



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ANÁLISIS OPERACIONAL DEL IMPACTO VIAL GENERADO POR LA
CONSTRUCCIÓN DE UN CARRIL BRT EN LA AV. DE LA CULTURA Y
SU PROLONGACIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO”

Presentado por:

Bach. Arriola Pareja Alberto.

Bach. Huallpa Mamani Michel Tony.

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor

Mgt. Ing. Pérez Montesinos Jean Fernando

CUSCO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

La tesis la dedicamos con mucho amor y cariño.

A Dios

Por darme la vida, dones y una valiosa familia

A mis padres Teófilo Enrique Arriola Concha y María F Pareja Álvarez por darme la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación y estar conmigo en cada momento.

A mi hermana Indira Arriola pareja por brindarme su apoyo incondicional y ayudarme a afrontar los momentos difíciles y los de mayor estrés y encaminarme por el buen sendero.

Mis sinceras gracias a mis hermanos menores, nunca podré terminar de agradecerles por tantas ayudas.

A mis amigos y personas cercanas por su gran ayuda y por estar con nosotros en los momentos felices y tristes.

Sin ustedes a mi lado no lo hubiese logrado.

Alberto Arriola Pareja



A Dios

Por darme la vida, los talentos, dones y una valiosa familia.

Por cuidarme, protegerme y abrirme el camino frente a cada dificultad en todo el transcurso de la Tesis de investigación y por mostrarme las oportunidades de poder servir con mi carrera profesional.

A mis padres: Serapio Huallpa Maina y Leonarda Mamani Zevallos.

Por darme las herramientas necesarias para ser una persona de bien, por el apoyo incondicional durante mi formación profesional, por la confianza y el respaldo en todo el tiempo que duró la Tesis de investigación.

A mis compañeros del trabajo.

Por su compañía, comprensión, paciencia, apoyo, consejos durante el transcurso de la elaboración del proyecto de investigación.

A mis demás familiares y amigos

Por ser de buen ejemplo a seguir, por la disposición que mostraron para apoyarme en todo momento durante el transcurso de la elaboración de la tesis de investigación.

Finalmente, a los docentes, aquellos que marcaron cada etapa de mi formación profesional, que me ayudaron con asesorías y resolvieron mis dudas presentadas en la elaboración de la tesis de investigación.

Michel Tony Huallpa Mamani



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Andina del Cusco por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestro asesor Mgt. Ing. Jean Fernando Pérez Montesinos quien, con su conocimiento, experiencia, paciencia nos ayudó a concluir la tesis.

Con mucho reconocimiento se agradece a todos los docentes de la facultad de ingeniería y arquitectura que nos brindaron su conocimiento, a las instituciones y demás que aportaron para la realización de esta tesis.



RESUMEN

La investigación tiene por nombre: “ANÁLISIS OPERACIONAL DEL IMPACTO VIAL GENERADO POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN CARRIL BRT EN LA AV. DE LA CULTURA Y SU PROLONGACIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO”. Las demoras generadas al transporte público por efecto de la creciente cantidad de vehículos privados no cesan, cada día ingresan a la ciudad del Cusco, vehículos destinados al transporte de pasajeros y carga, y al no existir propuestas de planificación vial se observa que la mayoría de vías urbanas principales y secundarias de la ciudad del Cusco se encuentran afectadas en la calidad de servicio, expresada en niveles de servicio y tiempos de circulación inadecuados. La metodología que contiene la investigación es de: enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, método hipotético-deductivo y diseño experimental.

Se propone la inclusión de un carril BRT (Bus Rapid Transit) para la circulación exclusiva de buses de transporte público en la Av. de la Cultura y su prolongación que comprende desde Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo, para la determinación de las condiciones de tráfico se realizó el aforo vehicular, considerando las horas de mayor demanda, determinación de condiciones geométricas de la vía y determinación de condiciones semaforizadas en cada intersección, con los datos obtenidos se procedió al análisis operacional (capacidad vial, niveles de servicio, demoras) basado en el Highway Capacity Manual (HCM 2010) con el software de simulación Synchro 8.0, software que nos permitió la simulación del corredor vial en estudio es su estado actual, recuperando un carril para el BRT en su estado actual y construyendo un carril BRT adicional para el transporte público.

En conclusión, al realizar una comparación entre el diagnóstico del estado actual de la vía y la propuesta de la reducción de un carril se obtuvieron que los niveles de servicio y la capacidad vial no permite las condiciones operacionales adecuadas, y con la construcción carril BRT exclusivo para el transporte público da como resultado una mayor capacidad vial y un mejor nivel de servicio en todo el corredor vial en estudio.



ABSTRACT

The investigation has the name: “OPERATIONAL ANALYSIS OF THE ROAD IMPACT GENERATED BY THE CONSTRUCTION OF A BRT LANE IN THE AV. OF CULTURE AND ITS PROLONGATION IN THE CITY OF CUSCO”. The delays generated by public transport due to the increasing number of private vehicles do not cease, every day, vehicles destined for the transport of passengers and cargo enter the city of Cusco, and since there are no proposals for road planning it is observed that the majority of Main and secondary urban roads of the city of Cusco are affected in the quality of service, expressed in inadequate service levels and traffic times. The methodology contained in the research is: quantitative approach, descriptive level, hypothetical-deductive method and experimental design.

It is proposed the inclusion of a BRT (Bus Rapid Transit) lane for the exclusive circulation of public transport buses in the Av. De la Cultura and its extension that includes from Huáscar Avenue to the control of San Jerónimo, for the determination of the traffic conditions the vehicle capacity was carried out, considering the hours of greatest demand, determination of geometric conditions of the road and determination of traffic lights conditions at each intersection, with the data obtained an operational analysis was carried out (road capacity, service levels, delays) based on the Highway Capacity Manual (HCM 2010) with the Synchro 8.0 simulation software, software that allowed us to simulate the road corridor studied in its current state, recovering a lane for the BRT in its current state and building a BRT lane Additional for public transport.

In conclusion, when comparing the diagnosis of the current state of the road and the proposal of a lane reduction, it was obtained that service levels and road capacity do not allow adequate operational conditions, and with the exclusive BRT lane construction for public transport it results in greater road capacity and a better level of service throughout the road corridor under study.



INTRODUCCIÓN

Las demoras generadas al transporte público por efecto de la creciente cantidad de taxis y vehículos privados no cesan. Cada día ingresan al Cusco más vehículos destinados al transporte de pasajeros y carga. Es de necesidad máxima antes de la concesión de rutas de transporte urbano que se propone dar a conocer soluciones técnicas para garantizar una movilidad eficiente basada en tiempos de viaje adecuados.

En la ciudad del Cusco no existen propuestas de planificación vial, es por eso que logramos observar, que en casi todas las vías urbanas del Cusco los niveles de servicio y tiempos de circulación son inadecuados gracias al descontrolado crecimiento del parque automotor.

En la presente tesis se analizará la factibilidad de incluir un carril bus en las vías arteriales principales de la ciudad del Cusco, evaluando vías potenciales que puedan contener este impacto generado en el tráfico mixto vehicular. Las potenciales vías a evaluar son vías clasificadas como arteriales en el Plan de Movilidad Cusco y el Plan de Desarrollo Urbano. Estos Parámetros o medidas de efectividad que serán evaluadas en la presente investigación son las demoras, espacio geométrico, indicadores de congestión, etc.

Por ello nuestra investigación está dirigida a obtener valores concretos de medidas de efectividad que sirvan para evaluar el impacto generado por el crecimiento del parque automotor y la posibilidad de la construcción a posteriori de una nueva infraestructura vial.

Una de las formas de mejorar el sistema de transporte público es el de la construcción de una infraestructura segregada a una infraestructura dedicada a mejorar las velocidades comerciales de circulación de los vehículos de transporte público, para ello es necesario buscar espacios dentro de la sección vial y realizar adecuaciones en la distribución del número de carriles y espacios dedicados a las áreas verdes para lograr una optimización de los tiempos de viaje y tratar de minimizar el impacto que tendrían estos en el tráfico mixto.



ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1.1. Ubicación temporal y geográfica del estudio.....	4
1.1.2. Formulación interrogativa del problema.....	6
1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.....	6
1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.....	6
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.2.1. Justificación técnica.....	6
1.2.2. Justificación social.....	7
1.2.3. Justificación por viabilidad.....	7
1.2.4. Justificación por relevancia.....	7
1.3. Limitaciones de la Investigación.....	7
1.4. Objetivo de la investigación.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual.....	9
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....	9
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....	9



2.2.	Aspectos teóricos pertinentes.....	12
2.2.1.	Características de tránsito.....	12
2.2.1.1.	Volumen.....	12
2.2.1.2.	Velocidad.....	12
2.2.2.	Variables relacionadas con el flujo vehicular y la demanda.....	14
2.2.2.1.	Tasa del flujo (q) y volumen (Q).....	14
2.2.2.2.	Intervalo simple (h_i).....	14
2.2.2.3.	Intervalo promedio h	14
2.2.3.	Variables relacionadas con la velocidad (T, 2019).....	15
2.2.4.	Variables relacionadas con la densidad.....	15
2.2.4.1.	Densidad o concentración (K).....	15
2.2.4.2.	Espaciamiento simple (s_i).....	15
2.2.4.3.	Espaciamiento promedio s	15
2.2.5.	Capacidad Vial.....	16
2.2.6.	Niveles de Servicio.....	17
2.2.6.1.	Nivel de servicio A.....	17
2.2.6.2.	Nivel de servicio B.....	17
2.2.6.3.	Nivel de servicio C.....	17
2.2.6.4.	Nivel de servicio D.....	18
2.2.6.5.	Nivel de servicio E.....	18
2.2.6.6.	Nivel de servicio F.....	18
2.2.7.	Cálculo de la capacidad.....	18
2.2.7.1.	Capacidad de intersecciones semaforizadas, según HCM 2010.....	18
2.2.8.	Relación (ratio) Volumen/Capacidad.....	20
2.2.9.	El uso de carriles bus y su relación con el tránsito urbano.....	21
2.2.10.	Sistema BRT (Bus Rapid Transit).....	21
2.2.10.1.	Sistemas abiertos.....	23
2.2.10.2.	Sistemas cerrados.....	24
2.2.10.3.	Sistemas «abiertos» versus sistemas «cerrados».....	24
2.2.10.4.	Servicios tronco-alimentados.....	24
A)	Eficiencia operativa.....	24
B)	Desventajas de los servicio tronco-alimentados.....	25
2.2.10.5.	Servicios directos.....	25



A) Ventajas de los servicios directos 25

B) Desventajas de los servicios directos 26

2.2.11. Distancia entre estaciones 27

2.3. Hipótesis 28

2.3.1. Hipótesis General 28

2.3.2. Sub Hipótesis 28

2.4. Definición de variables 29

2.4.1. Variables Independientes 29

2.4.2. Variables Dependientes 29

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables 30

3. Capítulo III: METODOLOGÍA 31

3.1. Metodología de la investigación 31

3.1.1. Enfoque de la investigación 31

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación. 31

3.1.3. Método de investigación 31

3.2. Diseño de la Investigación: 32

3.2.1. Diseño Metodológico: 32

3.2.2. Diseño de Ingeniería 32

3.3. Población y Muestra 33

3.3.1. Población 33

3.3.1.1. Descripción de la población 33

3.3.1.2. Cuantificación de la población: 33

3.3.2. Muestra 33

3.3.2.1. Descripción de la Muestra 33

3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra 33

3.3.2.3. Método de Muestreo 33

3.3.2.4. Criterios de evaluación de Muestra 33

3.3.3. Criterios de inclusión 33

3.4. Instrumentos 34

3.4.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos. 34

3.4.1.1. Ficha de aforo vehicular 34



3.4.1.2. Ficha de características geométricas 35

3.4.1.3. Ficha de Tiempos de viaje..... 35

3.4.2. Instrumentos de ingeniería..... 36

3.4.2.1. Cámara filmadora: 36

3.4.2.2. Autocad Civil 3D 36

3.4.2.3. Software Synchro 8 educacional: 37

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos 37

3.5.1. Aforo vehicular..... 37

3.5.1.1. Recolección de volúmenes vehiculares..... 37

a) Equipos utilizados para la prueba..... 37

b) Procedimiento 38

c) Toma de datos..... 43

3.5.1.2. Clasificación del sentido vehiculares 46

3.5.2. Recolección de las características geométricas de la vía..... 47

3.6. Procedimientos de análisis de datos 58

3.6.1. Aforo vehicular..... 58

3.6.2. Secciones transversales..... 61

3.6.3. Cálculo de tiempos 64

a) Procesamiento..... 64

b) Tablas de análisis de tiempos 64

CAPÍTULO IV: RESULTADOS 66

CAPÍTULO V: Discusión 101

Glosario 103

Conclusiones..... 105

Recomendaciones 107

Referencias 109

ANEXOS 113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Encuesta de calidad de servicio.....	1
Tabla 2: Volumen de usuarios que ingresan al centro histórico cusco.....	2
Tabla 3: Número de vehículos que ingresan en el parque automotor cusqueño	3
Tabla 4: Porcentaje de participación	3
Tabla 5. Ubicación en coordenadas de las calles de estudio.	5
Tabla 6. Factores de corrección para el cálculo de la intensidad de saturación	20
Tabla 7. Comparación entre servicios tronco-alimentados y servicios directos.....	27
Tabla 8. Cuadro de operacionalización de variables	30
Tabla 9. Fichas de aforo vehicular.....	34
Tabla 10. Ficha de características geométricas de la vía.....	35
Tabla 11. Ficha de tiempos de viaje	35
Tabla 12. Ficha de recolección de datos geométricos	47
Tabla 13. Datos geométricos de la sección del colegio de ingenieros e-o	61
Tabla 14. Datos geométricos de la sección del colegio de ingenieros o-e	61
Tabla 15. Tiempo promedio	64
Tabla 16. Datos para el cálculo de tiempo total de un solo carril	65
Tabla 17. Demoras de estado actual – tráfico mixto, sin carril BRT.	66
Tabla 18. Niveles de Servicio del estado actual – tráfico mixto, sin carril BRT.	67
Tabla 19. Volumen /Capacidad de estado actual – tráfico mixto, sin carril BRT.....	68
Tabla 20. Demoras con BRT en sección existente:	69
Tabla 21. Niveles de servicio con BRT en sección existente.....	70
Tabla 22. Volumen/capacidad con BRT en sección existente.....	71
Tabla 23. Demoras con carril BRT adicional.	72
Tabla 24. Niveles de servicio con carril BRT adicional.....	73
Tabla 25. Volumen/capacidad con carril BRT adicional	74
Tabla 26. Escenario 01 - Estado actual – Tráfico mixto, sin carril BRT.....	75
Tabla 27. Escenario 02 – con BRT en sección existente.....	76
Tabla 28. Escenario 03 – con carril BRT adicional - propuesta.....	77
Tabla 29. Cuadro comparativo: Escenario 1 vs Escenario 2	78
Tabla 30. Cuadro comparativo: Escenario 1 vs Escenario 3	79
Tabla 31. Velocidad promedio con y sin la presencia de carril BRT	80



Tabla 32. Tiempo promedio obtenido en el transporte público-tráfico mixto.....	100
Tabla 33. Tiempo obtenido en un carril independiente	100
Tabla 34. Cuadro de rutas en la Av. de la cultura y su prolongación.....	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corredor Vial: Av. Arcopunco, Av. de la Cultura, Prolongación.....	4
Figura 2. Localización y Macro Localización	5
Figura 3. Sistema BRT (Bus Rapid Tránsito)	22
Figura 4. Dimensiones de un carril BRT.....	23
Figura 5. Comparación ente servicios tronco-alimentados y los servicios directos.....	26
Figura 6. Estación de sistema BRT (Bus Rapid Transit).....	28
Figura 7. Diseño de ingeniería.....	32
Figura 8: Cámara y filmadora.....	36
Figura 9. Civil 3D educacional.....	36
Figura 10. Synchro 8 educacional	37
Figura 11. Toma de datos en Av. de la Cultura - Callejón retiro	38
Figura 12. Conteo vehicular Av. de la Cultura – Av. Universitaria	39
Figura 13. Conteo vehicular en Marcavalle	39
Figura 14. Conteo vehicular en el primer paradero de san Sebastián.....	40
Figura 15. Conteo vehicular en el séptimo paradero de san Sebastián	40
Figura 16. Conteo vehicular en la intersección del paradero puente.....	41
Figura 17. Conteo vehicular en la universidad andina del cusco	41
Figura 18. Conteo vehicular en san jerónimo circunvalación norte	42
Figura 19. Conteo vehicular en san jerónimo circunvalación norte	42
Figura 20. UAC oeste – este.....	43
Figura 21. UAC oeste – este2.....	43
Figura 22. UAC este – oeste.....	44
Figura 23. UAC este - oeste 2.....	44
Figura 24. UAC norte – sur	45
Figura 25. UAC norte a sur 2	45
Figura 26. Flujo en diversos sentidos de una intersección	46



Figura 27. Toma de un punto en el centro de la via arcopunco..... 48

Figura 28. Levantamiento topográfico en callejón retiro 48

Figura 29. Levantamiento topográfico en mariscal gamarra..... 49

Figura 30. Levantamiento topográfico en el ovalo Garcilaso 49

Figura 31. Levantamiento topográfico en la avenida universitaria 50

Figura 32. Levantamiento topográfico en vector Raúl haya de la torre 50

Figura 33. Levantamiento topográfico en el cuarto paradero de san Sebastián 51

Figura 34. Levantamiento topográfico en Enaco..... 51

Figura 35. Levantamiento topográfico en el séptimo paradero 52

Figura 36. Levantamiento topográfico en el paradero puente 52

Figura 37. Levantamiento topográfico en el colegio de ingenieros 53

Figura 38. Levantamiento topográfico en la universidad andina del cusco 53

Figura 39. Levantamiento topográfico en la intersección circunvalación norte..... 54

Figura 40. Dimensionamiento de acera en Av. Arcopunco..... 54

Figura 41. Dimensionamiento en mariscal gamarra..... 55

Figura 42. Seccionamiento de la via..... 55

Figura 43. Modelamiento en AutoCAD de las secciones transversales 56

Figura 44. Imagen de la longitud de ruta en el Google eart 57

Figura 45. Longitud total..... 57

Figura 46. Composición del tráfico en av. La universidad andina del cusco 58

Figura 47. Aforos en intersección de la universidad andina del cusco..... 59

Figura 48. Modelamiento con demoras en la intersección Av. La cultura y la Ca. 5..... 60

Figura 49. Imagen Google earth intersección UAC 60

Figura 50. Sección 15 Av. De la cultura (colegio de ingenieros del Perú) 62

Figura 51. Propuesta Av. De la cultura (colegio de ingenieros del Perú)..... 63

Figura 52. Longitud total..... 65

Figura 53. Comparación de las secciones transversales en (Limacpampa)..... 81

Figura 54. Comparación de las secciones transversales en (Huáscar) 82

Figura 55. Comparación de las secciones transversales en (Calle Puputi)..... 83

Figura 56. Comparación de las secciones transversales en (Ovalo Garcilaso) 84

Figura 57. Comparación de las secciones transversales en (C. Tupac Amaru)..... 85

Figura 58. Comparación de las secciones en (Av. Mariscal Gamarra) 86

Figura 59. Comparación de las secciones en (Paradero Servicentro)..... 87



Figura 60. Comparación de las secciones (Víctor Raúl Haya de la Torre) 88

Figura 61. Propuesta de paradero (Manuel Prado) 89

Figura 62. Comparación de las secciones transversales en (Av. Santa Ursula) 90

Figura 63. Comparación de las secciones transversales en (Av. Camino Real)..... 91

Figura 64. Comparación de las secciones transversales en (Jr. Tarapaca) 92

Figura 65. Comparación de las secciones transversales en (Calle Bolivar) 93

Figura 66. Propuesta de paradero (Paradero Camionero)..... 94

Figura 67. Comparación de las secciones transversales en (Av. Las Flores)..... 95

Figura 68. Comparación en el (Colegio de Ingenieros del Peru) 96

Figura 69. Propuesta de paradero (San Martin)..... 97

Figura 70. Propuesta de paradero (Av. Ciro Alegria)..... 98

Figura 71. Comparación de las secciones en (Circunvalación Norte)..... 99

Figura 72. Aforos en intersección Av. de la Cultura - Callejón retiro 113

Figura 73. Aforos en intersección Av. de la Cultura - Av. Mariscal Gamarra..... 114

Figura 74. Aforos en intersección Av. de la Cultura - Av. Universitaria..... 115

Figura 75. Aforos en intersección Av. de la Cultura – Av. Víctor Raúl Haya de la Torre 116

Figura 76. Aforos en intersección Av. del Cultura - Av. Diagonal Angamos..... 117

Figura 77. Aforos en intersección Av. de la Cultura - Av. José Cosio. 118

Figura 78. Aforos en intersección Av. de la Cultura – Av. Perú..... 119

Figura 79. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Perú..... 120

Figura 80. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura - Calle Bolívar..... 121

Figura 81. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tomas Tuyro Tupac 122

Figura 82. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura - Calle San José..... 123

Figura 83. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Prol. Av. Cusco..... 124

Figura 84. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Inglaterra..... 125

Figura 85. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Alemania Federal..... 126

Figura 86. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura - Calle Tomas Katari..... 127

Figura 87. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Mariano Tupac Amaru. 128

Figura 88. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. (UAC – Cusco). 129

Figura 89. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – altura C.C. Maestro..... 130

Figura 90. Aforos en intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Ciro Alegría. 131

Figura 91. Aforos en intersección Prol Av. de la Cultura – Circunvalación Norte..... 132

Figura 92. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura con Callejón Retiro.
..... 133



Figura 93. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura - Av. Mariscal Gamarra 134

Figura 94. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura - Av. Universitaria.135

Figura 95. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura con Av. Víctor Raúl Haya de la Torre. 136

Figura 96. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura - Av. Diagonal Angamos..... 137

Figura 97. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura – Av. José Cosío... 138

Figura 98. Composición del tráfico – Intersección Av. de la Cultura - Av. Perú. 139

Figura 99: Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Jr. Tarapacá 140

Figura 100. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Calle Bolívar 141

Figura 101. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tomas Tuyro Tupac. 142

Figura 102. Composición del tráfico Prol. Av. de la Cultura - Calle San José 143

Figura 103. Composición del tráfico – Prol. Av. de la Cultura – Prol. Av. Cusco. 144

Figura 104. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Inglaterra. 145

Figura 105. Composición del tráfico – Prol. Av. de la Cultura – Av. Alemania Federal. 146

Figura 106. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Calle Tomas Katari. 147

Figura 107. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Mariano Tupac Amaru. 148

Figura 108. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. 5 (UAC – Cusco)..... 149

Figura 109. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cutura – Altura CC. Maestro. 150

Figura 110. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura – Av. Ciro Alegría. 151

Figura 111. Composición del tráfico – Intersección Prol. Av. de la Cultura – Circunvalación Norte..... 152

Figura 112. Sección 1 - Av. Arcopunco (Limacpampa)..... 153

Figura 113. Sección 2 - Av. Arcopunco (Av. Huáscar) 154



Figura 114. Sección 3 - Av. de la Cultura (Av. Huáscar) 155

Figura 115. Sección 4 - Av. de la Cultura (Calle Puputi)..... 156

Figura 116. Sección 5 - Ovalo Garcilaso..... 157

Figura 117. Sección 6 - Av. de la Cultura (Calle Tupac Amaru)..... 158

Figura 118. Sección 7 - Av. de la Cultura (Av. Mariscal Gamarra)..... 159

Figura 119. Sección 8 - Av. de la Cultura (Paradero Servicentro)..... 160

Figura 120. Sección 9 - Av. de la Cultura (Av. Víctor Raúl Haya de la Torre)..... 161

Figura 121. Sección 10 - Av. de la Cultura (Av. Santa Úrsula) 162

Figura 122. Sección 11 – Prol. Av. de la Cultura (Av. Camino Real) 163

Figura 123. Sección 12 – Prol. Av. de la Cultura (Jr. Tarapacá)..... 164

Figura 124. Sección 13 – Prol. Av. de la Cultura (Calle Bolívar)..... 165

Figura 125. Sección14 – Prol. Av. de la Cultura (Av. Las Flores) 166

Figura 126. Sección 15 – Prol. Av. de la Cultura (Colegio de Ingenieros del Perú)..... 167

Figura 127. Sección 16 – Prol. Av. de la Cultura (Circunvalación Norte)..... 168

Figura 128. Sección 17 – Prol. Av. de la Cultura (Comisaria PNP San Jerónimo) 169

Figura 129. Propuesta de sección Av. Arcopunco (Limacpampa) 170

Figura 130. Propuesta de sección Av. Arcopunco (Av. Huascar)..... 171

Figura 131. Propuesta Av. de la Cultura (Av. Huascar)..... 172

Figura 132. Propuesta Av. de la Cultura (Calle Puputi)..... 173

Figura 133. Propuesta Ovalo Garcilaso 174

Figura 134. Propuesta Av. de la cultura (Calle Tupac Amaru)..... 175

Figura 135. Propuesta Av. de la Cultura (Av. Mariscal Gamarra)..... 176

Figura 136. Propuesta Av. de la Cultura (Paradero Servicentro) 177

Figura 137. Propuesta Av. de la Cultura (Paradero UNSAAC) 178

Figura 138. Propuesta Av. de la Cultura (Paradero Manuel Prado) 179

Figura 139. Propuesta Av. de la Cultura (Av. Santa Ursula) 180

Figura 140. Propuesta Av. de la Cultura (Av. Camino Real)..... 181

Figura 141. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Jr. Tarapacá)..... 182

Figura 142, Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (4To Paradero san Sebastián) 183

Figura 143. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Paradero Camionero) 184

Figura 144. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Av. Las Flores)..... 185

Figura 145. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Colegio de Ing. del Perú) 186

Figura 146. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Paradero San Martin) 187

Figura 147Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Paradero Qqenccoro)..... 188



Figura 148. Propuesta Prolongación Av. de la Cultura (Circunvalación Norte)..... 189

Figura 149. Encuesta Domiciliaria 190

Figura 150. Diagnóstico de sistema de rutas de transporte público en la ciudad del cusco
..... 192

Figura 151: Intersección Av. de la Cultura - Av. Huáscar 203

Figura 152: Intersección Av. de la Cultura - Av. Tacna, Ca. Puputi y Av. Garcilaso 203

Figura 153: Intersección Av. de la Cultura - Av. Mariscal Gamarra 204

Figura 154: Intersección Av. de la Cultura - Av. Universitaria 204

Figura 155: Intersección Av. de la Cultura - Av. Víctor Raúl Haya de la Torre 205

Figura 156: Intersección Av. de la Cultura - Av. Diagonal, Ca. Machupicchu y Ca.
Sacsayhuamán 205

Figura 157: Intersección Av. de la Cultura - Jr. Ricardo palma, Ca. Gordon Magne 206

Figura 158: Intersección Av. de la cultura - Av. Perú..... 206

Figura 159: Intersección Av. de la Cultura - Urb. Santa Úrsula 207

Figura 160: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tarapacá..... 207

Figura 161: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. Bolívar 208

Figura 162: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tomas Tuyrotupac 208

Figura 163: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. San José 209

Figura 164: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Prol. Av. Cusco 209

Figura 165: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Inglaterra 210

Figura 166: Prol. Av. de la Cultura - Av. Alemania Federal..... 210

Figura 167: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Las Flores..... 211

Figura 168: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Mariano Tupac Amaru 211

Figura 169: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. 5..... 212

Figura 170: Intersección Prol. Av. de la Cultura - CC. Maestro 212

Figura 171: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Ciro Alegría 213

Figura 172: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Circunvalación Norte..... 213

Figura 173: Intersección Av. de la Cultura - Av. Huáscar 214

Figura 174: Intersección Av. de la Cultura - Av. Tacna, Ca. Puputi y Av. Garcilaso 214

Figura 175: Intersección Av. de la Cultura - Av. Mariscal Gamarra 215

Figura 176: Intersección Av. de la Cultura - Av. Universitaria 215

Figura 177: Intersección Av. de la Cultura - Av. Víctor Raúl Haya de la Torre 216



Figura 178: Intersección Av. de la Cultura - Av. Diagonal Angamos, Ca. Machupicchu y Ca. Sacsayhuamán	216
Figura 179: Intersección Av. de la Cultura - Jr. Ricardo palma, Ca. Gordon Magno.....	217
Figura 180: Intersección Av. de la Cultura - Av. Perú.....	217
Figura 181: Intersección Av. de la Cultura - Urb. Santa Úrsula.	218
Figura 182: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Jr. Tarapacá.....	218
Figura 183: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. Bolívar.....	219
Figura 184: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tomas Tuyrotupac.....	219
Figura 185: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. San José.....	220
Figura 186: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Prol. Av. Cusco.....	220
Figura 187: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Inglaterra.....	221
Figura 188: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Alemania Federal.....	221
Figura 189: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Las Flores.....	222
Figura 190: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Mariano Tupac Amaru.....	222
Figura 191: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. 5.....	223
Figura 192: Intersección Prol. Av. de la Cultura - CC. Maestro.....	223
Figura 193: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Ciro Alegría.....	224
Figura 194: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Circunvalación Norte.....	224
Figura 195: Intersección Av. de la Cultura - Av. Huáscar.....	225
Figura 196: Intersección Av. de la Cultura - Av. Tacna, Ca. Puputi y Av. Garcilaso.....	225
Figura 197: Intersección Av. de la Cultura - Av. Mariscal Gamarra.....	226
Figura 198: Intersección Av. de la Cultura - Av. Universitaria.....	226
Figura 199: Intersección Av. de la Cultura - Av. Víctor Raúl Haya de la Torre.....	227
Figura 200: Intersección Av. de la Cultura - Av. Diagonal Angamos, Ca. Machupicchu y Ca. Sacsayhuamán.....	227
Figura 201: Intersección Av. de la Cultura - Jr. Ricardo palma, Ca. Gordon Magno.....	228
Figura 202: Intersección Av. de la Cultura - Av. Perú.....	228
Figura 203: Intersección Av. de la Cultura - Urb. Santa Úrsula.....	229
Figura 204: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Jr. Tarapacá.....	229
Figura 205: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. Bolívar.....	230
Figura 206: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Tomas Tuyrotupac.....	230
Figura 207: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Ca. San José.....	231
Figura 208: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Prol. Av. Cusco.....	231
Figura 209: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Inglaterra.....	232



Figura 210: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Alemania Federal..... 232

Figura 211: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. las Flores. 233

Figura 212: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Mariano Tupac Amaru..... 233

Figura 213: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. 5..... 234

Figura 214: Intersección Prol. Av. de la Cultura - CC. Maestro. 234

Figura 215: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Av. Ciro Alegría 235

Figura 216: Intersección Prol. Av. de la Cultura - Circunvalación Norte..... 235



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

En la actualidad los tiempos de viajes para el transporte urbano son altos, dando promedios de velocidad por debajo de 15 kph en su recorrido. Estos valores demuestran que la calidad del transporte público actual no es óptimo y menos eficiente.

“La calidad del transporte público en la ciudad del Cusco fue considerada como regular, puesto que el 59% de la población, califico como regular el servicio que se brinda en nuestra ciudad; por otro lado el 38% de la población afirma que este servicio es malo, mientras que solo el 3% indica que el servicio es bueno” (Gamarra Santisteban & Delgado Ccompí, 2014, pág. 125)

Tabla 1: Encuesta de calidad de servicio.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	MALO	144	38%	37.5	37.5
	BUENO	12	3%	3.1	40.6
	REGULAR	228	59%	59.4	100.0
	Total	384	100.0	100.0	

Fuente: (Gamarra Santisteban & Delgado Ccompí, 2014)

En la actualidad el servicio de transporte público urbano se ha visto incrementado debido al crecimiento de la población puesto que Actualmente se registra un parque automotor de 70 mil unidades vehiculares en la Ciudad del Cusco que prestan servicio de transporte urbano, interurbano, turístico, servicio de taxi y de carga, de las cuales 1,168 unidades prestan servicio de transporte público urbano las cuales están debidamente registradas con un total de 41 empresas de transporte. Este incremento del parque automotor a su vez genera un caos vehicular en horas punta, principalmente en el centro histórico que comprende el cruce de avenida el sol con Ayacucho y avenida Garcilaso, pampa del castillo, Maruri, Limacpampa, primera etapa de la avenida de la cultura, Huáscar, puente rosario, todo esto genera malestar

tanto a usuarios como a conductores, así como a transeúntes. Actualmente en el servicio de transporte público urbano de pasajeros en la ciudad del Cusco las rutas son radiales cubren de la parte Nor-Oriental a Nor-Occidental en un 90%. (Gamarra Santisteban & Delgado Ccompi, 2014, pág. 2)

“El taxi es un transporte ineficiente, que es un problema de fondo, pues ocupa mucho espacio para mover a pocas personas. Y precisamente el espacio vial es muy escaso en el CHC, con casi nulas posibilidades de ampliarse. La comparación de la tipología vehicular del taxi que puede transportar de 1 a 4 personas, la demanda por espacio vial aumentaría entre 30% y 50% aproximadamente, a diferencia de la camioneta rural se puede transportar de 1 a 12 personas, la demanda por espacio vial es aproximadamente un 40% más de capacidad vial, y un vehículo de mayor capacidad es el Microbús que puede transportar 1 a 23 pasajeros, la demanda de espacio vial es de 50% al igual que un taxi. Por el contrario, de moverse todos en microbús, el CHC estaría menos congestionado que en el presente; la demanda por capacidad vial se reduciría en un 60%. Por cada 10 vehículos en el centro de la ciudad 7 son taxis lo que hace que el centro histórico se congestione. En definitiva, dicho de otra forma, mientras mayor sea el transporte en taxis, más congestionada estará la ciudad, por lo que esta forma de movilización debe frenarse e incluso reducirse.” (transporte, 2012, pág. 70)

Tabla 2: Volumen de usuarios que ingresan al centro histórico cusco

Modo de Transporte	Periodo mañana			Periodo al medio día			Periodo tarde		
	Ingreso	Egreso	Total	Ingreso	Egreso	Total	Ingreso	Egreso	Total
Auto	785	591	1.356	506	591	1.097	720	655	1.375
Taxi ocupado	3.147	1.717	4.864	1.687	2.179	3.866	2.521	2.329	4.85
Taxi desocupado	1.209	2.393	3.602	1.731	933	2.664	1.605	1.351	2.956
Bicicleta	16	11	26	9	9	18	25	22	47
Otro/ Otro vehiculo menor	149	90	239	63	87	150	121	85	206
Camioneta rural urbana	1.544	1.557	3.101	1.197	1.352	2.549	1.281	1.367	2.648
Omnibus Urbano	437	431	868	335	361	696	384	376	761
Camioneta rural turismo	132	195	327	69	65	134	138	95	233
Omnibus turismo	132	101	233	122	91	213	114	73	186
Otro vehiculo mayor	141	125	266	74	71	144	102	93	195
Total	7.671	7.209	14.881	5.793	5.738	11.53	7.012	6.445	13.457

Fuente: plan regulador de transporte público urbano de pasajeros 2012

En la ciudad del Cusco existen 41 empresas de transporte público, las que se organizan en 41 rutas y utilizan tres tipos de vehículos; las camionetas rurales (de baja capacidad), los microbuses (de mediana capacidad) y los ómnibus (de alta capacidad). La Municipalidad por

medio de la Gerencia de Tránsito regula estos servicios a través de concesiones, autorizaciones y autorizaciones especiales, renovadas todos los años. En el año 2008 la composición de la oferta vehicular de transporte público estaba compuesto del 78% por camionetas rurales y el 28% por unidades de tipo microbús, (transporte, 2012, pág. 79)

Tabla 3: Número de vehículos que ingresan en el parque automotor cusqueño

MODALIDAD DE AUTORIZACIÓN	EMPRESAS DE TRANSPORTE	CANTIDAD DE UNIDADES VEHICULARES		
		MICROBUS OMNIBUS	CAMIONETA RURAL	TOTAL
A TRAVES DE CONSECIÓN	13	217	15	232
AUTORIZACIÓN	2	23		18
AUTORIZACIÓN ESPECIAL	29	66	829	895
TOTAL	44	28%	72%	1170

Fuente: plan regulador de transporte público urbano de pasajeros 2012

Sin embargo, si hacemos el análisis de la oferta vehicular sin considerar este excedente del mercado, se puede apreciar que del 100% del parque automotor que tiene la Ciudad del Cusco se ha renovado más de 35% con unidades nuevas de mayor capacidad; según los siguientes cuadro el 61% corresponde a las camionetas rurales (M2) y el 39% corresponde a las unidades de tipo microbús y ómnibus (M3), se estima que para el proceso de Licitación de Rutas el parque automotor según los modos, estén equilibrados. (transporte, 2012, pág. 79)

Tabla 4: Porcentaje de participación

TIPO DE REGULACION	EMPRESAS	MICROBÚS	CAMIONETA RURAL	TOTAL VEHÍCULOS
Concesión	30%	75%	25%	20%
Autorización	5%	31%	69%	2%
Autorización Excepcional	66%	11%	89%	78%
TOTAL	100%	39%	61%	100%

Fuente: plan regulador de transporte público urbano de pasajeros 2012

Para revertir la situación actual es necesario priorizar la inclusión de un sistema de transporte público con prioridad ante los demás modos. Visto desde ese enfoque es de necesidad construir modelos matemáticos para evaluar y demostrar su aplicabilidad en la realidad y generar las necesidades en términos de infraestructura vial y sistemas complementarios que mejoraran la calidad del transporte.

La tenencia vehicular se incrementa cada día y los usuarios del transporte público que son aproximadamente más del 30% de los habitantes del Cusco están experimentando cada día mayores pérdidas económicas por el tiempo perdido mientras se transportan. El estrés generado por la congestión y demoras también merma en la salud de los ciudadanos cusqueños.

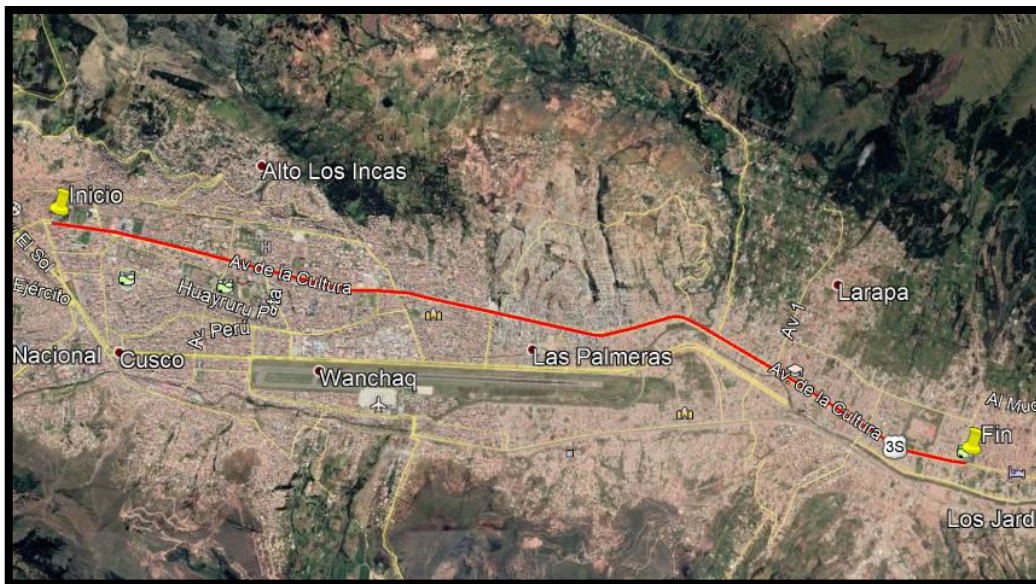


Figura 1. Corredor Vial: Av. Arcopunco, Av. de la Cultura, Prolongación

Fuente: Google Earth

1.1.1.1. Ubicación temporal y geográfica del estudio.

La presente investigación estuvo conformada por las avenidas: Av. de la Cultura y Prolongación Av. de la Cultura.

Tabla 5. Ubicación en coordenadas de las calles de estudio.

Departamento	Cusco	Provincia	Cusco
Distrito	Cusco, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.	Zona	19L
Ubicación	Av. de la Cultura – Prolongación Av. de la Cultura		
Coordenadas UTM	Inicio: Este: 19L-178140.75 m E Norte: 8503436.93 m S	Final: Este: 19L-187289.92 m E Norte: 8500580.62 m S	

Fuente: Elaboración Propia

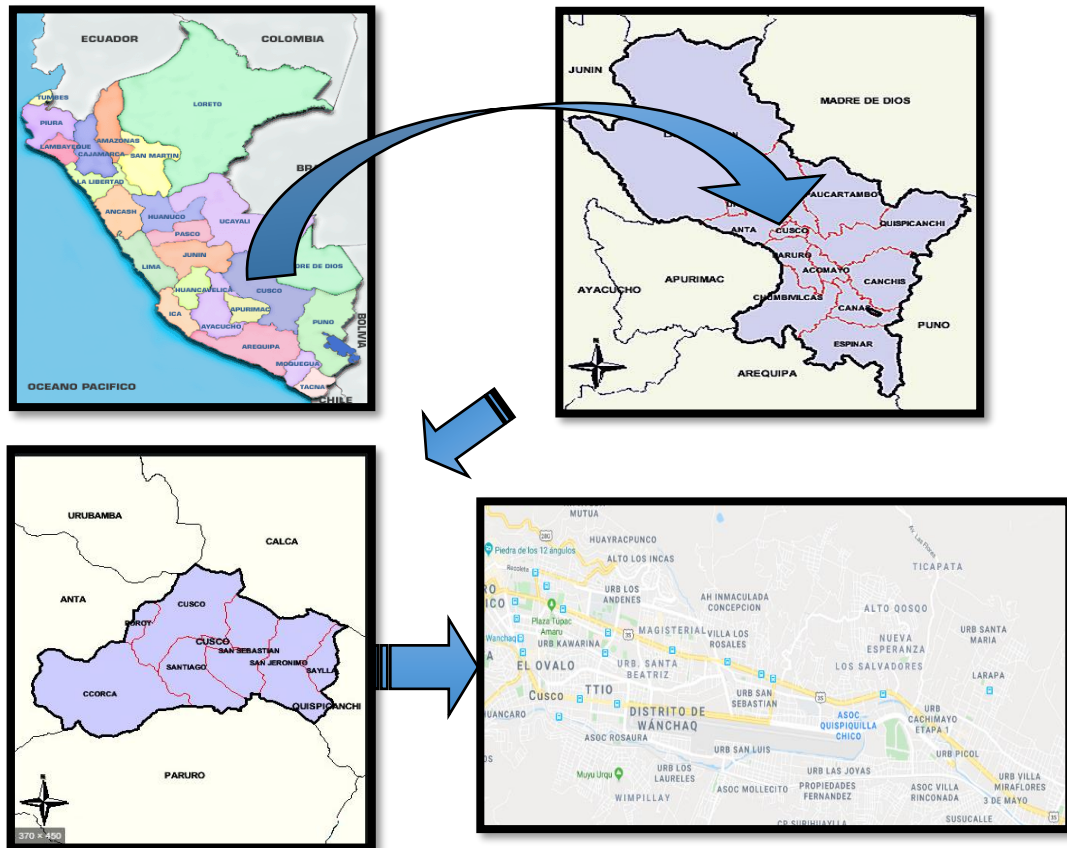


Figura 2. Localización y Macro Localización

Fuente: Elaboración Propia.



1.1.2. Formulación interrogativa del problema.

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.

¿Cuál es el impacto vial a nivel operacional que generará la construcción de un carril exclusivo BRT en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

Problema específico N° 1: ¿Cuál será la variación de tiempo de viaje con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación de la ciudad del Cusco?

Problema específico N° 2: ¿Cuál será la variación de la capacidad vial con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco?

Problema específico N° 3: ¿Cuál será la variación de velocidad con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco?

Problema específico N° 4: ¿Cuál será el nivel de servicio del transporte público con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco?

Problema específico N° 5: ¿Cuál es el porcentaje de mejora en los tiempos de viajes para el nuevo sistema de transporte con carril bus?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica.

Aplicando la metodología que nos ofrece el manual de capacidad vial HCM 2010, las aportaciones técnicas de esta investigación serán:

- Determinación de la capacidad vial y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas en estudio y comparación con el nivel de servicio y capacidad de la infraestructura vial propuesta.
- Determinación del diseño de la infraestructura vial más eficiente para que los usuarios ahorren en tiempo de viaje.

- Hallazgo de las repuestas, direcciones y lineamiento que promuevan y encaminen a soluciones y diseño de nuevos proyectos.

1.2.2. Justificación social.

El pasajero que se moviliza por esta avenida no se encuentra completamente beneficiado y satisfecho, necesita reducir sus tiempos de viaje para llegar a su destino, reducir el índice de accidentes que se generan en dichas vías y disminuir el estrés provocado por la congestión que se presenta en horas y días críticos. Es decir que las vías puedan brindarle un mejor servicio de transporte público.

1.2.3. Justificación por viabilidad.

La presente investigación es factible porque contamos con los siguientes datos:

- Se tiene acceso a la zona de investigación.
- La metodología del HCM 2010 y software SYNCHRO 8.0 están al alcance y disposición de cualquier operario.
- Contamos con el financiamiento requerido para realizar la investigación eficientemente.

1.2.4. Justificación por relevancia.

El tema de investigación es de gran importancia ya que las intersecciones a estudiar son de las más circuladas en la ciudad del Cusco, y en la que se presentan ciertos problemas de circulación. Por esta razón que al conocer el nivel de servicio y la capacidad vial propondremos respuestas, direcciones y lineamientos que promuevan y encaminen a la solución y diseño de nuevos proyectos.

1.3. Limitaciones de la Investigación.

- ✓ La tesis se limita un análisis operacional (nivel de servicio, tiempo de demora y grado de saturación) bajo dos condiciones la primera es el estado situacional actual y la segunda el modelo propuesto de carril segregado.
- ✓ Se tienen limitaciones geométricas con respecto a la sección vial existente en la Av. de la cultura y en la prolongación de la Av. de la cultura.
- ✓ La tesis se limita al uso de la metodología de capacidad vial del manual norteamericano HCM 2010 la cual está recomendada por el manual de diseño geométrico peruano DG-2018, como una metodología afectada por las normas peruanas y cuya práctica se da en todo el continente americano y en Europa.
- ✓ La tesis se limita al método de muestreo que es no probabilístico, también llamadas muestras dirigidas las cuales suponen un procedimiento de selección informal y poco arbitrario.



1.4. Objetivo de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar el impacto vial a nivel operacional que se generará por la construcción de un carril exclusivo BRT en la Av. de la Cultura y su prolongación en la Ciudad del Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico N° 1: Determinar la variación de tiempo de viaje con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Objetivo específico N° 2: Determinar la variación de la capacidad vial con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Objetivo específico N° 3: Determinar la variación de la velocidad con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Objetivo específico N° 4: Determinar el nivel de servicio del transporte público con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Objetivo específico N° 5: Determinar el porcentaje de mejora en los tiempos de viajes para el nuevo sistema de transporte con carril bus.



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.

a. Autor: Ing. Gonzalo A. Ramírez Vélez

Título: “Análisis para la determinación del nivel de servicio y demora en intersecciones viales semaforizadas”.

Universidad Nacional de Ingeniería.

Fecha: Lima, 2004

a1.- RESUMEN:

El presente trabajo desea proporcionar una herramienta para el análisis y determinación del nivel de servicio y demora en una intersección semaforizada, aplicable a las condiciones de tráfico urbano en nuestro país.

El procedimiento que se presenta en este trabajo hace referencia a la capacidad, nivel de servicio de las aproximaciones que conforman las intersecciones, y el nivel de servicio de la intersección como un todo. La capacidad es evaluada en términos de la relación de la tasa de flujo de demanda (volumen) y la capacidad, es decir la relación v/c , mientras que el nivel de servicio es evaluado basándose en el promedio de demora por vehículo (segundos por vehículo).

a2.- APORTE: Uso de la metodología del HCM 2010, para las intersecciones viales semaforizadas, el cual consisten en el cálculo de demoras control por efecto de flujo vehicular, configuración geométrica y parámetro semaforicos como fases y tiempo en verde los cuales limitan la capacidad de las vías que conectan a una intersección

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

a.- Autor: Marcos Martín Ibarra Chimbo y José Marcelo Piña Valverde.

Título: “Propuesta de la Mejora del Transporte Público Urbano para la ciudad de Azogues con las perspectivas hacia: La seguridad Vehicular, contaminación ambiental y gestión”.

Universidad Politécnica Salesiana.

Fecha: Ecuador, Cuenca, 2011.

a1.- RESUMEN:

En el presente estudio se detalla el proceso del uso de políticas locales/provinciales para la gestión del tránsito. Entre ella el uso de carriles exclusivos para el transporte urbano en horas



punta, rutas alternativas y modificación de existentes, mejoramiento de los sistemas de señalización y semaforización, programas de control y aplicación de normas y ordenanzas para la mejorar del sistema de transporte público.

La tesis evalúa metodologías para combatir la contaminación ambiental mediante la implementación de dispositivos anticontaminación, mitigación del ruido en la zona céntrica de la ciudad, evaluación de alternativas actuales.

Como parte de su aspecto justificatorio, analiza la demanda del transporte público en la ciudad de Azogues, y hace una comparación de costo/beneficio.

a2.- APORTE: Consiste en la inclusión de carriles exclusivos en segmentos viales, diseñados para un tráfico mixto inicialmente, además de la interacción con sistemas semafóricos y sistemas de control para el correcto funcionamiento del transporte público de este segmento exclusivo.

b. Autor: Sara Ahetze Puignau Arrigain.

Título: “Análisis de la implantación de una red exprés de autobuses con carril Bus –VAO. Caso de entrada a Barcelona desde el Baix Llobregat”.

Universidad Politécnica de Catalunya.

Fecha: Santander, 2014.

b1.- RESUMEN:

Los autobuses exprés están siendo una solución acertada en distintas ciudades europeas para cubrir la movilidad ocupacional interurbana. En el caso de Cataluña, han sido en la actualidad tema de controversia la necesidad y el funcionamiento de este tipo de redes y los carriles de priorización que las conforman para que realmente descongestionen las vías perjudicadas y nuevos usuarios opten por cambiar a este modo de transporte. Es por ello que, tomando la perspectiva del usuario y su principal motivo de elección de modo, el tiempo de viaje, se ha querido contribuir a caracterizar, con este estudio concreto sobre el corredor del Baix Llobregat a Barcelona, en qué medida mejoran los tiempos de recorrido los autobuses exprés y sus alimentadores, los distintos tipos de carriles y la priorización de los distintos modos, parámetro definitorio considerado relevante y subestimado en este tipo de actuaciones.

Los autobuses exprés o los BRT (Bus Rapid Transit), por lo tanto, están siendo una solución acertada en distintas ciudades europeas para cubrir la movilidad ocupacional que es posible prevenir en cierta magnitud. Este sistema conlleva la confianza de los usuarios, al basarse



principalmente, entre otros aspectos de comodidad, en mejorar el tiempo de recorrido y su fiabilidad en horarios, motivo de elección de modo de transporte de un 40% de la población según un estudio de la Fundación Reial Automóvil Club de Catalunya.

Para ello, la segregación del autobús es una medida indispensable para aumentar la velocidad comercial del autobús, con carriles de diseños adaptados al contexto y priorización completa en la red, como es el caso de Nantes por ejemplo, en el que el carril está separado de un modo sencillo y con priorización semafórica en los cruces.

Con la actuación óptima inferida, los tiempos de viaje en autobús quedan reducidos más de 5 minutos para todos los municipios de estudio, con incluso disminuciones de media hora para algunos de ellos. Las diferencias de tiempo de recorrido entre coche y autobús se atenúan y el coche percibe cambios muy leves de tiempos de recorrido. El vehículo de alta ocupación (VAO) tendría mejoras despreciables de 5 minutos en tiempos de viaje en los mejores casos al beneficiarse del carril Bus-VAO.

b2.- APORTE: Introduce el concepto del Bus Rápido de Transporte (BRT), siendo esta una segregación de la circulación del autobús como medida indispensable para mejorar el sistema comercial del sistema de transporte público. Se fundamenta su aplicación en ciudades cuyo porcentaje de población que usa el transporte público es igual al cusco alrededor de un 40%.

c. Autor: Joao Miguel Gomes - Rodrigues Valente Neves.

Título: “The impact of bus lanes on Urban Traffic Environment”.

Universidade do Porto.

Fecha: Porto, 2006.

c1.- RESUMEN:

En el presente estudio se evalúa los impactos generados por la implementación de un corredor bus o carril bus en las condiciones operacionales de otros modos de transporte.

Propone una metodología para la evaluación de los impactos generados por los cambios en la infraestructura vial por la presencia de carriles bus, estableciendo una sistematización de los parámetros operacionales a evaluar.

Analiza dos escenarios, antes y después de la implementación, mediante el uso de los programas computacionales SATURN y DRACULA. De esta manera reafirmando la necesidad del uso de modelos matemáticos y herramientas de modelamiento para el cálculo del impacto generado en el contexto del tráfico urbano.

El documento analiza las potenciales mejoras en las condiciones operacionales mediante la implementación de medidas de prioridad para buses definidas en el Manual de Capacidad y Calidad del Transporte Público. El objetivo principal es mejorar el rendimiento operacional del sistema de buses (tiempos de viajes, velocidad de viaje y confiabilidad).

c2. APORTE: Presenta en el análisis operacional del sistema de buses, basado en tiempo de viaje o velocidad, sienta estas características, que miden el impacto generado por la modificación de estructura vía, incluyendo la presencia de un carril bus.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes.

2.2.1. Características de tránsito

Se tiene tres factores que son necesarios para describir el tránsito en cualquier vía:

- a) Volumen o razón de flujo
- b) Velocidad y
- c) Densidad.

El HCM 2010, divide el tránsito en dos, a) el flujo ininterrumpido y b) el flujo interrumpido. Para este análisis, se usará como base el flujo interrumpido, ya que el estudio según el manual para este tipo de flujo es sólo en las intersecciones más no en los segmentos, mientras que en el flujo ininterrumpido es usado para el tránsito en carreteras, autopistas donde se estudiara los segmentos. (Highway Capacity Manual, 2010)

2.2.1.1.Volumen

El volumen de tránsito es definido como la cantidad de vehículos que pasan en un punto determinado durante un intervalo de tiempo. La unidad para el volumen es simplemente “vehículos” o “vehículos por unidad de tiempo”. (CAL Y MAYOR & ASOCIADOS, 1998).

2.2.1.2.Velocidad

La velocidad se considera como una razón de movimiento, en distancia de recorrido por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2010 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, (CAL Y MAYOR & ASOCIADOS, 1998).

a. Velocidad promedio de rodaje

Es aquella medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje de los vehículos pasando por una sección de la carretera en una longitud conocida. Calculada dividiendo la longitud del segmento entre el tiempo promedio de rodaje de los vehículos pasando por dicho



segmento. El tiempo de rodaje es medido únicamente cuando los vehículos están en movimiento. (CAL Y MAYO & ASOCIADOS, 1998).

b. Velocidad promedio de viaje

Es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de una carretera. Esto es la longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demora por paradas. (CAL Y MAYOR & ASOCIADOS, 1998).

c. Velocidad media espacial

Es considerada como la velocidad promedio de todos los vehículos, ocupando una sección dada de la carretera sobre un período específico de tiempo. (CAL Y AMYOR & ASOCIADOS, 1998).

d. Velocidad media temporal

Es la velocidad promedio de todos los vehículos, pasando por un punto de la carretera o segmento sobre un período específico de tiempo.

e. Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre es la velocidad promedio de los vehículos en una carretera dada, medida bajo condiciones de un volumen bajo, cuando los conductores tienen a conducir a una velocidad alta sin restricciones de demora. (CAL Y MAYOR & ASOCIADOS, 1998).

f. Velocidad percentil

Es la velocidad por debajo de la cual un porcentaje de vehículos viajan en una dirección del tránsito. Así, una velocidad del 85 percentil significa que el 85% de los vehículos en el tránsito viajan a cierta velocidad o por debajo de ella. La velocidad del 85 percentil es usada como una medida de la máxima velocidad razonable para el tránsito. (CAL Y MAYOR & ASOCIADOS, 1998).

2.2.2. Variables relacionadas con el flujo vehicular y la demanda.

Las variables relacionadas con el flujo son la tasa de flujo, el volumen el intervalo simple entre vehículos consecutivos y el intervalo promedio entre varios vehículos.

2.2.2.1. Tasa del flujo (q) y volumen (Q).

La tasa de flujo q es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. La tasa de flujo es pues el número de vehículos N que pasan durante un intervalo de tiempo T a una hora, expresada en veh/min. No obstante, la tasa de flujo q también puede ser expresada en veh/hora, teniendo cuidado con su interpretación, pues no se trata del número de vehículos que efectivamente pasan durante una hora completa o volumen horario q.

La tasa de flujo se calcula entonces con la siguiente expresión: (NAVARRO, 2019).

$$q = \frac{N}{T}$$

2.2.2.2. Intervalo simple (hi)

Es el intervalo de tiempo entre el paso de los vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos. (NAVARRO, 2019)

2.2.2.3. Intervalo promedio \bar{h}

Es el promedio de todos los intervalos simples hi existente entre diversos vehículos que simulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículo y se calcula mediante la siguiente expresión: (NAVARRO, 2019)

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^{N-1} hi / N - 1$$

Donde:

h : Intervalo promedio (s/veh)

N : Numero de vehículos (veh)

N-1 : Numero de intervalos (veh)

hi : Intervalo simple entre el vehículo i y el vehículo i +1

Las unidades de intervalo promedio \bar{h} (s/veh) son las unidades inversas de la tasa de flujo q (veh/s), por lo que se plantea la siguiente ecuación.

$$\bar{h} = \frac{1}{q}$$

2.2.3. Variables relacionadas con la velocidad (T, 2019)

Las variables del flujo vehicular relacionadas con la velocidad son la velocidad de punto, la velocidad instantánea, la velocidad de marcha temporal, la velocidad media espacial, la velocidad de recorrido. (NAVARRO, 2019)

2.2.4. Variables relacionadas con la densidad

Las variables de flujo vehicular relacionadas con la densidad son la densidad o concentración, el espaciamiento simple entre vehículos consecutivos y el espaciamiento promedio entre varios vehículos. (NAVARRO, 2019)

2.2.4.1. Densidad o concentración (K)

Es el número N de vehículos que ocupan una longitud específica a , de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh / km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada, se calcula como: (NAVARRO, 2019)

$$K = \frac{N}{a}$$

2.2.4.2. Espaciamiento simple (si)

La distancia entre el paso de dos vehículos consecutivos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras. (T, 2019)

2.2.4.3. Espaciamiento promedio \bar{s}

Es el espaciamiento de todos los espaciamientos simples s_i existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad, por tratarse de un promedio se expresa en metros por vehículo (m/ veh) y se calcula , mediante al siguiente expresión : (Teoría de Flujo Vehicular, 2019)

$$\bar{s} = \sum_{i=1}^{N-1} s_i / N - 1$$

Donde:

S : espaciamiento promedio (m/veh)

N : número de vehículos (veh)

$N-1$: número de espaciamientos (veh)

S_i : Espaciamiento simple entre el vehículo i y el vehículo $i+1$

Las unidades del espaciamiento promedio \bar{s} (m/veh) son las unidades inversas de la densidad K (veh/m) por lo que también se puede plantearse la siguiente relación:

$$\bar{s} = \frac{1}{K}$$

(Cardenas, 2007)

2.2.5. Capacidad Vial

Se define como capacidad de una infraestructura de transporte al “flujo máximo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito”. De la definición anterior se infieren las siguientes consideraciones:

La capacidad puede expresarse en términos de vehículos o en términos de personas.

La capacidad se refiere a un punto o sección uniforme de la infraestructura; por tanto segmentos o puntos con diferentes características tendrán diferentes capacidades.

La capacidad se refiere a una tasa de flujo vehicular o personas durante un período de tiempo que muy a menudo es el periodo de 15 minutos pico. La capacidad no se refiere al máximo volumen al que puede darse servicio durante una hora. Esta definición contempla la posibilidad de variaciones significativas del flujo dentro de una hora.

La capacidad se define sobre la base de una “esperanza razonable”. No es la máxima tasa de flujo absoluta jamás observada en el tipo de infraestructura analizada. Debe tenerse en cuenta que se consideran condiciones promedio, y que las características de los conductores, los vehículos y ambientales, puede diferir de una región a otra. (capacidad y niveles de servicio, 2019)

2.2.6. Niveles de Servicio

SEGÚN: (Highway Capacity manual, 2010)

El HCM 2010 ha creado una medida cualitativa para definir los diferentes tipos o capacidades de servicio que tiene una vía a los cuales se denomina niveles de servicio (LOS).

El HCM denomina a los niveles de servicio como “una medida de calidad que describe las condiciones de funcionamiento dentro de un flujo de tráfico, por lo general en términos de medidas de servicio tales como la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, la comodidad y conveniencia.

Según el HCM especifica que hay 6 diferentes niveles de servicio a los cuales los designa con las letras A hasta la F, siendo el nivel “A” el que presta mejores condiciones de funcionamiento y la “F” el de peor.

En el libro de ingeniería de carreteras volumen I de Carlos Kraemer se describe cada uno de los de los niveles de servicio los cuales se presenta a continuación.

2.2.6.1. Nivel de servicio A

La velocidad de los vehículos es prácticamente igual a la que libremente elegirían sus conductores si no se vieran obligados a modificarla a causa de otros vehículos. Cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarlo con facilidad sin sufrir ninguna demora. Este nivel corresponde a unas condiciones de circulación libre.

2.2.6.2. Nivel de servicio B

La velocidad de los vehículos, especialmente la de los más rápidos, se ve influenciada por otros vehículos, y puede verse demorados durante ciertos intervalos por otros más lentos, pero no llegan a formarse colas. Este nivel corresponde a unas condiciones de circulación estable. (Kramer, 2003)

2.2.6.3. Nivel de servicio C

La mayor parte de los conductores deberán ajustar su velocidad teniendo en cuenta la de los vehículos que les preceden, porque las posibilidades de adelantamiento son reducidas y se forman grupos de vehículos que circulan a la misma velocidad. La circulación sigue siendo estable, porque las perturbaciones debidas a los cambios de velocidad se suelen disipar sin llegar a producir una detención total. (Kramer, 2003)

2.2.6.4. Nivel de servicio D

Todos los vehículos deben regular su velocidad teniendo en cuenta la marca de los vehículos precedentes. La velocidad media se reduce y se forman largas caravanas, ya que resulta difícil adelantar a otros vehículos. La circulación se aproxima a la inestabilidad, y cualquier incremento en la intensidad del tráfico puede dar lugar a la detención de la circulación. (Kramer, 2003)

2.2.6.5. Nivel de servicio E

La velocidad media de todos los vehículos es prácticamente igual, y se forman largas caravanas con separaciones muy pequeñas entre vehículos, ya que es imposible rebasar. Son frecuentes las detenciones bruscas debidas a cualquier tipo de accidente. La intensidad alcanza la capacidad de la carretera. (Kramer, 2003)

2.2.6.6. Nivel de servicio F

Corresponde a congestión, se ira formando una cola de vehículos que avanzaran muy lentamente. La velocidad media es muy baja e incluso en ocasiones nula. La situación resulta completamente impecable. (Kramer, 2003)

2.2.7. Cálculo de la capacidad

En este capítulo se dedica un primer apartado a describir muy brevemente el cálculo de la capacidad que propone el Highway Capacity Manual (Manual de Capacidad Vial norteamericano) para las intersecciones semaforizadas, para pasar posteriormente a describir los procesos utilizados en esta tesina para llegar a determinar la capacidad de un tramo a partir de la relación fundamental del tráfico y las intensidades reales registradas. (Highway Capacity Manual, 2010)

2.2.7.1. Capacidad de intersecciones semaforizadas, según HCM 2010.

SEGÚN: (Highway Capacity Manual, 2010)

El método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado es el expuesto en el HCM preparado en estados unidos por el Transportation Research Board. Este método está basado en estudios realizados en este país desde 1935 y ha sido objeto de cinco ediciones, la última en el año 2000. Aunque algunos países han desarrollado métodos de cálculo de la capacidad con técnicas diferentes, en otros muchos, se ha empleado el manual americano con las modificaciones que la experiencia ha ido aconsejando para su adaptación a las circunstancias locales.



El Highway Capacity Manual, en su versión del año 2010, define los siguientes

Conceptos:

V: Duración de la fase verde (se permite el paso de vehículos) [seg]

R: Duración de la fase roja (no se permite el paso de vehículos) [seg]

T: Ciclo del semáforo = V + R [seg]

Mientras el semáforo esté en su fase de verde podrá pasar por el acceso un número máximo de vehículos hora, que constituye lo que se denomina intensidad de saturación.

Multiplicando esta intensidad de saturación por la relación entre la duración de la fase de verde y la del ciclo se obtiene el máximo número de vehículos que pueden pasar en una hora (capacidad).

$$C = S * \frac{V}{T}$$

Siendo:

C: Capacidad (vehículos/hora)

S: Intensidad de saturación (vehículos/hora)

V: Duración de la fase de verde (segundos)

T: Duración del ciclo (segundos)

Si en un tramo existen carriles reservados para determinados movimientos, como giros a la izquierda o a la derecha, se estudian separadamente de los demás carriles del acceso. Se forman así dentro de un mismo tramo varios grupos de carriles que se analizan separadamente. El procedimiento para el cálculo de la intensidad de saturación para cada grupo es el siguiente:

$$S = 1900 N f_a f_{vp} f_i f_e f_b f_z f_{gd} f_{gi}$$

siendo:

S: Intensidad de saturación (vehículos/hora)

N: Número de carriles

f_a , f_{vp} , f_i , f_e , f_b , f_z , f_{gd} , f_{gi} : Factores de corrección

Tabla 6. Factores de corrección para el cálculo de la intensidad de saturación

Factores de corrección			
f	Corrección por	Fórmula	Variable
f_a	Anchura del carril	$(5,4+A)/9$	A : anchura del carril (m)
f_{vp}	Vehículos pesados	$100/(100+P)$	P : Porcentaje de pesados (%)
f_i	Inclinación de la rasante	$1-I/100$	I : Inclinación de la rasante
f_e	Estacionamiento	$1-(0,1+M/20)N$	M : Movimientos de estacionamiento en una hora
f_b	Paradas autobús	$1-B/(250N)$	B : Autobuses que paran por hora
f_z	Situación	$(0,9-1)$	En centro urbano 0,9, en otras zonas 1
f_{gd}	Giros a la derecha	$1 - 0,15P$	P : Proporción de vehículos que giran a la derecha
f_{gi}	Giros a la izquierda	$1/(1+0,05P)$	P : Proporción de vehículos que giran a la izquierda

Fuente: HCM 2010

A pesar que no se disponen de los datos necesarios para la validación del modelo, es cierto que se encuentran a faltar parámetros como la presencia o no de carril bus o la consideración de las paradas en doble fila. (Highway Capacity Manual, 2010)

2.2.8. Relación (ratio) Volumen/Capacidad

Es conocida también como índice o ratio de saturación o congestión, nos indica el grado o porcentaje de uso de la capacidad calculada para las condiciones locales de cada llegada o pierna. Siendo el valor mayor el representativo de toda la intersección.



2.2.9. El uso de carriles bus y su relación con el tránsito urbano.

Los carriles exclusivos para bus se vuelto parte de los sistemas multimodales sostenibles avanzados, en muchas ciudades alrededor del mundo y son considerados soluciones efectivas para combatir la congestión en zonas urbanas.

Adicionalmente, los carriles buses son alcances efectivos para mitigar la congestión urbana y reducir emisiones, como resultado en menor espacio vial por persona y mayor tasa de ocupación por vehículo generando más eficiencia en la red vial.

La calidad del servicio de bus en términos de tiempo de viaje, demoras, y velocidad promedio son bien tratadas con este sistema. En la práctica, los carriles bus han sido implementados a varias ciudades para reducir los tiempos de viajes y mejorar la confiabilidad del sistema y la accesibilidad.

Sin embargo, un carril destinado al sistema de bus puede crear mayor congestión en carriles adyacentes para otros vehículos, particularmente en horas punta.

2.2.10. Sistema BRT (Bus Rapid Transit)

El Sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) es un sistema de alta calidad basado en buses que proporcionan movilidad urbana rápida, cómoda y de relación favorable costo beneficio a través de la provisión de infraestructura de carriles segregados, operación rápida y frecuente y excelencia en mercadeo y servicio al cliente.

Debido a que BRT contiene características similares a un sistema de tren ligero o metro, es mucho más confiable, conveniente y más rápido que los servicios regulares de autobús. Con las características correctas, BRT puede evitar las causas de la demora que generalmente ralentizan los servicios regulares de autobuses, como quedarse atrapado en el tráfico y hacer colas para pagar a bordo. (What is BRT, 2019)



Figura 3. Sistema BRT (Bus Rapid Tránsito)

Fuente: Guía de planificación de sistema BRT, 2010

a) Dimensiones de un carril tipo BRT:

- Ancho de carril BRT (Bus Rapid Transit) en la estación 3 m y en el corredor 3.5 m.
- Ancho de la estación 3 m.
- Ancho de carril para el tráfico mixto 3 – 3.5 m.
- Ancho de ciclovía 2.5 m.
- Ancho de acera 2-4 m.

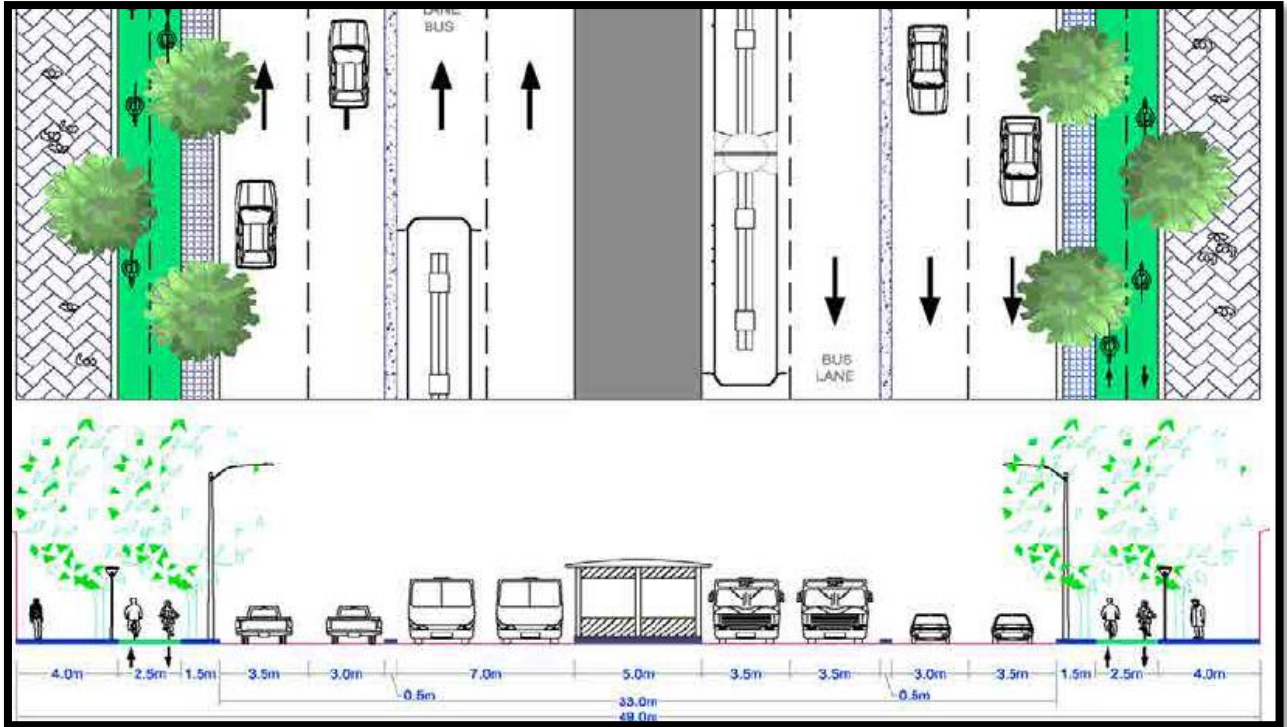


Figura 4. Dimensiones de un carril BRT

Fuente: Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010.

2.2.10.1. Sistemas abiertos

los sistemas que han implementado corredores sin ninguna reforma del sector transportador, o sin exclusividad, son conocidos como sistemas «abiertos». En estos casos, cualquier operador que antes ofrecía servicios de transporte público continúa con el derecho de seguirlo proveyendo en el nuevo corredor. En un sistema «abierto», los operadores continúan utilizando las mismas rutas que tradicionalmente tenían. Así, los operadores tienden a utilizar la infraestructura de corredores cuando coincide con sus rutas anteriormente definidas y seguirán operando en las secciones de sus rutas existentes, que no tienen infraestructura diseñada para autobuses.

Los sistemas «abiertos» tienden a ser diseñados principalmente alrededor de las necesidades de los operadores existentes y no necesariamente de las mejores condiciones para los usuarios. Estos sistemas «abiertos» tienen la ventaja de no requerir cambios fundamentales en la estructura regulatoria de los servicios de transporte existentes. (: Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010)

2.2.10.2. Sistemas cerrados

Los sistemas que limitan el acceso a determinados operadores se denominan sistemas «cerrados». Por lo general, este acceso se obtiene mediante un proceso de selección competitivo. En estos casos las compañías privadas compiten por el derecho a proveer servicios de transporte público, a través de un proceso competitivo. El número de empresas operadoras y de vehículos utilizados será, en su gran mayoría, producto de la optimización de las condiciones de servicio. Este sistema sólo permite que los corredores sean utilizados por vehículos con altas especificaciones

En general, la estructura «cerrada» conduce a tener operaciones más eficientes. Dado que el número de operadores y de vehículos está racional y cuidadosamente seleccionado y controlado, un sistema «cerrado» tiende a estar diseñado para obtener las mejores condiciones para el movimiento de los usuarios. Además, una estructura «cerrada» implica que la estructura competitiva provee incentivos a los operadores para mantener la calidad del servicio. (Bell, 2010)

2.2.10.3. Sistemas «abiertos» versus sistemas «cerrados»

Un «sistema cerrado» implica que el acceso al corredor esté limitado a un grupo prescrito de operadores y un número restringido de vehículos. En contraste, un «sistema abierto» generalmente permite que cualquier operador existente utilice el carril de buses. Hasta la fecha, la mayoría de los sistemas tipo abierto han tenido una calidad inferior que la de sistemas cerrados y han tendido a tener problemas de congestión del carril, particularmente en las estaciones y las intersecciones. (Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010)

2.2.10.4. Servicios tronco-alimentados

Los servicios tronco-alimentados utilizan vehículos más pequeños para las áreas residenciales, con el propósito de proveer acceso a las terminales o las estaciones de transbordo donde los usuarios se cambian hacia vehículos de líneas troncales de mayor capacidad. Por lo general, los servicios de alimentación operan en carriles de tráfico mixto, mientras que los vehículos de servicio troncal operan en corredores exclusivos. (Bell, 2010)

A) Eficiencia operativa

La ventaja más importante de los servicios tronco-alimentados es su capacidad de suplir efectivamente la demanda, de acuerdo con sus características específicas en cada área. Los

servicios tronco-alimentados pueden incrementar el número de pasajeros por vehículo. (Bell, 2010)

B) Desventajas de los servicio tronco-alimentados

Pérdida de tiempo debido a los transbordos de vehículos. La desventaja más notoria del servicio tronco alimentados es que requieren que algunos pasajeros se cambien de vehículo, en uno o más momentos de su viaje. El proceso de transbordo puede ser una carga no deseada para los pasajeros, dado que quita tiempo y crea ciertas incomodidades. Para un usuario con equipaje, o que lleva consigo un niño pequeño, un transbordo puede hacer que el viaje sea difícil. En algunos casos, la persona elegirá utilizar otro modo de transporte si el proceso de transbordo es muy difícil. A los usuarios, particularmente, les desagrada cambiarse de vehículo si están viajando distancias relativamente cortas. En estos casos, el tiempo perdido en los transbordos puede ser igual o mayor que el tiempo requerido para viajar hasta el destino final. (Bell, 2010)

2.2.10.5. Servicios directos

Los «servicios directos» transportan a un pasajero directamente de un área residencial a un corredor principal. Los vehículos de BRT pueden utilizar una porción del corredor exclusivo sólo en una sección de la ruta. Por lo general, los vehículos operan en corredores exclusivos en áreas centrales, donde la demanda es mayor. Para otras secciones de la ruta, los vehículos regularmente operan en carriles de tráfico mixto. (Bell, 2010)

A) Ventajas de los servicios directos

Ahorro de tiempo La principal ventaja de los servicios directos es que una menor cantidad de pasajeros requerirán transbordos entre las rutas. El mismo vehículo transporta al pasajero del área residencial al corredor troncal. Algunos pasajeros seguirán necesitando hacer transbordos si se desplazan hacia un corredor troncal diferente, pero, por lo general, se requieren menos transbordos. Los servicios directos pueden ahorrar tiempo de desplazamiento de dos maneras: 1) Reducción de tiempos de espera en las estaciones de transbordo; y 2) Aumento de rutas directas a un destino. Si los servicios directos proveen rutas más cortas y más directas, también es probable que reduzcan algunos costos operativos debido al menor uso de combustible. (Bell, 2010)

B) Desventajas de los servicios directos

La desventaja principal de los servicios directos es que un mismo vehículo grande debe ser usado en toda la ruta del autobús, aunque la demanda de pasajeros cambie notoriamente a lo largo del trayecto. El operador debe escoger el tamaño del vehículo que resulta apropiado para una porción del recorrido, pero no para su totalidad. Los vehículos que se utilizan en los servicios directos son por lo general más pequeños que los autobuses troncales articulados, pero más grandes que los alimentadores. La limitante del tamaño puede implicar que algunos vehículos no estén óptimamente diseñados para ninguna locación. Como resultado, en los carriles troncales es probable que exista un mayor número de vehículos operando con capacidades más bajas de lo que sería óptimo. (Bell, 2010)

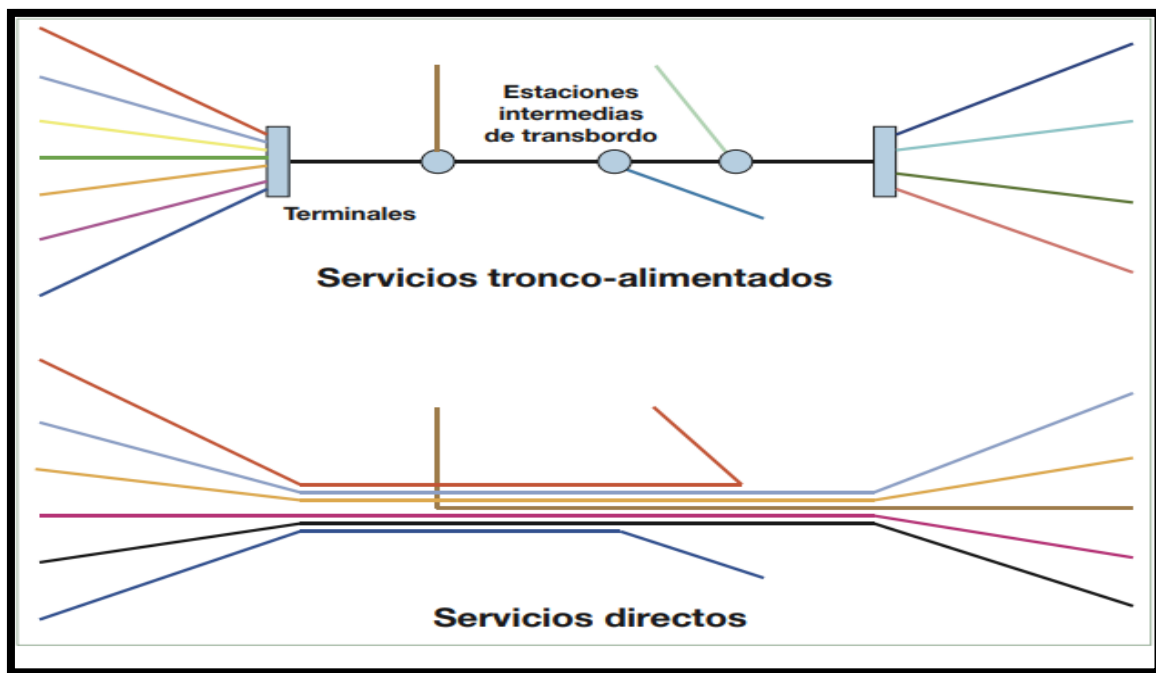


Figura 5. Comparación entre servicios tronco-alimentados y los servicios directos.

Fuente: Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010

Tabla 7. Comparación entre servicios tronco-alimentados y servicios directos

Factor	Servicios tronco-alimentados en un sistema cerrado	Servicios directos en un sistema abierto	Servicios directos en un sistema cerrado
Tiempo de viaje	Pérdida de tiempo debido a la necesidad de hacer transbordos, pero se maximiza la velocidad y la capacidad a lo largo del corredor exclusivo.	Se ahorra tiempo al evitar los transbordos, pero la congestión de vehículos a lo largo del corredor incrementará el tiempo de viaje.	Permite que las autoridades del BRT controlen la congestión del corredor, mientras que se ahorra tiempo al tener que hacer menos transbordos.
Eficiencia operativa	La oferta está bien cubierta por la demanda. Produce una alta eficiencia incluso cuando existen diferencias importantes en la densidad de población entre los corredores y las áreas residenciales.	La relación entre las áreas de alta demanda y las de baja demanda pueden reducir la eficiencia general del sistema. No obstante, habrá beneficios si la distancia de la ruta es corta.	La relación entre las áreas de alta demanda y las de baja demanda pueden reducir la eficiencia general del sistema. No obstante, habrá beneficios si la distancia de la ruta es corta.
Infra-estructura	Requiere de la construcción de terminales y de instalaciones intermedias de transbordo.	Se evita el costo de las terminales pero puede requerir de estaciones más costosas.	Se evita el costo de las terminales.
Tipos de vehículos	Por lo general, en las rutas troncales se restringe a vehículos grandes. En las rutas alimentadoras por lo general se utilizan autobuses de tamaño estándar o más pequeños.	Por lo general hay muy poca estandarización de los vehículos. Éstos pueden requerir de puertas en ambos lados del autobús.	Las autoridades de BRT pueden estandarizar los vehículos. Éstos deben ser capaces de operar dentro y fuera de los corredores. Por tanto, pueden requerir de puertas a ambos lados del autobús.
Capacidad	Los altos flujos de pasajeros pueden manejarse eficientemente con un servicio tronco-alimentado.	La congestión de vehículos y el pago de la tarifa a bordo del autobús limitan la capacidad del sistema.	Dado que el tamaño de los vehículos es menor, la capacidad también será más reducida que la de los sistemas tronco-alimentados.
Imagen del sistema/ amigabilidad al usuario	Una estructura de rutas similar a la de un sistema de metro lo hace más amigable a los consumidores.	La falta de mapas de rutas y la oferta de una gran cantidad de rutas pueden crear confusión entre los consumidores.	Potencialmente puede ser más complejo que un sistema tronco-alimentado, pero más organizado que un sistema abierto.

Fuente: Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010

2.2.11. Distancia entre estaciones

La distancia entre estaciones también afectará la velocidad y capacidad del sistema de BRT. Si las estaciones están muy separadas entre sí, tal como ocurre en un sistema de Metro, se pueden alcanzar velocidades y capacidades altas. De hecho, los Metros separan sus estaciones a un kilómetro o más, para poder obtener ventajas en términos de velocidad y capacidad.

Dado que los sistemas de BRT teóricamente proveen un servicio rápido que compite con el del metro, sus estaciones tienden a ubicarse más distanciadas entre sí en comparación con las paradas tradicionales de buses corrientes. No obstante, las distancias también deben balancear los tiempos de los desplazamientos a pie y las velocidades de los vehículos. Por lo general, las

distancias de aproximadamente 500 metros entre estaciones tienden a ser el estándar actual para los corredores de BRT. Sin embargo, las estaciones se pueden ubicar entre 300 y 1000 metros, dependiendo de las circunstancias locales.



Figura 6. Estación de sistema BRT (Bus Rapid Transit)

Fuente: Guía de Planificación de Sistemas BRT, 2010

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Si es factible incluir un carril BRT para mitigar efectos de tráfico del transporte público desde el control de San Jerónimo hasta la Av. Huáscar en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

2.3.2. Sub Hipótesis

Sub Hipótesis N° 1: El BRT puede lograr un ahorro de tiempo mayor a 15 minutos al recorrer la ruta desde el control de San Jerónimo hasta la Av. Huáscar en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.



Sub Hipótesis N° 2: La variación de la capacidad vial con y sin la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco, disminuye en un 10%.

Sub Hipótesis N° 3: La velocidad de desplazamiento incrementa en un 15% con la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Sub Hipótesis N° 4: El nivel de servicio del transporte público se optimiza con la presencia del BRT en el tramo comprendido desde la Av. Huáscar hasta el control de San Jerónimo en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco.

Sub Hipótesis N° 5: La diferencia de las demoras generadas para el transporte público en la Av. de la Cultura y su prolongación en la ciudad del Cusco donde se planteará el carril BRT son mayores al 15%.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables Independientes

Niveles de servicio

Capacidad vial

Indicadores

Velocidad comercial.

2.4.2. Variables Dependientes

Velocidad de circulación

Indicadores

Tiempo de demora

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 8. Cuadro de operacionalización de variables

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES				
VARIABLE	DESCRIPCION DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE DEPENDIENTE				
X ₁ : Mejora de la velocidad de circulación comercial	Velocidad promedio desde el inicio al final de la ruta.	Sin propuesta	Velocidad de circulación	Modelo de trafico
		Con propuesta	Velocidad de circulación	Modelo de trafico
VARIABLE INDEPENDIENTE				
Y ₁ : Capacidad vial	Máximo flujo posible en un carril bus de transporte,	Sin propuesta	Número de Vehículos	HCM2010 SYNCHRO
		Con propuesta		
Y ₂ : Nivel de servicio	Medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular.	Sin propuesta	Tiempo de demoras	HCM 2010 SYNCHRO
		Con propuesta		

Fuente: Elaboración propia

Capítulo III: METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo.

El enfoque cuantitativo: usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento (Hernández, Fernández, & Batista, 2003).

El proceso cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "brincar o eludir" pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. (Hernández, Fernández, & Batista, 2003).

Los datos que se obtienen en la presente investigación son netamente numéricos, producto de mediciones. Estos datos procesados posteriormente para validar o rechazar las hipótesis formuladas.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.

El nivel de investigación es Descriptivo: Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de cualquier fenómeno que sea sometido a análisis.

Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno que sea sometido a análisis miden o evalúan aspectos. Dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona la serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así, y valga la redundancia, describir lo que se investiga. (Hernández, Fernández, & Batista, 2003).

El nivel de la investigación es descriptivo; porque busca especificar las características geométricas, de tráfico y niveles de servicio vehicular.

3.1.3. Método de investigación.

El método de investigación es hipotético deductivo

Método Hipotético Deductivo: Consiste en hacer observaciones manipulativas y análisis, a partir de las cuales se formulan hipótesis que serán comprobadas mediante experimentos controlados. El método hipotético-deductivo es un proceso iterativo, es decir, que se repite

constantemente, durante el cual se examinan hipótesis a la luz de los datos que van arrojando cada una de las mediciones. (Pascual, Dolores, & García, 1996)

La presente investigación se realizó mediante el método hipotético deductivo ya que se observó los fenómenos estudiados en las avenidas seleccionadas y se crearon hipótesis, las cuales fueron verificadas y comprobadas en el transcurso de la investigación.

3.2. Diseño de la Investigación:

3.2.1. Diseño Metodológico:

El diseño de la investigación fue de tipo experimental debido a que incluye la manipulación de los valores de las variables y se observa el fenómeno bajo condiciones supuestas.

3.2.2. Diseño de Ingeniería

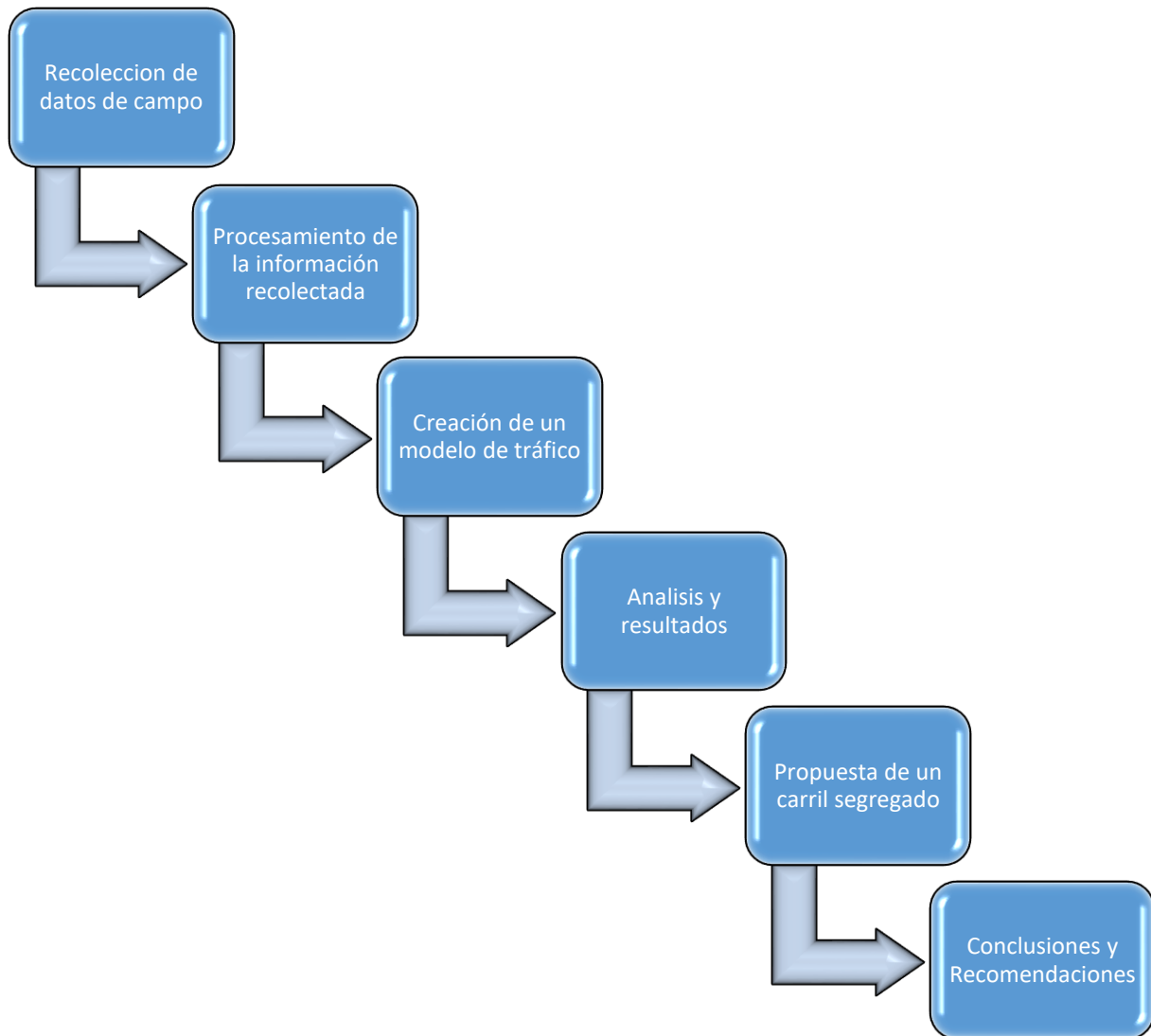


Figura 7. Diseño de ingeniería

Fuente: Elaboración propia

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población de estudio está compuesta por las avenidas: Intersecciones de la Av. de la cultura y Prolongación de la Av. de la Cultura de la ciudad del Cusco.

3.3.1.2. Cuantificación de la población:

La población está compuesta por todas las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la Muestra

La muestra de estudio está compuesta por las avenidas: Las principales intersecciones semaforizadas y no semaforizadas de la Av. de la Cultura y la prolongación de la Av. de la Cultura.

3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra

La población consta de todas las intersecciones con control semafórico de la Av. de la Cultura y prolongación de la av. de la cultura.

3.3.2.3. Método de Muestreo

El método de muestreo de la presente investigación es no probabilístico, ya que según (Hernández, 2000) “Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección informal y poco arbitrario. Aun así, se utilizan en muchas investigaciones y a partir de ella se hacen las inferencias sobre la población”. Esto nos indica que se está eligiendo deliberadamente las intersecciones semaforizadas.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de Muestra

Todas las intersecciones semaforizadas se evaluaron mediante los criterios expuesto por el Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010).

Los criterios utilizados fueron mediante las Guías de observación:

- Determinación de las características geométricas (anchos de carril).
- Determinación de las características de tráfico (conteo vehicular por carril).

3.3.3. Criterios de inclusión

Los criterios que determinamos para la inclusión son:

- Intersecciones viales que estén dentro de la tipología de intersecciones semaforizadas.
- Intersecciones viales que enlace los sistemas viales más importantes de la ciudad del Cusco.
- Intersecciones viales con gran flujo vehicular (demanda).

- Intersecciones viales que ofrezcan mayor infraestructura vial (oferta).

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.

3.4.1.1. Ficha de aforo vehicular

Nos ayudó a determinar el número de vehículos que transitan en las intersecciones semaforizadas en intervalos de tiempo determinado, de esta manera poder clasificarlos.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		AFORO VEHICULAR CLASIFICADO								
TEMA:	ANÁLISIS OPERACIONAL DEL IMPACTO VIAL GENERADO POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN CARRETEL EN LA AV. DE LA CULTURA Y SU PROLONGACIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO*									
TESTEAS:	MERIOLA PAREJA ALBERTO									
AFORADOR:	MERIOLA PAREJA ALBERTO	HORA DE INICIO:	18:00:00							
FECHA:	MARTES 28 DE NOVIEMBRE	HORA DE TÉRMINO:	18:00:00							
CALLE:	P. PROLONGACIÓN DE LA CULTO - ESTE									
DIAGRAMA:										
DEPARTAMENTO:	CUSCO	PROVINCIA:	CUSCO							
DISTRITO:	SARAJERMIÑO									
PERIODO	HORA	MOTOS	MOTO	STATION WAGON	MINIVAN	PUS URBANO	PUS	CAMION	SEMITRAVLER	TOTAL
1	INICIO									
	18:00:00	14	12	33	63	19	17	6	1	248
	18:15:00	1	11	43	73	17	43	3	1	257
	18:30:00	11	34	37	61	19	7	1	1	242
18:45:00	3	36	45	71	15	1	1	1	235	
TOTAL		39	957	651	375	74	58	23	1	1144

Tabla 9. Fichas de aforo vehicular

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2. Ficha de características geométricas

Nos permitió realizar un inventario vial mediante levantamiento topográfico realizado en campo considerado una serie de características que se detallan a continuación:

FICHA DE CARACTERISTICA GEOMETRICA			
TESIS	"ANÁLISIS OPERACIONAL DEL IMPACTO VIAL GENERADO POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN CARRIL BRT EN LA AV. DE LA CULTURA Y SU PROLONGACIÓN EN LA CIUDAD DEL CUSCO".		
TESISTAS	ALBERTO ARRIOLA PAREJA		
	MICHEL TONY HUALLPA MAMANI		
INTERSECCION		NUMERO DE CALZADA	
DIA			
SENTIDO DE CIRCULACION			
ANCHO DE CALZADA			
PENDIENTE			
ANCHO DE SEPARADOR			
NUMERO DE CARRILES			
ANCHO DE CARRIL			
ANCHO DE BERMA			

Tabla 10. Ficha de características geométricas de la vía

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Ficha de Tiempos de viaje

PROMEDIO DE TIEMPOS DE VIAJE			
Empresa de Transporte Urbano	Control de San Jerónimo Av. Huascar	Av. Huascar - Control de San Jerónimo	Tiempo Promedio
TIEMPO PROMEDIO TOTAL (min)			

Tabla 11. Ficha de tiempos de viaje

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Instrumentos de ingeniería

3.4.2.1. Cámara filmadora:

Esta herramienta se usó para registrar los flujos vehiculares, fue necesario instalar una cámara filmadora, con la finalidad de registrar los movimientos vehiculares en hora pico.



Figura 8: Cámara y filmadora

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Autocad Civil 3D

Software utilizado para el procesar los datos obtenidos por la estación total en el proceso del levantamiento topográfico de la infraestructura vial. Con el cual se obtuvo datos como la pendiente de carriles, ancho de carriles, etc.



Figura 9. Civil 3D educacional

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Software Synchro 8 educacional:

Software utilizado para realizar la simulación de transporte en las intersecciones semaforizadas de estudio.

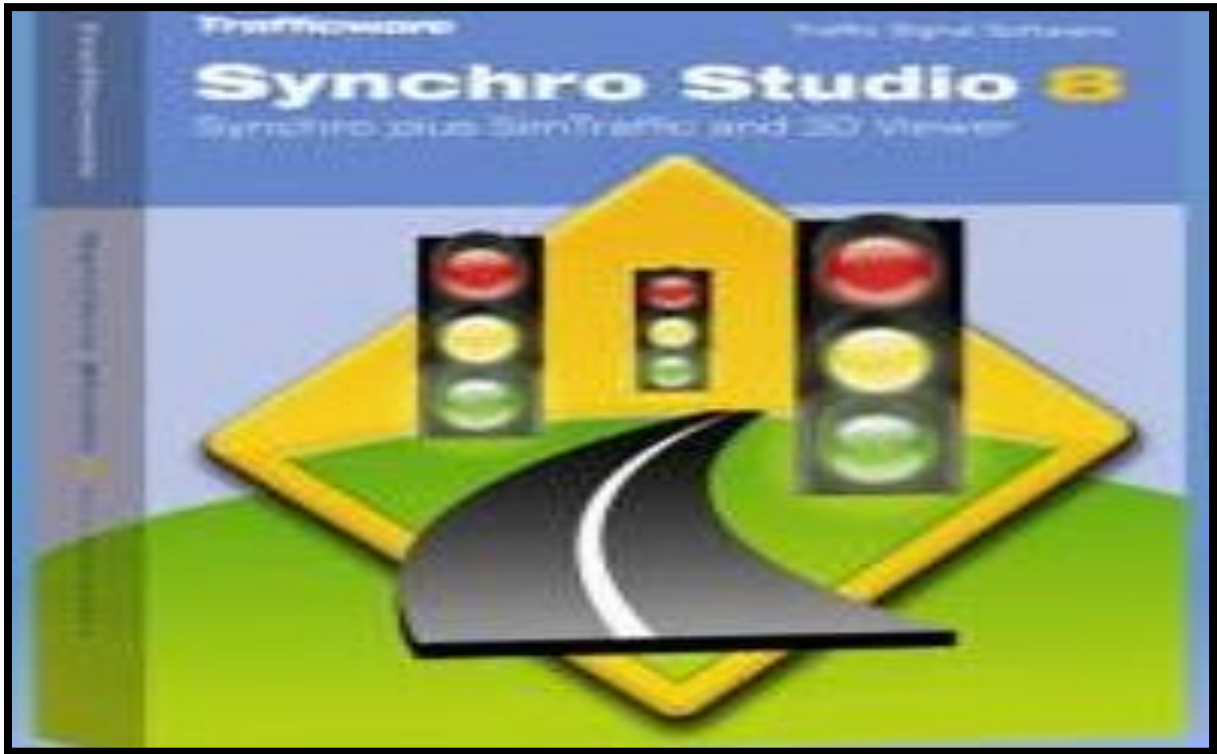


Figura 10. Synchro 8 educacional

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1. Aforo vehicular

3.5.1.1. Recolección de volúmenes vehiculares

Para el cálculo de los aforos vehiculares con fines de determinar los niveles de servicio y capacidades que define la zona de estudio, obtenemos los siguientes datos:

- Definición vehicular (livianos, pesados).
- Coincidencia de vehículos.
- Cálculo de niveles de servicio
- a) Equipos utilizados para la prueba**
 - Cámara filmadora
 - Tablero para la tomar de datos
 - cronometro

b) Procedimiento

- Identificación de puntos de aforo

Nos ubicamos en las intersecciones en puntos estratégicos para el respectivo aforo vehicular el cual hace que no interfiera en la recolección de datos ni altere estos por la interrupción de nuestra presencia.

- Conteo vehicular

Para tal efecto de obtener un mejor calculo consideramos realizar el aforo vehicular durante los siete días de la semana por lo cual podemos determinar el comportamiento del flujo vehicular en cada intersección y así poder determinar el día considerado como representativo.

Realizamos un conteo vehicular considerando cada uno de los sentidos en cada intersección anotándolos manualmente durante cuatro periodos de 15 minutos cada uno y para mayor precisión lo comparamos con los videos conseguidos al mismo tiempo realizados durante el periodo de 12:00 pm a 1:00 pm. buscando obtener información detallada de diferentes horas del día para corroborar las horas punta lo cual nos permita hacer el aforo manualmente.

No obstante, mencionamos que la toma de los respectivos aforos vehiculares se realizó en el mes de febrero del 2019.

Con el registro de videos se define el movimiento de vehicular para registrarlos en las fichas de aforo en gabinete.

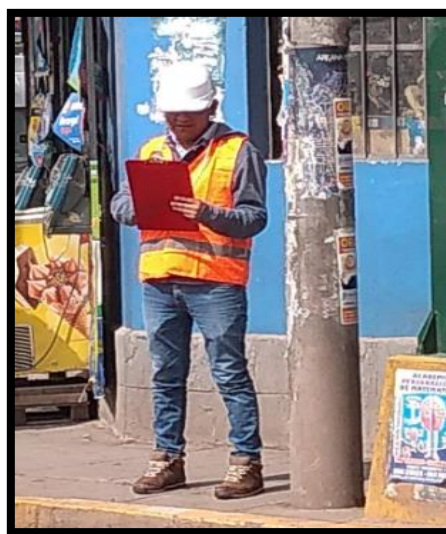


Figura 11. Toma de datos en Av. de la Cultura - Callejón retiro

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Conteo vehicular Av. de la Cultura – Av. Universitaria

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Conteo vehicular en Marcavalle

Fuente: Elaboración propia