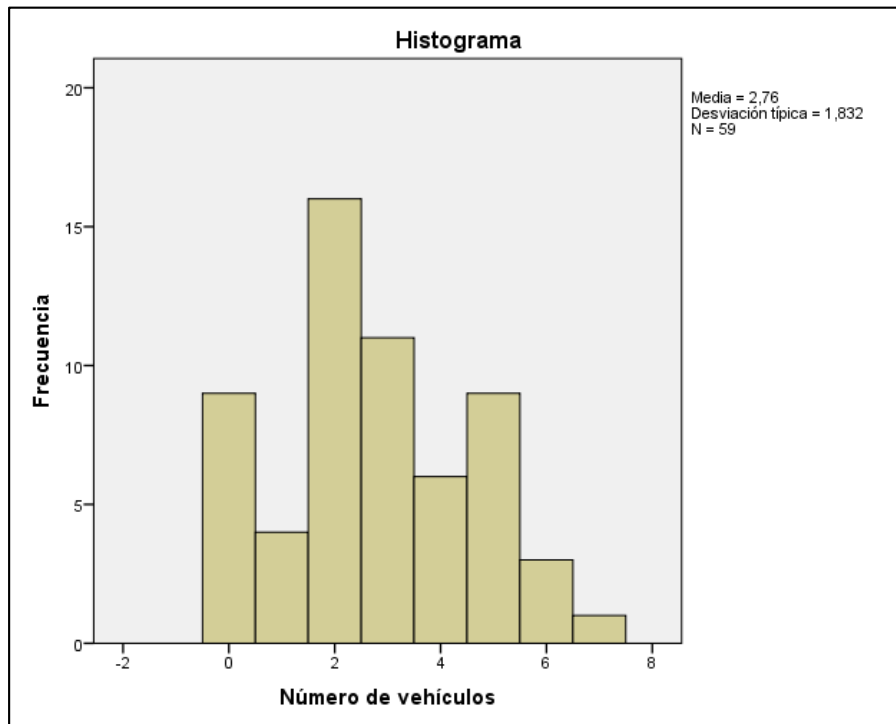


Figura 15. Histograma del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.

- **Prueba de bondad de ajuste**

- **Formulación de hipótesis**

H₀: Los datos se ajustan a una distribución Poisson.

H₁: Los datos no se ajustan a una distribución Poisson.

Para la prueba de bondad de ajuste, se elaboró la tabla 13, donde se aprecia el número de autos por minuto, las frecuencias observadas, las probabilidades de Poisson con $\lambda = 2,76$; la frecuencia esperada, las frecuencias categorizadas y operaciones para la prueba Ji cuadrada.

Tabla 13*Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora punta*

Número autos por minuto	Frecuencia observadas	Probabilidades de Poisson con $\lambda = 2.76$	Frecuencia esperada	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
0	9	0,06329177	3,73421433	7,42552414
1	4	0,17468528	10,3064316	3,85886025
2	16	0,24106569	14,2228756	0,22204872
3	11	0,22178043	13,0850455	0,332243
4	6	0,1530285	9,0286814	1,01597461
5	9	0,08447173	4,98383213	3,23638596
6	3	0,038857	2,29256278	0,21830042
7	1	0,01532076	0,90392475	0,01021153
	59		X_0^2	16,31954862

Fuente: Elaboración propia.

Se considera un nivel de significancia del 1 %, $\alpha = 0,01$

$$\lambda = 2,76$$

Hallando el valor de X_0^2 (hallado) = 16,319

Hallando el valor de X_0^2 (teórico) = 16,811

Como X_0^2 (teórico) > X_0^2 (hallado) entonces se concluye que no se puede rechazar que el número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto, se ajustan a una distribución Poisson con $\lambda = 2,76$.

- **Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta**
- **Recolección de información de campo**

Se recolectó información acerca de los tiempos de recorrido de los vehículos siguiendo la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta, los datos se observan en el anexo 3, para la simulación el tiempo se redondeó con cero decimales como se muestra en la tabla 14.



Figura 16. Recorrido de vehículos al óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Datos de tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta

N°	Tiempo de recorrido (s)	N°	Tiempo de recorrido (s)	N°	Tiempo de recorrido (s)
1	18	21	20	41	11
2	17	22	19	42	17
3	15	23	20	43	15
4	19	24	18	44	14
5	19	25	19	45	14
6	18	26	20	46	12
7	15	27	19	47	15
8	20	28	21	48	12
9	21	29	19	49	13
10	18	30	22	50	16
11	20	31	18	-	-
12	20	32	20	-	-
13	19	33	19	-	-
14	16	34	18	-	-
15	16	35	19	-	-
16	17	36	16	-	-
17	21	37	16	-	-
18	17	38	16	-	-
19	17	39	14	-	-
20	21	40	16	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen estadístico de la información recolectada**

En la tabla 15 se muestra la tabla de frecuencias acumulada obtenida a partir de procesar los datos que se muestran en la tabla 14.

Tabla 15

Tabla de frecuencias acumulada de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora punta

Clases	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
[11-13>	12	3	0,06	3
[13-15>	14	4	0,08	7
[15-17>	16	11	0,22	18
[17-19>	18	11	0,22	29
[19-21>	20	16	0,32	45
[21-23]	22	5	0,1	50
		50	1	

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfica de histograma**

En la figura 17 se muestra el histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta, se visualiza que el comportamiento puede ser normal.

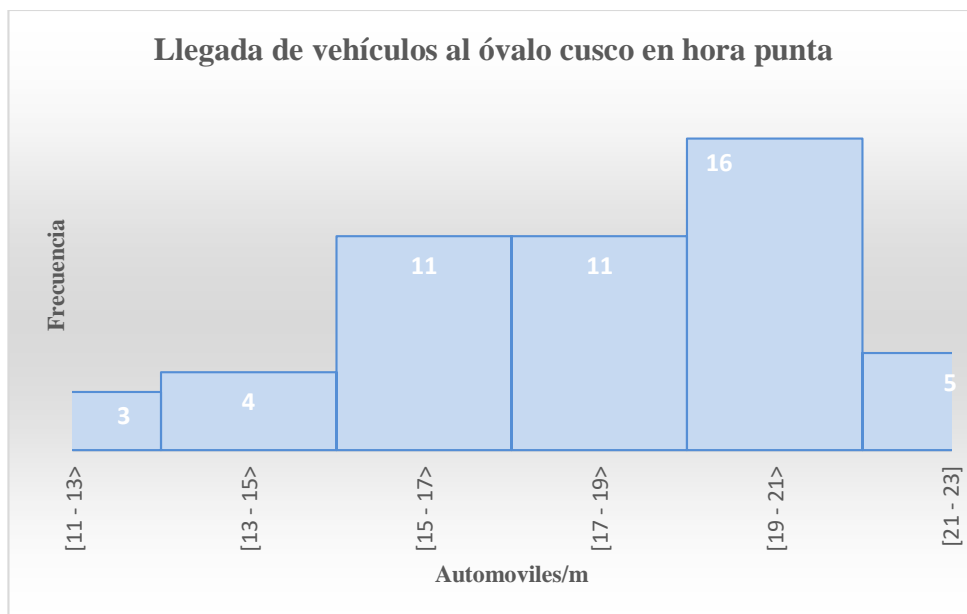


Figura 17. Histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.

- **Prueba de bondad de ajuste**
- **Formulación de hipótesis**

H0: Los datos se ajustan a una distribución Normal.

H1: Los datos no se ajustan a una distribución Normal.

Para la prueba de bondad de ajuste, se elaboró la tabla 16, donde se aprecia los tiempos de recorrido en intervalos, las frecuencias observadas, las probabilidades de Normal con $\mu = 17,44$ y $\sigma = 2,62$; la frecuencia esperada, las frecuencias categorizadas y operaciones para la prueba Ji cuadrada.

Tabla 16*Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora punta*

Intervalos de clase	Frecuencia observadas	Probabilidades de Normal con $\mu=17,44$ y $\sigma=2,62$	Frecuencia esperada	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
[11 - 13>	3	0,03808494	1,90424702	0,6305246
[13 - 15>	4	0,13077949	6,53897455	0,98584139
[15 - 17>	11	0,25746587	12,8732934	0,27259754
[17 - 19>	11	0,29090291	14,5451454	0,86407221
[19 - 21>	16	0,18867306	9,43365284	4,5705429
[21 - 23]	5	0,07019527	3,50976368	0,63275038
	50		X_0^2	7,95632901

Fuente: Elaboración propia.

Se trabaja con un nivel de significancia del 1 %, $\alpha = 0,01$

Grados de libertad = 3

Hallando el valor de X_0^2 (hallado) = 7,95

Hallando el valor de X_0^2 (teórico) = 11,35

Como X_0^2 (teórico) > X_0^2 (hallado) entonces se concluye que no se puede rechazar que el tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta, se ajustan a una distribución Normal con $\mu = 17,44$ y $\sigma = 2,62$.

2. Recolección de la información de campo en hora no punta

- **Número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta**
- **Recolección de información de campo**

Se recolectó el número de vehículos por minuto que ingresan a la zona de estudio bajo las limitaciones del estudio.



Figura 18. Llegada de vehículos al óvalo Cusco en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17

Número de vehículos que ingresan al óvalo Cusco provenientes de la Av. Municipal por minuto en una hora no punta

Minuto N°	Número vehículos por minuto	Minuto N°	Número vehículos por minuto
1	2	31	4
2	3	32	4
3	3	33	3
4	2	34	3
5	2	35	4
6	5	36	1
7	5	37	3
8	2	38	3
9	2	39	4
10	3	40	1
11	1	41	2
12	2	42	4
13	3	43	4
14	2	44	-
15	2	45	-
16	5	46	-
17	2	47	-
18	4	48	-
19	4	49	-
20	2	50	-
21	4	51	-
22	3	52	-
23	0	53	-
24	3	54	-
25	5	55	-
26	3	56	-
27	0	57	-
28	1	58	-
29	3	59	-
30	2	60	-

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen estadístico de la información recolectada**

Para realizar pruebas de bondad de ajuste se tabularon los datos como se muestra en la tabla 18, donde se aprecia el número de vehículos por minuto que se registró y la frecuencia con la que se presentó.

Tabla 18

Tabla de frecuencia del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta

Número de vehículos	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	2	4,7	4,7	4,7
1	4	9,3	9,3	14,0
2	12	27,9	27,9	41,9
3	12	27,9	27,9	69,8
4	9	20,9	20,9	90,7
5	4	9,3	9,3	100
Total	43	100	100	

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfica de histograma**

En la figura 19 se muestra el histograma de llegadas de los vehículos al sistema, se visualiza que el comportamiento puede ser Poisson.

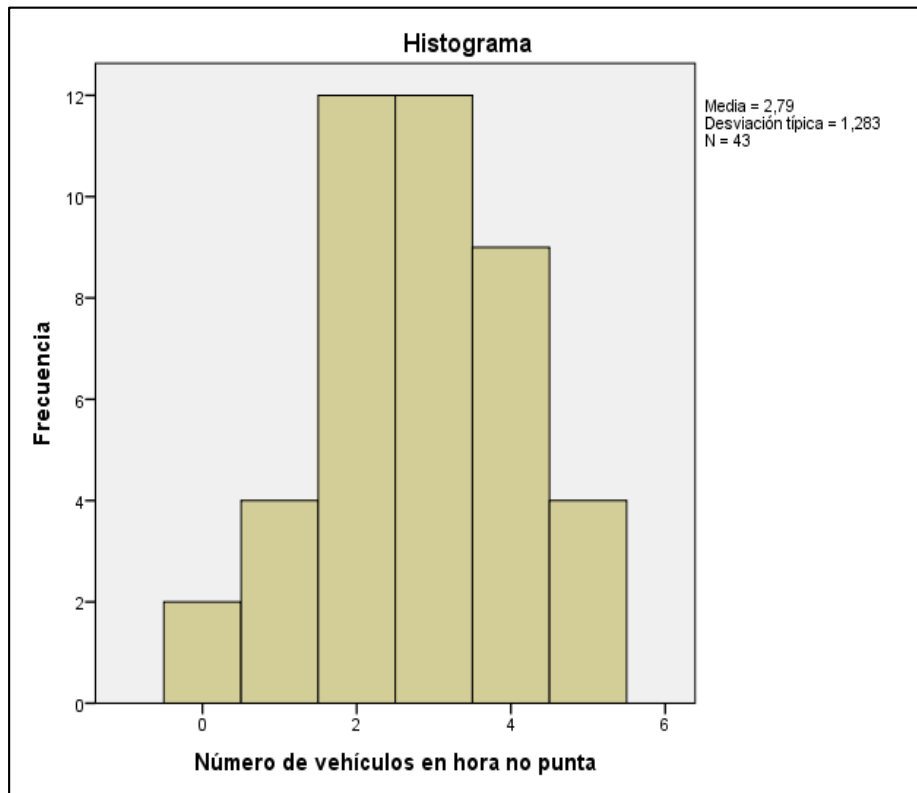


Figura 19. Histograma del número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

- **Prueba de bondad de ajuste**
- **Formulación de hipótesis**

H0: Los datos se ajustan a una distribución Poisson.

H1: Los datos no se ajustan a una distribución Poisson.

Para la prueba de bondad de ajuste, se elaboró la tabla 19, donde se aprecia el número de autos por minuto, las frecuencias observadas, las probabilidades de Poisson con $\lambda = 2,79$; la frecuencia esperada, las frecuencias categorizadas y operaciones para la prueba Ji cuadrada.

Tabla 19

Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora no punta

Número autos por minuto	Frecuencia observadas	Probabilidades de Poisson con $\lambda = 2,79$	Frecuencia esperada	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
0	2	0,061421214	2,641112198	0,155625668
1	4	0,171365187	7,368703033	1,54004851
2	12	0,239054436	10,27934073	0,288021226
3	12	0,222320625	9,55978688	0,622884186
4	9	0,155068636	6,667951349	0,815610466
5	4	0,086528299	3,720716853	0,020963454
	43		X_0^2	3,443153511

Fuente: Elaboración propia.

Se trabaja con un nivel de significancia del 5 %, $\alpha = 0,05$

$$\lambda = 2,79$$

Hallando el valor de X_0^2 (hallado) = 3,44

Hallando el valor de X_0^2 (teórico) = 9,48

Como X_0^2 (teórico) > X_0^2 (hallado) entonces se concluye que no se puede rechazar que el número de vehículos que ingresan a la zona de estudio por minuto en hora no punta, se ajustan a una distribución Poisson con $\lambda = 2,79$.

- **Tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta**
- **Recolección de información de campo**

Se recolectó información acerca de los tiempos de recorrido de los vehículos siguiendo la trayectoria de la zona de estudio en hora no punta.



Figura 20. Recorrido de vehículos por el óvalo Cusco siguiendo la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Datos de tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta

Nº	Tiempo de recorrido (s)	Nº	Tiempo de recorrido (s)	Nº	Tiempo de recorrido (s)
1	14	21	14	41	14
2	18	22	15	42	16
3	16	23	15	43	15
4	16	24	13	44	12
5	11	25	16	45	15
6	13	26	15	46	13
7	13	27	13	47	11
8	14	28	13	48	16
9	14	29	15	49	13
10	19	30	14	50	14
11	15	31	14	51	15
12	14	32	12	52	16
13	12	33	15	53	13
14	13	34	11	54	14
15	12	35	14	55	11
16	12	36	14	-	-
17	15	37	16	-	-
18	14	38	12	-	-
19	13	39	14	-	-
20	15	40	12	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- **Resumen estadístico de la información recolectada**

En la tabla 21 se muestra la tabla de frecuencias obtenida a partir de procesar los datos que se muestran en la tabla 20.

Tabla 21

Tabla de frecuencia de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta

Clases	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada
[11-13>	12	11	0.2	11
[13-15>	14	24	0,43636364	35
[15-17>	16	18	0,32727273	53
[17-19]	18	2	0,03636364	55
		55	1	

Fuente: Elaboración propia.

- **Gráfica de histograma**

En la figura 21 se muestra el histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta, se visualiza que el comportamiento puede ser Normal.

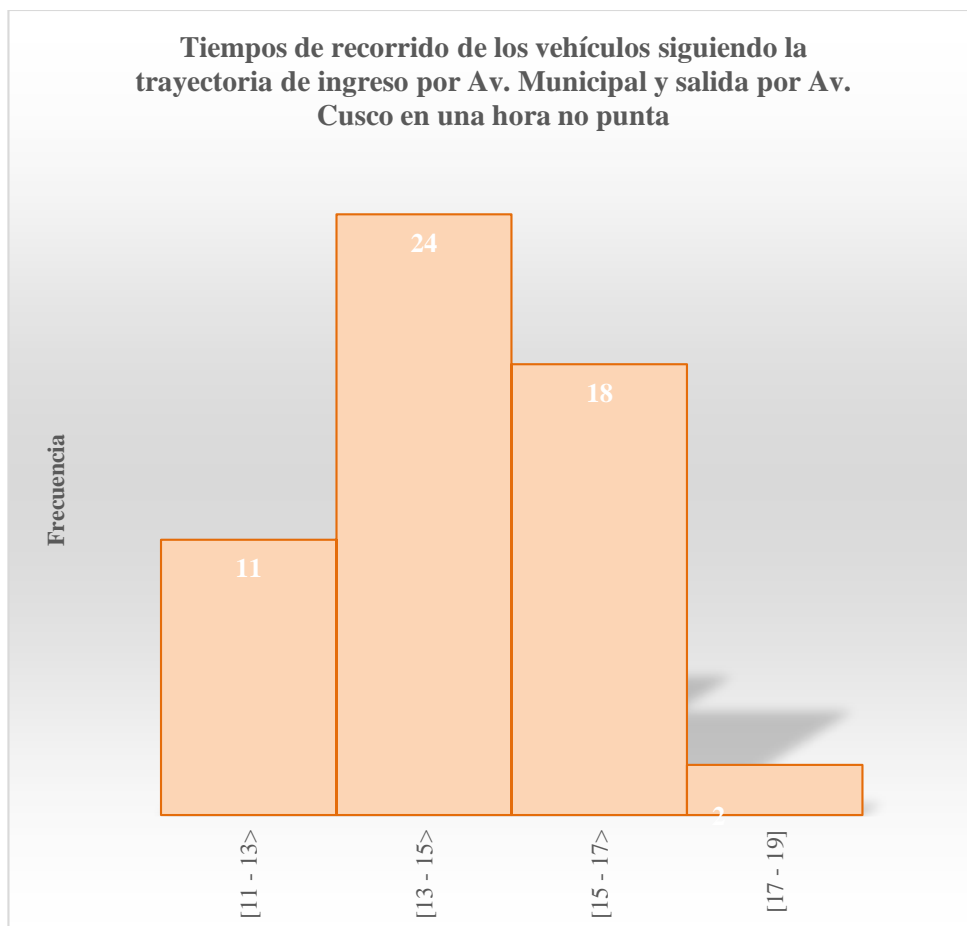


Figura 21. Histograma de los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

- **Prueba de bondad de ajuste**
- **Formulación de hipótesis**

H₀: Los datos se ajustan a una distribución Normal.

H₁: Los datos no se ajustan a una distribución Normal.

Para la prueba de bondad de ajuste, se elaboró la tabla 22, donde se aprecia los tiempos de recorrido en intervalos, las frecuencias observadas, las probabilidades de Normal con $\mu = 13,96$ y $\sigma = 1,69$; la frecuencia esperada, las frecuencias categorizadas y operaciones para la prueba Ji cuadrada.

Tabla 22

Cálculos para la prueba de bondad de ajuste en una hora no punta

Intervalos de clase	Frecuencia absoluta	Probabilidades de Normal con $\mu = 13,96$ y $\sigma = 1,69$	Frecuencia esperada	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
[11 - 13>	11	0,24506972	13,4788346	0,45587183
[13 - 15>	24	0,44584821	24,5216517	0,01109715
[15 - 17>	18	0,23312652	12,8219588	2,09110878
[17 - 19]	2	0,03459315	1,9026234	0,00498375
	55		X_0^2	2,56306151

Fuente: Elaboración propia.

Se trabaja con un nivel de significancia del 5 %, $\alpha = 0,05$

Grados de libertad = 4

Hallando el valor de X_0^2 (hallado) = 2,56

Hallando el valor de X_0^2 (teórico) = 3,84

Como X_0^2 (teórico) > X_0^2 (hallado) entonces se concluye que no se puede rechazar que el tiempo de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta, se ajustan a una distribución Normal con $\mu = 13,96$ y $\sigma = 1,69$.

3. Identificación de componentes del tráfico vehicular

a) Entidades

Se identificó como entidad a los vehículos que ingresan al sistema.

Tabla 23

Entidades del sistema

Tipo de entidad	Descripción
<i>Vehículo hora punta</i>	Vehículo que ingresa a la zona de estudio en una hora punta
<i>Vehículo hora no punta</i>	Vehículo que ingresa a la zona de estudio en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

b) Estaciones

En el modelo existen dos (02) estaciones para el modelo de simulación en una hora punta y otros dos (02) para el modelo de simulación en una hora no punta.

4. Modelos de simulación

- Modelo de simulación para hora punta

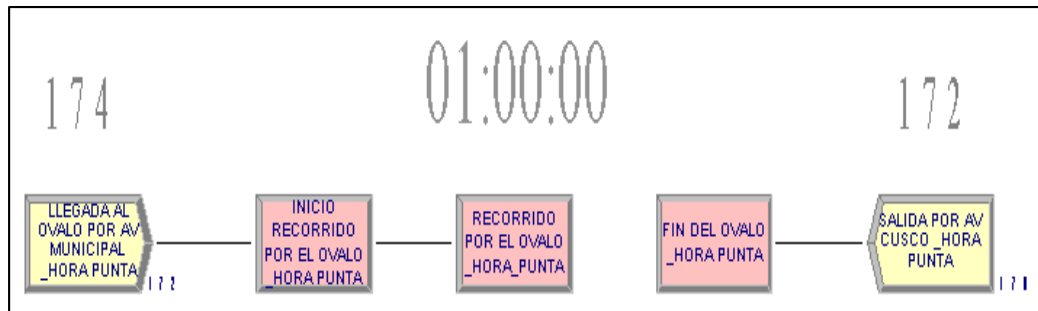


Figura 22. Modelo de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora punta

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de simulación para hora no punta

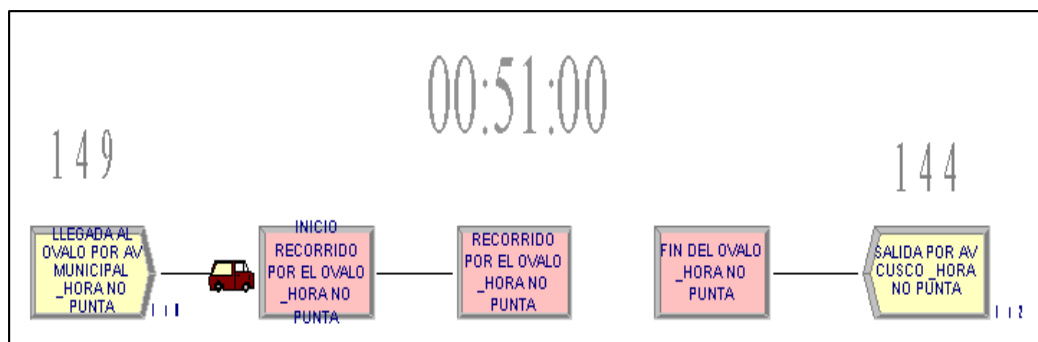


Figura 23. Modelo de simulación del tráfico vehicular del óvalo Cusco en una hora no punta

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la recomendación del autor Azarang & García (1996), se escogió realizar cinco réplicas por cada simulación (p. 87).

5. Cálculo de intervalos de confianza

- **Intervalos de confianza para los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en hora punta**

Se realizaron 5 réplicas preliminares y se analizó el tiempo de recorrido, para ello se elaboró la tabla siguiente.

Tabla 24

Promedio de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora punta

Replicas	Tiempos promedio	$(X_i - \bar{X}_n)^2$
1	17,57	0,002116
2	17,55	0,000676
3	17,54	0,000256
4	17,54	0,000256
5	17,42	0,010816
$\sum_{i=1}^r (X_i - \bar{X})^2 =$		0,01412

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la media de las réplicas, para ello se aplicó la fórmula [4], reemplazando valores y realizando los cálculos se halla el valor de la media.

$$\bar{X} = 17,52 \text{ segundos.}$$

Cálculo de la desviación estándar, para ello se aplicó la fórmula [5], reemplazando valores y realizando los cálculos respectivos se halla el valor de la desviación estándar.

$$S = 0,06 \text{ segundos.}$$

Cálculo de intervalos de confianza, para ello se eligió la fórmula [2], debido a que la variable aleatoria sigue una distribución normal y se considera un nivel de aceptación de 90 %.

$$IC = [17,46; 17,58]$$

La media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en hora punta se tiene un intervalo de confianza [17,46; 17,58] considerando $\bar{X} = 17,52$ segundos, un nivel de aceptación del 90 % y una $S = 0,06$ segundos.

Para el cálculo del número de réplicas aplicamos la fórmula [6] con un error de 0,001, reemplazando valores y efectuando se halla el valor del número de réplicas.

$$N = 45,03 \text{ réplicas.}$$

- **Intervalos de confianza para los tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de la zona de estudio en una hora no punta**

Se realizaron 5 réplicas preliminares y se analizó el tiempo de recorrido, para ello se elaboró la tabla 25.

Tabla 25

Promedio de tiempos de recorrido de los vehículos que siguen la trayectoria de ingreso por la Av. Municipal y salida por la Av. Cusco en una hora no punta

Réplicas	Tiempos promedio	$(X_i - \bar{X}_n)^2$
1	14,06	0,000576
2	14,04	0,000016
3	14,05	0,000196
4	14,05	0,000196
5	13,98	0,003136
$\sum_{i=1}^r (X_i - \bar{X})^2 =$		0,00412

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la media de las réplicas, para ello se aplicó la fórmula [4], reemplazando valores y efectuando los cálculos se halla el valor de la media.

$$\bar{X} = 14,04 \text{ segundos.}$$

Cálculo de la desviación estándar, para ello se aplicó la fórmula [5], reemplazando valores y efectuando cálculos se halla el valor de la desviación estándar.

$S = 0,06$ segundos.

Cálculo de intervalos de confianza, para ello se eligió la fórmula [2], debido a que la variable aleatoria no sigue una distribución normal y se considera un nivel de aceptación de 90 %.

$IC = [13,97; 14,1]$

La media de tiempos de recorrido en el tráfico vehicular del óvalo Cusco en hora no punta se tiene un intervalo de confianza $[13,97; 14,1]$ considerando $\bar{X} = 14,04$ segundos, un nivel de aceptación del 90 % y una $S = 0,06$ segundos.

Para el cálculo del número de réplicas aplicamos la fórmula [6] con un error de 0,001; reemplazando valores y efectuando se halla el valor del número de réplicas.

$N = 70,2$ réplicas.