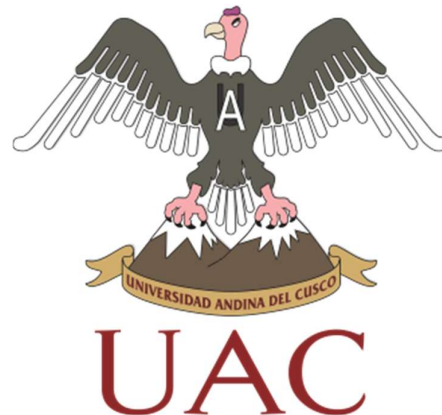




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

EVALUACIÓN DE LOS EJES TRANSVERSALES EN LOS DISTRITOS
DE WANCHAQ, SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO Y SU
INFLUENCIA EN LA CONGESTIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DEL
CUSCO

Presentado por:

TISOC PORCEL, Rodrigo

Para optar al Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor: Mgt. Ing. Miguel Alfredo Flores Dueñas

CUSCO – PERÚ – 2017



AGRADECIMIENTOS

A mi madre cuyo único propósito en la vida es verme feliz, a mi padre por enseñarme disciplina y perseverancia y a mi hermano por acompañarme y cuidarme siempre.

A mi asesor de tesis, el Mgt. Ing. Miguel Flores, por apoyarme y guiarme siempre.

A mis familiares y amistades por alegrarme la vida con momentos inolvidables.

A mis compañeros de carrera y futuros colegas por el trabajo que compartimos durante todos estos años.

A todos los docentes de la carrera por su entrega y por la experiencia brindada a lo largo de mi formación profesional.



DEDICATORIA

Dedico esta investigación a esta hermosa tierra que me vio crecer y a toda su gente que se merece una infraestructura vial de calidad.

La dedico también a mi madre por apoyarme en todo momento, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido seguir el buen camino, pero más que nada, por su amor.

A mis compañeros de carrera y demás profesionales de la especialidad, para que les sirva como aporte a futuras investigaciones.



NOMBRES Y APELLIDOS DEL JURADO Y ASESOR DE TESIS

Dictaminantes:

ING. ROBERT MILTON MERINO YÉPEZ

ING. JEAN FERNANDO PÉREZ MONTESINOS

Replicantes:

ING. JOSÉ HUMBERTO CABEZAS MANCILLA

ING. MARÍA MILAGROS OLAZÁVAL RODRÍGUEZ

Asesor:

MGT. ING. MIGUEL ALFREDO FLORES DUEÑAS



Índice General

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
NOMBRES Y APELLIDOS DEL JURADO Y ASESOR DE TESIS	IV
Índice General	V
Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras	XIV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 1 -
1.1.1 Ámbito de Influencia Teórica	- 1 -
1.1.2 Descripción del problema	- 1 -
1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMAS	- 14 -
1.2.1 Problema general	- 14 -
1.2.2 Problemas específicos	- 14 -
1.3 JUSTIFICACIÓN	- 15 -
1.3.2 Justificación social:	- 15 -
1.3.3 Justificación por viabilidad:	- 15 -
1.3.4 Justificación por relevancia:	- 15 -
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	- 16 -
1.4.1 Objetivo General	- 16 -
1.4.2 Objetivos Específicos	- 16 -
1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	- 16 -
1.5.1 Delimitación espacial	- 16 -
1.5.2 Delimitación temporal	- 17 -
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	- 18 -
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	- 18 -
2.1.1 Antecedentes internacionales	- 18 -
2.1.2 Antecedentes nacionales	- 19 -
2.2 BASES TEÓRICAS	- 27 -
2.2.1 Red vial	- 27 -
2.2.2 Clasificación de la red vial	- 27 -
2.2.3 Jerarquía de una red vial	- 29 -
2.2.4 Planeación urbana	- 30 -
2.2.5 Diseño geométrico de vías urbanas	- 32 -
2.2.6 Flujo vehicular	- 35 -
	V



- 2.2.7 Densidad _____ - 40 -
- 2.2.8 Clasificación de vehículos _____ - 41 -
- 2.2.9 Capacidad vial _____ - 42 -
- 2.2.11 Congestión vehicular _____ - 45 -
- 2.2.11.1 Análisis de la congestión _____ - 46 -
- 2.2.12 Velocidad _____ - 47 -
- 2.2.13 Dispositivos para el control _____ - 48 -
- 2.2.13.1 Semaforización _____ - 49 -
- 2.2.14 Modelo de Bazant para calcular el aforo vehicular _____ - 50 -
- 2.2.15 Metodología de cálculo de capacidad y niveles de servicio HCM 2010 _ - 54 -
- 2.3 MARCO CONCEPTUAL _____ - 66 -
- 2.4 HIPÓTESIS _____ - 68 -
- 2.4.1 Hipótesis general _____ - 68 -
- 2.4.2 Sub hipótesis _____ - 68 -
- 2.5 VARIABLES _____ - 68 -
- 2.5.1 Identificación de variables _____ - 68 -
- 2.5.2 Operacionalización de variables _____ - 71 -
- CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO _____ - 72 -
- 3.1 Tipo de investigación _____ - 72 -
- 3.2 ALCANCE DEL ESTUDIO _____ - 72 -
- 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN _____ - 73 -
- 3.4 Método de investigación _____ - 73 -
- 3.5 Población _____ - 74 -
- 3.5.1 Población 01, Ejes transversales principales en el tramo UNSAAC - Qollana ___ - 74 -
- 3.5.2 Población 02, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en el tramo UNSAAC- Qollana _____ - 74 -
- 3.6 Muestra _____ - 76 -
- 3.6.1 Muestra 01, Ejes transversales principales en el tramo UNSAAC - Qollana- 76 -
- 3.6.2 Muestra 02, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en el tramo UNSAAC – Qollana _____ - 76 -
- 3.7 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS _____ - 77 -
- 3.7.1 Conteo vehicular _____ - 77 -
- 3.7.1.1 Instrumentos de conteo vehicular _____ - 82 -
- 3.7.2 Registro de placas _____ - 83 -
- 3.7.2.1 Instrumentos de registro de placas _____ - 84 -
- 3.7.3 Mediciones de elementos y diseño geométrico en campo _____ - 84 -
- 3.7.3.1 Instrumentos metodológicos para mediciones de elementos y diseño geométrico - 84 -
- 3.7.3.2 Instrumentos de ingeniería para mediciones geométricas _____ - 85 -
- 3.8 Técnicas de procesamiento de datos _____ - 87 -



3.8.1	Coincidencia de placas _____	- 87 -
3.8.2	Cálculo de carga vehicular por eje con el Modelo de Bazant _____	- 91 -
3.8.3	Cálculo de capacidad vial y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas - 113 -	
3.8.3.1	Procesamiento del conteo vehicular _____	- 113 -
3.8.3.2	Procesamiento de las mediciones de elementos y diseño geométrico de las intersecciones. _____	- 124 -
3.8.3.3	Proceso de cálculo _____	- 133 -
3.8.4	Redistribución de volúmenes vehiculares _____	- 168 -
3.8.4.1	Redistribución en dirección sur a norte a través del aeropuerto, escenario en el año 2027. _____	- 168 -
3.8.4.2	Redistribución en dirección norte a sur a través del aeropuerto, escenario en el año 2027. _____	- 173 -
3.8.4.3	Cálculo del Eje N°4 como eje transversal principal de la ciudad – 50% de volumen redistribuido. _____	- 178 -
CAPÍTULO 4: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN _____		- 182 -
4.1	RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	- 182 -
4.1.1	Objetivos específicos 1 y 2 _____	- 182 -
4.1.2	Objetivos específicos 3 y 4 _____	- 187 -
4.2	RESULTADOS RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL _____	- 197 -
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN _____		- 207 -
5.1	DESCRIPCIÓN DE LOS HALLAZGOS MÁS RELEVANTES Y SIGNIFICATIVOS ____	207 -
5.2	LIMITACIONES DEL ESTUDIO _____	- 208 -
5.2.1	Limitación de recolección de datos _____	- 208 -
5.3	COMPARACIÓN CON LA LITERATURA EXISTENTE _____	- 209 -
5.4	IMPLICANCIAS DEL ESTUDIO _____	- 210 -
CONCLUSIONES _____		- 211 -
RECOMENDACIONES _____		- 218 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____		- 220 -
ANEXOS _____		- 223 -
PANEL FOTOGRÁFICO _____		- 223 -
DATOS Y CÁLCULOS PRELIMINARES _____		- 228 -
CUADROS DE DATOS RECOLECTADOS DEL INEI _____		- 238 -

**Índice de Tablas**

Tabla N° 1 Capacidad de las vías en intersecciones a desnivel _____	- 32 -
Tabla N° 2 Clasificación Vehicular _____	- 41 -
Tabla N° 3 Dimensiones del Vehículo Tipo _____	- 42 -
Tabla N° 4 Estimado de aforo vehicular según velocidad de diseño _____	- 50 -
Tabla N° 5 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 2 _____	- 89 -
Tabla N° 6 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 5 _____	- 90 -
Tabla N° 7 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 3 _____	- 90 -
Tabla N° 8 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 4 _____	- 91 -
Tabla N° 9 Cálculo de población al 2017 y al 2027 _____	- 92 -
Tabla N° 10: Resumen de clasificación por nivel socioeconómico _____	- 93 -
Tabla N° 11: Nivel de ingresos económicos por distrito _____	- 94 -
Tabla N° 12 Cálculo del área poblada por distrito _____	- 98 -
Tabla N° 13 Simbología por niveles de ingreso y densidad _____	- 98 -
Tabla N° 14 Porcentajes de modalidades de uso de transporte _____	- 100 -
Tabla N° 15 Cálculo de densidad población por hectárea y por distrito _____	- 101 -
Tabla N° 16 Cuantificación de hectáreas según tipo de cuadrante _____	- 101 -
Tabla N° 17 Usos de suelo por densidad y niveles de ingreso _____	- 102 -
Tabla N° 18 Características de movilidad por tipo de ciudad _____	- 102 -
Tabla N° 19 Cálculo de relación promedio de viajes generados por habitante en ciudades similares a Cusco _____	- 103 -
Tabla N° 20 Estimado de viajes por día en la ciudad del cusco dentro del cordón motivo de estudio _	104 -
Tabla N° 21 Estimado aforo vehicular según niveles de ingreso familiar y densidad _____	- 105 -
Tabla N° 22 Aforo vehicular por tipo de hectárea _____	- 105 -
Tabla N° 23 Porcentaje de volumen en la hora de máxima demanda por avenida y día de aforo. -	106 -
Tabla N° 24 Cálculo de vehículos en la hora de máxima demanda de acuerdo al factor k _____	- 106 -
Tabla N° 25 Cálculo de vehículos generados por hora y por tipo de hectárea _____	- 107 -
Tabla N° 26 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según su área de cobertura del eje 2 _____	- 109 -
Tabla N° 27 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 3 2017. _____	- 109 -
Tabla N° 28 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 3 al año 2027 _____	- 110 -
Tabla N° 29 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 4 en 2017 _____	- 110 -



Tabla N° 30 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 4 al 2027 _____ - 111 -

Tabla N° 31 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 5 en 2017 _____ - 111 -

Tabla N° 32 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según área de cobertura del eje 5 al 2027 _____ - 112 -

Tabla N° 33 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según su área de cobertura del eje 6 _____ - 112 -

Tabla N° 34 Escenario de carga vehicular de automóviles y transporte público sobre avenidas primarias según su área de cobertura del eje 7 _____ - 113 -

Tabla N° 35 Factor de ajuste vehículo equivalente por tipo _____ - 114 -

Tabla N° 36 Resumen de conteo vehicular, intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 115 -

Tabla N° 37 Resumen de conteo vehicular, intersección Av. Huayruropata con Jr. Espinar _____ - 116 -

Tabla N° 38 Resumen de conteo vehicular, intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura - 117 -

Tabla N° 39 Resumen de conteo vehicular, intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos - 118 -

Tabla N° 40 Resumen de conteo vehicular, intersección Hilario Mendivil _____ - 119 -

Tabla N° 41 Resumen de conteo vehicular, intersección Av. Cusco con Tomas Tuyro Túpac ___ - 120 -

Tabla N° 42 Resumen de conteo vehicular, intersección Grifo San Cristobal _____ - 121 -

Tabla N° 43 Resumen de conteo vehicular, intersección Penal de Qenqoro _____ - 122 -

Tabla N° 44 Resumen de conteo vehicular, intersección Óvalo Libertadores _____ - 123 -

Tabla N° 45 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 124 -

Tabla N° 46 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Av. Huayruropata con Jr. Espinar _____ - 125 -

Tabla N° 47 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura _____ - 126 -

Tabla N° 48 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 127 -

Tabla N° 49 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Hilario Mendivil _____ - 128 -

Tabla N° 50 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Av. Cusco con Tomas Tuyro Túpac _____ - 129 -

Tabla N° 51 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Grifo San Cristóbal _____ - 130 -

Tabla N° 52 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Penal de Qenqoro _____ - 131 -

Tabla N° 53 Resumen de mediciones de elementos y diseño geométrico de la intersección Óvalo Libertadores _____ - 132 -

Tabla N° 54 Grupos de carril típicos de análisis _____ - 134 -



Tabla N° 55 Grupos de movimiento y carril de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 134 -

Tabla N° 56 Tasa de flujo por grupo de movimiento de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 135 -

Tabla N° 57 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 136 -

Tabla N° 58 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Huayruropata con Jr. Espinar ____ - 136 -

Tabla N° 59 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura ___ - 136 -

Tabla N° 60 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos __ - 137 -

Tabla N° 61 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Hilario Mendivil _____ - 137 -

Tabla N° 62 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _ - 137 -

Tabla N° 63 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Grifo San Cristóbal _____ - 137 -

Tabla N° 64 Tasa de flujo por grupo carril de la intersección Penal de Qenqoro _____ - 138 -

Tabla N° 65 Ajuste de flujo horario de la intersección Óvalo Libertadores _____ - 138 -

Tabla N° 66 Factor de ajuste por ancho de carril _____ - 140 -

Tabla N° 67 Cálculo de factores de ajuste por vehículos pesados, pendiente, presencia de estacionamientos y bloqueo de buses de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 142 -

Tabla N° 68 Cálculo del factor de ajuste por giro a la izquierda de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 143 -

Tabla N° 69 Cálculo del factor de ajuste por giro a la derecha de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 146 -

Tabla N° 70 Cálculo del factor de ajuste por giro a la izquierda de peatones de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 147 -

Tabla N° 71 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 147 -

Tabla N° 72 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Av. Huayruropata con Jr. Espinar _____ - 148 -

Tabla N° 73 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura _____ - 148 -

Tabla N° 74 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 148 -

Tabla N° 75 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Hilario Mendivil _____ - 149 -

Tabla N° 76 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 149 -

Tabla N° 77 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Grifo San Cristóbal __ - 149 -

Tabla N° 78 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Penal de Qenqoro ____ - 150 -



Tabla N° 79 Cálculo de la tasa de saturación ajustada en la intersección Óvalo Libertadores ___ - 150 -
Tabla N° 80 Tipo de llegada de la intersección cualitativa y cuantitativa _____ - 151 -
Tabla N° 81 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 152 -
Tabla N° 82 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Av. Huayrupata con Jr. Espinar _____ - 152 -
Tabla N° 83 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura _____ - 152 -
Tabla N° 84 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 153 -
Tabla N° 85 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Hilario Mendivil - 153 -
Tabla N° 86 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 153 -
Tabla N° 87 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Grifo San Cristóbal - 154 -
Tabla N° 88 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde de la intersección Penal de Qenqoro _ - 154 -
Tabla N° 89 Cálculo de proporción de llegada en la fase verde del Ovalo Libertadores _____ - 155 -
Tabla N° 90 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 156 -
Tabla N° 91 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Av. Huayrupata con Jr. Espinar _____ - 156 -
Tabla N° 92 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura _____ - 156 -
Tabla N° 93 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 157 -
Tabla N° 94 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Hilario Mendivil _____ - 157 -
Tabla N° 95 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 157 -
Tabla N° 96 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Grifo San Cristóbal _____ - 158 -
Tabla N° 97 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Penal de Qenqoro _____ - 158 -
Tabla N° 98 Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad de la intersección Óvalo Libertadores _____ - 158 -
Tabla N° 99 Cálculo de la demora total de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 161 -
Tabla N° 100 Cálculo de la demora total de la intersección Av. Huayrupata con Jr. Espinar ___ - 161 -



Tabla N° 101 Cálculo de la demora total de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura - 161
-
Tabla N° 102 Cálculo de la demora total de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos- 162
-
Tabla N° 103 Cálculo de la demora total de la intersección Hilario Mendivil _____ - 162 -
Tabla N° 104 Cálculo de la demora total de la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac __ -
162 -
Tabla N° 105 Cálculo de la demora total de la intersección Grifo San Cristóbal _____ - 163 -
Tabla N° 106 Cálculo de la demora total de la intersección Penal de Qenqoro _____ - 163 -
Tabla N° 107 Cálculo de la demora total del Ovalo Libertadores _____ - 163 -
Tabla N° 108 Nivel de servicio según demora de control _____ - 164 -
Tabla N° 109 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Av. Micaela Bastidas con
Av. Anselmo Álvarez _____ - 165 -
Tabla N° 110 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Av. Huayruropata con Jr.
Espinar _____ - 165 -
Tabla N° 111 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Av. Víctor R. Haya con
Av. La Cultura _____ - 165 -
Tabla N° 112 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Av. La Cultura con
Diagonal Angamos _____ - 166 -
Tabla N° 113 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Hilario Mendivil ____ - 166 -
Tabla N° 114 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Av. Cusco con Tomas
Tuyro Túpac _____ - 166 -
Tabla N° 115 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Grifo San Cristóbal - 167 -
Tabla N° 116 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Penal de Qenqoro - 167 -
Tabla N° 117 Cálculo del nivel de servicio y demora total de la intersección Óvalo Libertadores - 167 -
Tabla N° 118 Tasas de crecimiento vehicular anual 2007 - 2017 _____ - 169 -
Tabla N° 119 Tasa de crecimiento vehicular anual estimada _____ - 170 -
Tabla N° 120 Proyección al 2027 y redistribución de volumen vehicular del Eje N° 4 _____ - 171 -
Tabla N° 121 Cálculo de demoras y nivel de servicio luego de la proyección y redistribución al 2027
del volumen vehicular en la intersección Hilario Mendivil _____ - 172 -
Tabla N° 122 Proyección al 2027 y redistribución de volumen vehicular del Eje N° 3 _____ - 173 -
Tabla N° 123 Cálculo de demoras y nivel de servicio luego de la proyección y redistribución al 2027
de volumen vehicular en la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 174 -
Tabla N° 124 Redistribución de volumen vehicular del Eje N° 5 _____ - 174 -
Tabla N° 125 Cálculo de demoras y nivel de servicio luego de la proyección y redistribución al 2027
de volumen vehicular en la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 175 -
Tabla N° 126 Redistribución de volumen vehicular en el Óvalo Libertadores _____ - 176 -
Tabla N° 127 Cálculo de demoras y nivel de servicio luego de la proyección y redistribución al 2027
de volumen vehicular en la intersección del Óvalo Libertadores _____ - 177 -



Tabla N° 128 Cálculo de volúmenes redistribuidos en un 50% al Eje 4 de la intersección Diagonal Angamos y Av. La Cultura _____ - 178 -

Tabla N° 129 Cálculo de demoras y niveles de servicio para un volumen proyectado al 2027 y una redistribución del 50% al Eje 4, Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 179 -

Tabla N° 130 Cálculo de volúmenes redistribuidos en un 50% al Eje 4 de la intersección Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 179 -

Tabla N° 131 Cálculo de demoras y niveles de servicio para un volumen proyectado al 2027 y una redistribución del 50% al Eje 4, Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac _____ - 180 -

Tabla N° 132 Cálculo de volúmenes redistribuidos en un 50% al Eje 4 de la intersección Óvalo Libertadores _____ - 180 -

Tabla N° 133 Cálculo de demoras y niveles de servicio para un volumen proyectado al 2027 y una redistribución del 50% al Eje 4, Óvalo Libertadores _____ - 181 -

Tabla N° 134 Porcentaje de discontinuidad de los ejes 2; 3; 4 y 5 _____ - 182 -

Tabla N° 135 Evaluación de la capacidad de los ejes 2; 3; 4 y 5 de acuerdo al modelo Bazant. - 182 -

Tabla N° 136 Resultados del cálculo de carga vehicular (Modelo Bazant) la evaluación de la situación actual de infraestructura vial de los Ejes N° 2; 3; 4; 5; 6 y 7 _____ - 183 -

Tabla N° 137 Resultados de la evaluación de la situación actual de infraestructura vial de los Ejes N° 1; 2; 8; 9; 10; 11; 12 y 13 _____ - 184 -

Tabla N° 138 Flujo vehicular luego de la redistribución en el Eje 4 _____ - 185 -

Tabla N° 139 Flujo vehicular luego de la redistribución en el Eje 3 _____ - 186 -

Tabla N° 140 Flujo vehicular luego de la redistribución en el Eje 2 _____ - 186 -

Tabla N° 141 Flujo vehicular luego de la redistribución en el Eje 5 _____ - 187 -

Tabla N° 142 Relación volumen/capacidad crítica proyectada al 2027 de la intersección semaforizada Diagonal Angamos del Eje 3 _____ - 188 -

Tabla N° 143 Relación volumen/capacidad crítica proyectada al 2027 de la intersección semaforizada Hllario Mendivil del Eje 4 _____ - 189 -

Tabla N° 144 Relación volumen/capacidad crítica proyectada al 2027 de la intersección semaforizada Tuyro Túpac y Av. Cusco del Eje 5 _____ - 190 -

Tabla N° 145 Resumen de carga vehicular calculada por eje (Modelo Bazant) de acuerdo a su ubicación en el área poblada de la ciudad _____ - 207 -

Tabla N° 146 Resumen de los porcentajes de volumen vehicular a redistribuir en los ejes obstaculizados por el aeropuerto _____ - 208 -

Tabla N° 147 Lista de vehículos que hacen ruta del lado norte a sur del aeropuerto y viceversa llegando a puntos en los Ejes N° 2; 3; 4 y 5 _____ - 228 -

Tabla N° 148 Conteo preliminar en Av. Perú San Sebastián _____ - 235 -

Tabla N° 149 Conteo preliminar en Diagonal Angamos _____ - 236 -

Tabla N° 150 Conteo preliminar en Av. Tacna _____ - 237 -

Tabla N° 151 Características de movilidad por tipo de ciudad _____ - 242 -



Índice de Figuras

Figura N° 1 Eje transversal 1 _____	- 3 -
Figura N° 2 Eje transversal 2 _____	- 4 -
Figura N° 3 Eje transversal 3 _____	- 5 -
Figura N° 4 Eje transversal 4 _____	- 6 -
Figura N° 5 Eje transversal 5 _____	- 7 -
Figura N° 6 Eje transversal 6 _____	- 8 -
Figura N° 7 Eje transversal 7 _____	- 9 -
Figura N° 8 Eje transversal 8 _____	- 10 -
Figura N° 9 Eje transversal 9 _____	- 10 -
Figura N° 10 Eje transversal 10 _____	- 11 -
Figura N° 11 Eje transversal 11 _____	- 12 -
Figura N° 12 Eje transversal 12 _____	- 13 -
Figura N° 13 Eje transversal 13 _____	- 13 -
Figura N° 14 Ejes transversales 1; 2; 3 y 4. _____	- 17 -
Figura N° 15 Ejes transversales 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11 _____	- 17 -
Figura N° 16 Flujograma de la Metodología HCM 2010 para cálculo de capacidad y niveles de servicio _____	- 54 -
Figura N° 17 Gráfico de aforo vehicular en Diagonal Angamos, Volumen vs. Hora _____	- 78 -
Figura N° 18 Gráfico de aforo vehicular en Av. Tacna, Volumen vs. Hora _____	- 79 -
Figura N° 19 Gráfico de aforo vehicular en el Bypass de San Sebastián, Volumen vs. Hora _____	- 80 -
Figura N° 20 Formato de aforo vehicular _____	- 82 -
Figura N° 21 Ubicación de los puntos de control y registro de placas _____	- 83 -
Figura N° 22 Formato para la toma de mediciones geométricas en campo _____	- 85 -
Figura N° 23 Wincha en mediciones geométricas de la Vía Expresa _____	- 86 -
Figura N° 24 Nivel topográfico en la medición de la pendiente de Av. Tomas Tuyro Túpac _____	- 86 -
Figura N° 25 Captura de pantalla de la digitación de registro de placas sur a norte _____	- 87 -
Figura N° 26 Captura de pantalla de la digitación de registro de placas norte a sur _____	- 88 -
Figura N° 27 Captura de pantalla del proceso de coincidencia de placas en el programa Excel _____	- 89 -
Figura N° 28 Delimitación de áreas de acuerdo a densidad _____	- 93 -
Figura N° 29 Gráfico comparativo de niveles de ingreso menores a s/.1000 por distrito _____	- 94 -
Figura N° 30: Gráfico comparativo de niveles de ingreso menores a s/.4000 por distrito _____	- 95 -
Figura N° 31: Gráfico comparativo de niveles de ingreso mayores a s/.4000 por distrito _____	- 95 -
Figura N° 32 Delimitación de áreas de acuerdo a los niveles de ingreso _____	- 96 -
Figura N° 33 Delimitación de área poblada _____	- 97 -
Figura N° 34 División del área poblada en hectáreas _____	- 97 -
Figura N° 35 Codificación total del área dentro del cordón _____	- 99 -
Figura N° 36 Codificación parcial (sur) del área dentro del cordón _____	- 100 -
Figura N° 37 División de áreas de cobertura e influencia _____	- 108 -



Figura N° 38 Direcciones por carril de la Intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez - 133 -

Figura N° 39 Gráfico de tendencia, tasa de crecimiento anual vs. Año. _____ - 170 -

Figura N° 40 Leyenda para los gráficos de diseño geométrico y capacidad vial de las intersecciones_ - 191 -

Figura N° 41 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Av. Micaela Bastidas con Av. Anselmo Álvarez _____ - 191 -

Figura N° 42 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Av. Huayruropata con Jr. Espinar - 192 -

Figura N° 43 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Av. Víctor R. Haya con Av. La Cultura _____ - 192 -

Figura N° 44 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Av. La Cultura con Diagonal Angamos _____ - 193 -

Figura N° 45 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Hilario Mendivil _____ - 194 -

Figura N° 46 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Av. Cusco con Tomas Tuyro Túpac _____ - 194 -

Figura N° 47 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Grifo San Cristóbal _____ - 195 -

Figura N° 48 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Penal de Qeqoro _____ - 196 -

Figura N° 49 Diseño geométrico y capacidad vial de la intersección Óvalo Libertadores _____ - 197 -

Figura N° 50 Porcentajes de distribución de volumen vehicular originados en el lado sur del aeropuerto y en dirección norte _____ - 198 -

Figura N° 51 Porcentajes de distribución de volumen vehicular originados en el lado sur del aeropuerto y en dirección norte _____ - 198 -

Figura N° 52 Leyenda de los escenarios de situación de infraestructura completa de los ejes con volúmenes vehiculares redistribuidos _____ - 199 -

Figura N° 53 Situación del Eje N° 3 con infraestructura completa _____ - 200 -

Figura N° 54 Situación del Eje N° 4 con infraestructura completa _____ - 201 -

Figura N° 55 Situación del Eje N° 5 con infraestructura completa _____ - 202 -

Figura N° 56 Situación del Óvalo Libertadores luego de completar la infraestructura de los Ejes N° 3; 4 y 5 _____ - 203 -

Figura N° 57 Situación del Eje N° 3 en la proyección al 2027 y redistribución del 50% al Eje 4 _ - 204 -

Figura N° 58 Situación del Eje N° 5 en la proyección al 2027 y redistribución del 50% al Eje 4 _ - 205 -

Figura N° 59 Situación de la intersección Óvalo Libertadores en la proyección al 2027 y redistribución del 50% al Eje 4 _____ - 206 -

Figura N° 60 Levantamiento de datos en la intersección del Penal de Qeqoro _____ - 223 -

Figura N° 61 Levantamiento de datos en la intersección del Grifo San Cristóbal _____ - 223 -

Figura N° 62 Bloqueo por modificaciones en la calzada del Eje N° 13 a la altura del Rio Huatanay vista en dirección sur _____ - 224 -

Figura N° 63 Bloqueo por modificaciones en la calzada del Eje N° 13 a la altura del Rio Huatanay vista en dirección norte _____ - 224 -



Figura N° 64 Levantamiento de datos en el eje 12 _____ - 225 -
Figura N° 65 Reducción de sección transversal del eje por la necesidad de un puente para cruzar el
Rio Huatanay _____ - 225 -
Figura N° 66 Levantamiento de datos en el Eje N° 3 _____ - 226 -
Figura N° 67 Levantamiento de datos en el Eje N° 5 _____ - 226 -
Figura N° 68 Levantamiento de datos el Eje N° 2 _____ - 227 -
Figura N° 69 Viajes por persona por día Medellín-Colombia (UNC) _____ - 241 -



RESUMEN

El Cusco presenta una geomorfología especial que obliga a la ciudad a tener una forma alargada dando prioridad a la construcción de avenidas longitudinales y restando importancia a las vías de conexión transversal las cuales son discontinuas y no homogéneas entre sí a lo largo de su eje. Todo esto a pesar de la existencia de planes de desarrollo urbano y de movilidad urbana que debieron implementarse varios años atrás, siendo su incumplimiento una de las principales causas de la falta de articulación y fluidez del tránsito vehicular en la red vial. La presente investigación tiene el fin de evaluar el diseño geométrico, capacidad vial y flujo vehicular correspondientes a estos ejes para demostrar su influencia sobre la congestión vehicular de la ciudad.

El análisis se basó en la metodología del Modelo de Bazant, para el cálculo de carga vehicular de las avenidas primarias de cada eje transversal, demostrando el gran volumen de vehículos generado por la necesidad de viajes dentro de la ciudad a través de estos ejes. También se usó la metodología del HCM 2010 para el análisis de la capacidad y niveles de servicio de las intersecciones semaforizadas críticas de cada eje.

Los resultados más relevantes de la presente investigación permiten afirmar que las vías transversales cuentan con una capacidad vial insuficiente y un diseño geométrico de muy irregular, en algunos casos debido a la existencia del aeropuerto Velasco Astete. Se concluye también que en caso de solucionar estas carencias de diseño e infraestructura, mediante la reubicación del aeropuerto, se estima una redistribución de volumen vehicular al año 2027, en una red vial articulada por ejes transversales continuos y homogéneos en diseño, que conecten el lado norte y sur de la ciudad, logrando así mejorar la fluidez de la circulación vehicular.



ABSTRACT

Cusco city presents a special geomorphology that forces the urban sector of the city to have a form lengthened, a cause of this the priority to the construction of longitudinal routes and reducing importance to the routes of transversal connection, so this are discontinuous and non-homogeneous. Even with the plans of urban development and urban mobility that should been implemented a lot of year ago for a better fluency in the traffic, nevertheless his breach is the principal reason of the lack of articulation in the vehicular traffic. This investigation has the purpose of evaluating the geometric design, road capacity and traffic flow of these transversal corridors to show their influence on the traffic congestion of the city.

The analyses were based on the methodology of Bazant's Model, using it to calculate the traffic load of primary avenues, demonstrating the great volume vehicles that is generated by trips inside the city which needs to circulate along the transversal corridors, it's based too on the Highway Capacity Manual (TBR) for analyzing the capacity and levels of service of the critical signalized intersections of each axis.

The most relevant results of the present investigation allow to affirm that the transversal route's capacity is not enough and the geometric design of these is very irregular, in some cases due to the presence of the Velasco Astete airport. It is also a conclusion that by solving this infrastructure defects, after the airport get reubicated in 2027, it is possible to estimate a vehicular redistribution in a road network articulated by continuous and homogeneous transversal corridors in design, connecting the north and south side of the city, achieving by this way a improve in the fluency of the circulation of vehicles in Cusco city.



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En la ciudad del Cusco, como en cualquier ciudad del mundo, se conforma una red vial, la cual es indispensable para el desarrollo de sus habitantes en todos los aspectos y está compuesta principalmente por ejes longitudinales, que debido a la geomorfología de la ciudad corresponden a los que se encuentran en dirección noroeste a sureste, y pretenden comunicar la ciudad de un extremo al otro. De igual manera es necesaria la existencia de vías perpendiculares a estas avenidas longitudinales que las intercepten y conecten para dar mayor fluidez a la red vial, es decir que se debe contar con vías de primer orden que cumplan la función de ejes transversales.

En la presente investigación observa una deficiencia de la red vial en cuanto a su articulación transversal al no contar con vías adecuadas y continuas que conecten las avenidas longitudinales entre sí y a su vez a estas con las demás vías, por lo que es necesario analizar las conexiones transversales existentes y su contribución a la fluidez del tránsito de la ciudad.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 **Ámbito de Influencia Teórica**

La presente tesis se desarrolla básicamente en el campo de la ingeniería de tránsito, evaluando la capacidad vial y niveles de servicio de las intersecciones y avenida que conectan transversalmente los principales ejes longitudinales de la ciudad, y así poder analizar su comportamiento vial. Para lo cual será necesario realizar conteos y registros vehiculares, mediciones de la infraestructura vial y usar metodologías de análisis de flujo vehicular y capacidad vial.

1.1.2 **Descripción del problema**

Se observa que en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo, existen rutas que conectan de manera transversal su red vial, comunicando avenidas longitudinales muy importantes (Av. La Cultura, La Vía de Evitamiento,



La Vía Expresa entre otras). Se les conoce como “vías de primer orden que son estructuradoras y/o ejes de articulación que permiten la conexión directa de la ciudad de Cusco con los sectores aledaños y presentan tránsito vehicular con media y alta fluidez, alta accesibilidad y directa integración con el uso de suelo, ya que las principales actividades comerciales y educativas se encuentran en estos ejes” (MPC, 2013)

Se consideran como ejes de estructuración transversal: Av. Tomas Tuyrotupa, AV. Mariátegui, Av. San Luis, Av. Diagonal Angamos, Av. Espinar, Av. Los Sauces, Av. Unión, Diagonal Zavaleta, Av. Infancia, Choquechaca, Av. Mariano de los Santos y otros (MPC, 2013). Estas conexiones transversales no están explícitamente definidas, sino que son el resultado de la unión de diferentes vías marcando una ruta que no posee homogeneidad ni continuidad vial, generando así carencia de articulación y congestión vehicular. A continuación, se describe detalladamente la problemática de cada eje.

Eje 1: Ubicado en el distrito de Wanchaq, con una longitud aproximada de 0.73 kilómetros, un ancho de sección variable entre sus vías e intersecciones semaforizadas en las avenidas Huayruropata, La Cultura y Túpac Amaru. Se observa que no existe continuidad vial ni uniformidad en el diseño geométrico de las calles debido a que la Av. Universitaria (2 carriles por sentido con berma central) intersecta con la Av. La Cultura y conecta a las calles Pedro Vilcapaza (un carril por sentido) y Anselmo Álvarez (un carril por sentido) con una reducción del número de carriles y una diferencia considerable de metros en la continuidad del eje, provocando que los vehículos provenientes de la calle Pedro Vilcapaza no puedan continuar hacia la Av. Universitaria y así llegar a la Av. Collasuyo. De igual manera ocurre de acuerdo a la Figura N° 1 al intersectarse estas con las avenidas Huayruopta y Tomasa Titto Condemayta para llegar al Jr. Anta (un carril por sentido). Esta falta de continuidad vial y diseño uniforme, genera que los vehículos deban hacer una maniobra de giro extra y cuenten con menos espacio, impidiendo una circulación fluida a lo largo del eje.

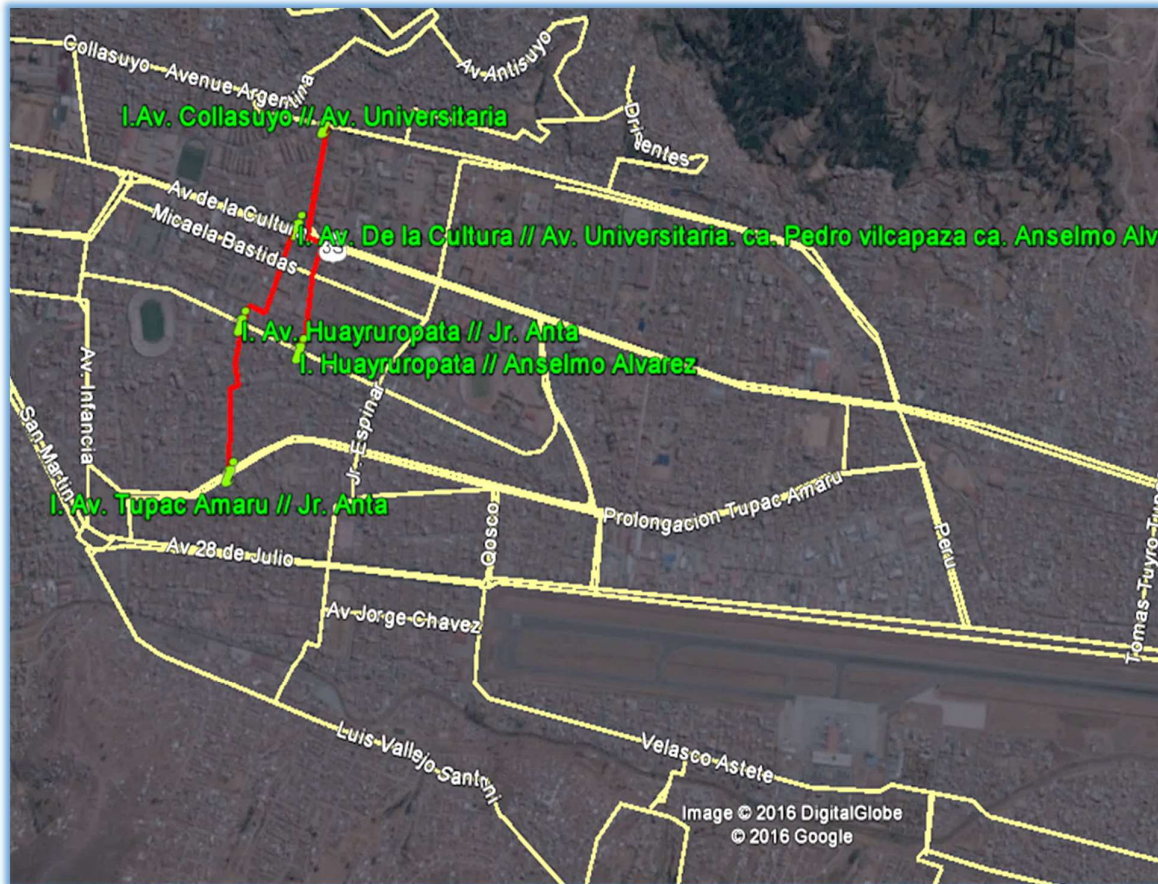


Figura N° 1 Eje transversal 1

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 2: Ubicado en el distrito de Wanchaq, con una longitud aproximada de 1.65 kilómetros un ancho de sección variable entre sus vías, señalización horizontal y vertical e intersecciones semaforizadas en las avenidas Huayruropata, La Cultura y Túpac Amaru. Existe un desnivel en la intersección de las avenidas Víctor Raúl Haya De La Torre (2 carriles por sentido con berma central) y Collasuyo, provocando que los conductores realicen maniobras innecesarias para ingresar a esta vía. También ocurre que según la Figura N° 2 cuando el Jr. Hermanos Ayar (3 y 2 carriles por sentido) busca conectar con la Av. Túpac Amaru al encontrarse con el Jr. Espinar (2 carriles) que funciona en un solo sentido, obligando a los vehículos a dirigirse al Jr. Calca (2 carriles), que funciona en el otro sentido, para continuar su flujo. Es notoria la variación en el diseño

geométrico de las vías que conforman este eje al no tener un número de carriles uniforme dificultando la fluidez.



Figura N° 2 Eje transversal 2

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 3: Ubicado en el distrito de Wanchaq, con una longitud aproximada de 1.9 kilómetros, una cantidad de carriles variable entre sus vías y una intersección semaforizada en la Av. La Cultura se observa que la calle Manzanares (2 carriles) conecta las avenidas Collasuyo y La Cultura, sin embargo, de acuerdo a la Figura N° 3, al intersectar con esta última, debido a la falta de continuidad, los conductores se ven obligados a dirigirse hacia otras vías, a pesar de contar con la Diagonal Angamos (5 carriles con berma central) la cual difiere por unos

cuantos metros de su eje transversal definido. Esta avenida tiene un diseño geométrico perjudicial al conectar la Av. La Cultura y la Vía expresa ya que se observa una reducción de cinco carriles a solo dos en el punto que intersecta con la av. Huayruropata, así como discontinuidad vial a la altura del Bypass de la Av. Túpac Amaru.

Al realizar esta investigación se pone en evidencia la importancia de la planificación de un diseño geométrico que dé continuidad vial a este eje transversal buscando la prolongación de la Diagonal Angamos hasta conectar con la Av. Velasco Astete ya que de acuerdo al Artículo 118° del REGLAMENTO DEL PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA PROVINCIA DE CUSCO 2013-2023, se indica que “Una vez reubicado el aeropuerto, se articulará la ciudad de manera transversal mediante las vías programadas en Plan de Desarrollo Urbano provincial” (MPC, 2013).



Figura N° 3 Eje transversal 3

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 4: Ubicado en el distrito de San Sebastián, con una longitud aproximada de 2.1 kilómetros logra conectar las avenidas Collasuyo, La Cultura y la Vía Expresa, sin presencia de intersecciones semaforizadas aportando fluidez al tránsito, sin embargo, según la Figura N° 4, existe una disminución de 4 a 2 carriles en la Av. Manantiales al pasar por el Bypass de San Sebastián, lo cual genera desorden y poca fluidez. También se observa que debido a la ubicación del aeropuerto este eje no logra conectar con la Av. Velasco Astete, la Vía de Evitamiento ni con el sector de Agua Buena al cortar su continuidad con el eje transversal que debe conectarlas. Este problema provoca que los vehículos busquen circular por el acceso más cercano que viene a ser el Ovalo Libertadores provocando congestión vehicular en este punto.



Figura N° 4 Eje transversal 4

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 5: Ubicado en el distrito de San Sebastián, con una longitud aproximada de 1.41 kilómetros un ancho de sección uniforme con 2 carriles por sentido y berma central, intersecciones semaforizadas con las avenidas La Cultura y Cusco y señalización deteriorada. Se observa en la Figura N° 5 una interrupción en la continuidad del eje por la presencia del Aeropuerto Velasco Ateste que corta la conexión de la Av. Tomas Tuyro Túpac con la vía correspondiente que intersecta y comunica este eje con la Vía de Evitamiento, evidenciando la necesidad de una mejor planificación del diseño geométrico a futuro que permita enlazar este eje y darle continuidad, también se observa una falta de acceso de este eje a la Vía de Evitamiento, lo cual provocaría que una vez implemetado, su volumen vehicular recargue innecesariamente puntos de acceso en otros ejes transversales.



Figura N° 5 Eje transversal 5

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 6: Ubicado en el distrito de San Sebastián, cuenta con una longitud aproximada de 1.25 kilómetros un ancho de sección variable con respecto a la calle Palmeras que cuenta con berma central e intersecciones no semaforizadas.

Como se observa en la Figura N° 6 por la presencia del Aeropuerto Velasco Ateste se interrumpe la conexión entre la Av. Marcos Zapata y la Av. Pacífico que intersecta y comunica este eje con la Vía de Evitamiento. Siendo evidente la falta de planificación en el diseño geométrico de estos ejes debiendo priorizar estas conexiones luego de reubicar el aeropuerto. En esta figura también se observa la necesidad de este eje para una correcta comunicación con el sector de Alto Qosqo, siendo necesario uniformizarlo para dar integración a la población del distrito de San Sebastián.



Figura N° 6 Eje transversal 6

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 7: Ubicado en el distrito de San Sebastián cuenta con una longitud aproximada de 1.15 kilómetros, variación de 4 a 2 carriles en la sección del ingreso del séptimo paradero de la Av. La cultura, según la Figura N° 7 y una intersección semaforizada con la Av. La Cultura. Se observa que esta vía, por la existencia del Aeropuerto Velasco Ateste, no logra conectar con la Calle Porvenir que intersecta y comunica este eje con la Vía de Evitamiento, generando congestión en otros puntos de acceso a este eje longitudinal.



Figura N° 7 Eje transversal 7

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 8: Ubicado en el distrito de San Sebastián, cuenta con una longitud aproximada de un kilómetro, una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y un diseño geométrico bastante variable, en cuanto al número de carriles de la calle Tomas Katari y lo cual se debe principalmente a la presencia de un pontón colocado para atravesar el río que corta este eje. Se observa también en la Figura N° 8 que este eje logra conectar un eje longitudinal incompleto, el cual viene a ser la prolongación de la Av. Collasuyo la cual una vez conectada con su principal provocará que el eje 8 tenga mayor tránsito vehicular siendo necesario que este tenga el diseño y las características geométricas suficientes para soportar el

volumen vehicular proyectado y de esta manera pueda articular la ciudad de manera transversal mejorando la fluidez de su red vial.



Figura N° 8 Eje transversal 8

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 9: Ubicado en el distrito de San Sebastián, este eje cuenta con una longitud aproximada de 0.62 kilómetros, una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y de acuerdo a la Figura N° 9 presenta una falta de acceso directo de la Av. Diego Túpac Amaru a la Vía de Evitamiento provocando que varios vehículos busquen otras rutas y recarguen innecesariamente otros ejes.



Figura N° 9 Eje transversal 9

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Ejes 10: Ubicado en el distrito de San Jerónimo, cuenta con una longitud aproximada de 0.65 kilómetros, una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y debido a la presencia del río Huatanay, se incluye en el diseño geométrico un pontón el cual cuenta únicamente con dos carriles, provocando esta variación congestión e incomodidad de operación de los vehículos. También ocurre que, según la Figura N° 10 este eje conecta a la calle Fray Martín de Porres con una diferencia considerable de metros generando que los usuarios de la vía evadan esta calle aislando el acceso a la zona de Pillao Matao y busquen otros ejes transversales generando congestión en estos.



Figura N° 10 Eje transversal 10

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 11: Ubicado en el distrito de San Jerónimo, cuenta con una longitud aproximada de 0.65 kilómetros una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y debido a la existencia del río Huatanay, de igual manera se incluye en el diseño geométrico un pontón el cual cuenta únicamente con dos carriles variando en ancho de sección con respecto a la avenida adyacente que cuenta con dos carriles por sentido y berma central generando congestión y una deficiente circulación de los vehículos. Lo mismo se observa en la Figura N° 13

en la prolongación de la calle Ciro Alegría ocasionarse una variación de cuatro a dos carriles en el eje.



Figura N° 11 Eje transversal 11

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 12: Ubicado en el distrito de San Jerónimo, cuenta con una longitud aproximada de 0.95 kilómetros, una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y de igual manera por a la presencia del río el diseño geométrico cuenta con un pontón únicamente de dos carriles esta variación genera congestión y una mala circulación de los vehículos. Según la Figura N° 12 cuando la calle Clorinda Matto de Turner intersecta con la Vía Expresa Sur, continua con un pontón el cual no conecta directamente a la Vía de Evitamiento, sino que es necesario realizar un giro y recorrer una distancia de aproximadamente 150 metros para empalmar a la siguiente vía que conectara con esta, sin embargo, es necesario recorrer de manera longitudinal otra distancia considerable para encontrar un ingreso a la calzada de dicha vía. Esto genera que los usuarios de la red vial de la ciudad evadan este eje transversal.



Figura N° 12 Eje transversal 12

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

Eje 13: Ubicado en el distrito de San Jerónimo, cuenta con una longitud aproximada de 0.5 kilómetros, una intersección semaforizada con la Av. La Cultura y debido a la presencia del rio Huatanay, de igual manera se incluye en el diseño geométrico un pontón generando problemas de circulación por la variación de la sección de calzada. Se observa en la Figura N° 13 que este eje al atravesar la Calle Sorama y el pontón se encuentra con una plazoleta lo que provoca la necesidad de realizar giros para continuar con la circulación a lo largo del eje y llegar a la Vía de Evitamiento.



Figura N° 13 Eje transversal 13

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor



Tanto para el planteamiento del problema como para el desarrollo de la presente investigación es necesario resaltar la importancia del Plan de Desarrollo Urbano, el cual si bien tiene varios componentes, para este estudio solo se consideró los siguientes:

COMPONENTE FÍSICO CONSTRUIDO

- Sub Componente Uso de suelo
 - Zonificación de Uso de Suelo
- Sub Componente Movilidad Urbana
 - Análisis del sub Sistema Vial
 - Análisis del Sub Sistema de Transporte

1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

1.2.1 Problema general

¿Cómo los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo contribuyen a la fluidez del tránsito vehicular de la ciudad?

1.2.2 Problemas específicos

- 1) ¿Existe homogeneidad y continuidad vial entre las avenidas de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo?
- 2) ¿El flujo vehicular de los ejes transversales ubicadas los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo es congestionado?
- 3) ¿El diseño geométrico de las intersecciones de los ejes transversales de los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo contribuye a la fluidez del tránsito?
- 4) ¿Es suficiente la capacidad vial de los ejes transversales ubicados los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo?



1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación técnica: Esta investigación se realiza en las ramas de ingeniería vial e ingeniería de tránsito usando distintas normativas, metodologías y manuales de la especialidad, para definir criterios de análisis. Los cuales determinan fórmulas, parámetros, tablas y técnicas a utilizar para la formulación de resultados referentes a la ingeniería de las vías motivo de estudio. Principalmente evidenciar la necesidad de una mejor planificación futura de infraestructura vial de la ciudad.

1.3.2 Justificación social: La investigación pretende mejorar la calidad de vida de los usuarios, mejorando las condiciones de tránsito automotor y la interconexión de las distintas vías, es decir que el flujo vehicular sea rápido, seguro y articulado, analizando el comportamiento vial de las rutas existentes encargadas de comunicar los ejes longitudinales, vías colectoras y demás avenidas de la ciudad. Para así poder proporcionar soluciones adecuadas que generarán desarrollo económico, inclusión e interacción social para los ciudadanos, mediante un crecimiento más ordenado de la ciudad y su red vial.

1.3.3 Justificación por viabilidad: Debido a la naturaleza de las técnicas de recolección de datos, es decir para la realización de aforos y registros vehiculares, mediciones geométricas y la evaluación de la distribución de las calles, los equipos a utilizar serán básicos y muy accesibles.

Al tratarse del análisis de vías públicas los datos necesarios están al alcance de todas las personas. En cuanto a la realización de cálculos, se cuenta con los equipos y la metodología apropiada, siendo factible en todo aspecto la realización de los procesos de investigación.

1.3.4 Justificación por relevancia: Este proyecto de investigación es de suma importancia debido al excesivo crecimiento del parque automotor de la ciudad del Cusco, que genera varios problemas en la actualidad, los cuales



empeorarán y podrían llevar a un colapso en el tránsito vial en la ciudad siendo necesaria la utilización integral de una o más vías principales a parte de la Av. La Cultura implementando y mejorando la articulación vial del Cusco.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Evaluar los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo con respecto a la fluidez del tránsito vehicular del Cusco.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1) Verificar la existencia de homogeneidad y continuidad vial entre las vías de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.
- 2) Determinar el flujo vehicular de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.
- 3) Analizar el diseño geométrico de los ejes transversales de los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.
- 4) Calcular de la capacidad vial de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.

1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1 Delimitación espacial

Esta investigación se desarrolla en la provincia del Cusco, Perú; en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo, en los siguientes ejes según las figuras 14 y 15 correspondientes al PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA PROVINCIA DE CUSCO 2013-2023.



Figura N° 14 Ejes transversales 1; 2; 3 y 4.

Fuente: Google Earth– Adaptación del autor

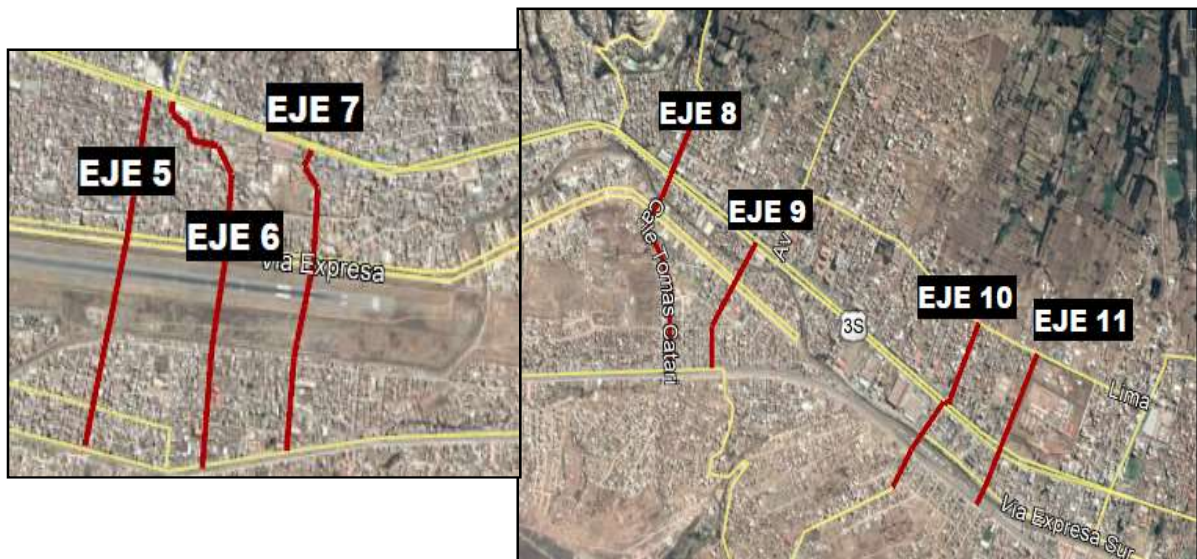


Figura N° 15 Ejes transversales 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11

Fuente: Google Earth – Adaptación del autor

1.5.2 Delimitación temporal

Este estudio se realizó durante el presente año 2017.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 Antecedentes internacionales

Título: “Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales”

Autor: Víctor Hugo Naranjo Herrera

Presentada a la institución: Universidad nacional de Colombia sede Manizales

Fecha: 2008

Lugar: Manizales, Colombia

Resumen: Es común detectar pelotones de vehículos en las vías de acceso a Manizales a distintas horas del día en diferentes días de la semana. Es por ello que debe realizarse un diagnóstico de la capacidad de dichas vías, al igual que del nivel de servicio que ofrecen al usuario, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación e intervención de las vías que llegan a la ciudad de Manizales. El presente documento explica de manera detallada la forma como se calcularon las capacidades y niveles de servicio de las cinco carreteras de dos carriles y la doble calzada que arriban a la capital caldense.

Conclusiones:

Todas las vías de acceso a la ciudad de Manizales presentan una capacidad buena en relación con los volúmenes de tránsito que registran, Así mismo, no se espera que se saturen en el corto plazo, de mantenerse la tendencia en el comportamiento del tránsito de los últimos años.

Su diseño ulterior y su posible implementación requieren de estudios complementarios. Entre las más destacadas para las carreteras de dos carriles con dos sentidos de circulación pueden considerarse: la rectificación de las vías, sobre todo en aquellas partes donde la curva restringe notablemente la velocidad; ampliar y/o construir bermas con ancho efectivo de 1,8 m como lo recomiendan los manuales; aumentar el ancho efectivo de los carriles hasta un mínimo de 3,6m;



construir un tercer carril de adelantamiento en aquellos sitios donde se generan filas o pelotones debido al tránsito de vehículos pesados y construir doble calzadas al menos en algunos segmentos de las vías. (Herrera, 2008)

Aporte directo: Luego del análisis de capacidad vial de la tesis de Herrera, se concluye que se puede considerar una rectificación de las vías, para aumentar el ancho efectivo de los carriles y así incrementar la capacidad de las vías, lo cual sería necesario aplicar en la mejora de las vías evaluadas en la presente investigación, a pesar de que el ancho de veredas este al mínimo de acuerdo a las normas, se puede, en algunas vías, exigir el cumplimiento del plan de desarrollo urbano para implementarlas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Título: “Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio según la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2010) en las intersecciones semaforizadas en la av. De La Cultura - tramo: jr. Cahuide - Calle Urb. Santa Úrsula, en la ciudad del cusco”

Autores: Vega Quispe, Jhosep Alexander Y Rivas Huamán, Jorge Arturo

Presentada a la institución: Universidad Andina del Cusco

Fecha: 2017

Lugar: Cusco, Perú

Resumen: En la ciudad del Cusco, en la Av. de La Cultura está localizada una zona conformada por centros comerciales, supermercados, instituciones educativas, los cuales son los principales generadores de viajes que son la principal causa del congestionamiento en las intersecciones.

La siguiente investigación fue orientada al estudio de la Capacidad Vial y Nivel de Servicio de las intersecciones semaforizadas de un tramo importante de la Av. De La Cultura conformado por 7 intersecciones que son muestra del estudio.

Para esta investigación se ha aplicado la metodología del HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010), por la carencia de una norma nacional. Se ha considerado cada uno de los lineamientos y procesos de este manual por lo cual ha podido diferir



contra un estudio realizado con las normas viales vigentes en Perú o ampliar dichas investigaciones previas. La metodología se ha aplicado a cada una de las intersecciones en estudio, reflejando los bajos Niveles de Servicio que se perciben diariamente, sobre todo en horas de la noche, donde existe congestionamientos prolongados. También se ha reflejado la poca capacidad o capacidades sobrepasadas de algunas viales secundarias dentro de las intersecciones que afectan al comportamiento adecuado de la intersección misma.

Los resultados del análisis de 7 intersecciones semaforizadas en dicha avenida no son óptimos, siendo que los niveles de servicio no son muy favorables para una adecuada circulación vehicular en las horas de mayor volumen, teniendo un promedio de “D”

Conclusiones:

- Se concluye que la aproximación de la Calle Urb. Santa Úrsula (hacia el norte) tiene una capacidad vial de 485.22 veh/h/carril, y con relación al volumen vehicular existente tiene un funcionamiento óptimo con un nivel de servicio B; en la Av. De La Cultura aproximación “hacia el este” se encuentra de igual forma un funcionamiento óptimo con una capacidad de 1400.34 veh/h/carril para el movimiento recto y del carril compartido con un giro a la derecha de 187 veh/h/carril, ambos con un nivel de servicio B; ambas aproximaciones presentan un flujo vehicular adecuado frente a las condiciones actuales. Para la aproximación hacia el este debido al giro a la izquierda permitido se tiene una capacidad vial óptima, pero un nivel de servicio E, por el conflicto con la demanda opuesta y la no exclusividad del carril, por otro lado, para el movimiento recto a pesar de la existencia de un paradero se tiene una capacidad y nivel de servicio óptimas.
- Las aproximaciones transversales, tanto “hacia el norte” como “hacia el sur” tienen una capacidad frente al volumen vehicular saturadas, ocasionado por los giros a la izquierda conflictivos, preponderando niveles de servicio F. Para la aproximación hacia el este se tienen capacidades en relación con el volumen vehicular óptimas, excepto por el carril izquierdo debido a tener un giro a la izquierda permitido, teniendo un nivel de servicio C. En la aproximación hacia el oeste se tiene el mismo caso, pero debido a la mayor



cantidad de vehículos en el giro a la izquierda permitidos se tiene un nivel de servicio F. Esta intersección tiene un nivel de servicio promedio F, debido a que todas las aproximaciones tienen flujos conflictivos tanto peatonales como vehiculares por la existencia de giros a la izquierda permitidos.

- En las aproximaciones transversales a la Av. de La Cultura se tienen niveles de Servicio D y E, esto a causa de la existencia de giros a la izquierda conflictivos. También se presenta un giro a la izquierda permitido en la aproximación “Hacia el este” provocando conflictos con peatones y generando colas extensas en este carril, reduciendo el Nivel de Servicio de este grupo de carril a un nivel “F”. Para la aproximación “Hacia el Oeste” se tienen niveles de servicio de D, B, Y C; siendo “D” para el giro a la izquierda, pero sin llegar a saturarse debido a la baja predisposición al giro por parte de los vehículos. Esta intersección presenta un nivel de servicio promedio de “E”.
- La aproximación “hacia el Norte” (Av. Ricardo Palma) y la aproximación “hacia el Este” presentan capacidades capaces de soportar la enorme cantidad de vehículos, dando un Nivel de Servicio eficiente. El mayor problema encontrado es el giro a la izquierda en la aproximación hacia el Oeste, que genera colas extensas y bloqueo en más de un carril reduciendo el Nivel de Servicio. También esta intersección se ve afectada por los giros en U, realizados en la aproximación hacia el Este que reduce el tiempo que los vehículos tienen para atravesar la intersección, dando un nivel de servicio E.

(Vega Quispe & Rivas Huamán, 2017)

Aporte directo: el aporte de esta tesis se encuentra en los pasos metodológicos para el análisis de los niveles de servicio (HCM 2010) que sirvieron de orientación y guía para el análisis de las intersecciones semaforizadas en la presente investigación, ya que pertenecen a una misma red vial.

Título: “Análisis de impactos del desarrollo de proyectos urbanos en el sistema vial y de transporte”

Autor: Javier Enrique Sotelo Montes



Presentada a la institución: Universidad Nacional de Ingeniería

Fecha: 2010

Lugar: Lima, Perú

Resumen: Existe una relación interfuncional entre el uso del suelo urbano y el sistema de transporte, esto es, cuando hay un cambio en el uso del suelo por la construcción de centros comerciales o residenciales (por ejemplo), se incrementan los flujos de transporte tanto público como privado. Si ante estos cambios la infraestructura existente no es adecuada para soportar el incremento de estos flujos (transporte público y privado), se inician los problemas de congestionamientos y otras externalidades (accidentes y contaminación ambiental). Motivo por el cual se debe realizar el Análisis de Impactos del Desarrollo de Proyectos Urbanos en el Sistema Vial y de Transporte, para predecir, analizar y dar alternativas de solución a los impactos que producen éstos en las vías, sean positivos o negativos. Para su análisis se deberá de realizar Estudios de Tránsito, con la finalidad de optimizar las condiciones de accesibilidad, tránsito de los flujos vehiculares y de estacionamiento, así como aumentar las condiciones de accesibilidad y seguridad a los desplazamientos peatonales y de ciclistas en concordancia con el sistema de transporte público y privado. Si se construyen nuevos proyectos urbanos (Nuevos Centros comerciales, Conjuntos Habitacionales, Colegios, Restaurantes, Hoteles, Universidades, Etc.) que impactarán en el sistema vial y de transporte, entonces es necesario analizar los impactos identificándolos y evaluándolos para formular soluciones que permitan maximizar y/o minimizar dichos impactos que producirán estas nuevas construcciones al sistema vial y de transporte.

Esta tesis trata sobre el estado del arte en la zona de estudio, presentando una breve caracterización, se realiza la definición del problema, la selección del tipo de información necesaria, la colecta y análisis de datos e información y la selección de la metodología a ser empleada. El estudio de caso, realizando la descripción del caso, se define el área de influencia y la formulación, aplicación y evaluación de los modelos seleccionados en la metodología y su análisis de resultados. El estudio origen – destino, determinándose el objetivo, la metodología, los parámetros para los formatos de encuesta, los resultados y el conteo personal.

**Conclusiones:**

- Se demuestra que existe una relación interfuncional entre el uso del suelo y el sistema transporte en la zona de estudio, por la cantidad de personas que transitan (90,000 a 100,000) diariamente y estas personas emplean el sistema vial y de transporte (público y privado), para movilizarse.
- Las vías donde se ha realizado cambios de uso de suelo, generalmente presentan grandes congestionamientos por lo que es necesario tomar acciones tanto en el sistema vial como en el de transporte.
- La Panamericana Norte Sentido Sur Norte, tiene una capacidad faltante de alrededor de 38.85% y en el sentido Norte Sur tiene una capacidad faltante de 4.07%, a pesar que la vía auxiliar en este caso la Av. Alfredo Mendiola Ayuda a descongestionar el tránsito ya que desde la Av. los alisos tiene tránsito fluido, en el caso de la Av. Carlos Alberto Izaguirre en ambos sentidos tienen una capacidad faltante de 22.26% en el sentido (O-E), debido a que muchos vehículos entran con un giro a la derecha; a la Panamericana Norte y de 18.34% en el sentido (E-O). y ya no es posible aumentar la capacidad de las vías, lo que hay que hacer es racionalizar el transporte público (rutas).
- En la zona de estudio no se tiene flujo libre de circulación y velocidades de operación adecuada, por la mala práctica de los conductores de los vehículos de servicio público.

(Montes, 2009)

Aporte directo: el aporte de esta investigación viene a ser el hallazgo de la relación interfuncional definida entre el uso de suelo y el sistema de transporte en, en el caso de haber un cambio en la zona debido a la construcción de grandes centros de comercio como TTOTUS Y Real Plaza, lo que da validez a la zonificación por densidad poblacional y nivel de ingresos económicos utilizados en el modelo de Bazant.

Título: “Evaluación y planteamiento de optimización de la capacidad vial, congestión vehicular y análisis del flujo vehicular en las principales intersecciones semaforizadas del centro histórico del distrito de Santiago y avenidas aledañas al mercado San Pedro”



Autor: Noel Molina Navarrete

Presentada a la institución: Universidad Andina del Cusco

Fecha: Enero 2014

Lugar: Cusco, Perú

Resumen: Al generarse un congestionamiento en las intersecciones de estudio (Av. Ejército, Av. 3 Cruces de Oro, Av. Antonio Lorena, entre otras), debido a la infraestructura vial, es necesario buscar nuevas formas de soluciones como la realización de un análisis de congestionamiento, niveles de servicio de servicio y capacidad de la situación actual en las principales intersecciones semaforizadas. Se simuló las condiciones actuales de operación en Synchro 7 y Simtraffic 7. Se buscó tras la simulación del planteamiento de optimización de los flujos vehiculares, así como la infraestructura vial existente y se obtuvo que disminuye la congestión vehicular en un 57.94%, optimizando los flujos proyectados a un crecimiento del 1.06% de parque automotor.

Conclusiones:

- Las intersecciones principales del Centro Histórico del distrito de Santiago y en Avenidas aledañas al mercado San Pedro, presentan un 62.50% de niveles de servicio bajo, el 37% presentan niveles de servicio altos y las capacidades actuales en las intersecciones presentan un 21.42% que exceden la capacidad adecuada de operación del sistema. Con el Plan de Optimización se obtiene un 28.57% de intersecciones que exceden su capacidad, pero que contarán con niveles de servicio aceptables.
- Las condiciones actuales de la infraestructura vial y usos de los accesos en las intersecciones principales presentan inadecuadas condiciones de uso que generan colas y demoras en toda la intersección (156.69seg –104.5seg – 151.4seg– 279.1seg y 100.5 seg) es de 86% del total de demoras (920.59seg). con el plan de optimización se optimizan estas demoras a través de los accesos.
- El plan de optimización los sistemas de control (semáforos) operarán de acuerdo a la demanda y oferta que pueda ofrecer la infraestructura, en este ítem también se considera el incremento de un semáforo para la Int. N° 14



(verde efectivo de 27 y 55 seg por fase), para el control total de la intersección, disminuyendo los fenómenos de la congestión.

Aporte directo: Esta tesis aporta evidenciando la carencia del cumplimiento del plan de desarrollo urbano trazado para la ciudad del Cusco, así como la falta de calidad de su infraestructura vial. Lo que se demuestra en los bajos niveles de servicio tanto en la intersecciones analizadas del centro histórico por Molina Navarrete, como las que son analizadas en la presente investigación, de igual manera ocurre con la capacidad de dichas intersecciones que es excedida. Esta tesis también utiliza la metodología del HCM para analizar y modelar las intersecciones semaforizadas, siendo una valiosa guía para la presente investigación.

Título: “Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada Mariscal Castilla – Julio Sumar el Tambo, 2015”

Autor: Víctor Oscar Osores Torres

Presentada a la institución: Universidad Nacional del Centro del Perú

Fecha: 2015

Lugar: Huancayo, Perú.

Resumen: Es una práctica común que las medidas de eficiencia para la evaluación del comportamiento de intersecciones semaforizadas en la ciudad de Huancayo sean determinadas empleando como herramientas las metodologías de análisis del HCM y Synchro 8; las mismas que se fundamentan en los principios de la ingeniería de tráfico y han sido desarrolladas empleando información real de campo que no necesariamente presentaría características similares a las locales, siendo necesario determinar si su aplicación directa sería válida para la obtención de valores representativos de tasas de flujo de saturación, demoras y colas. El trabajo de investigación aquí presentado emplea las metodologías mencionadas para el análisis de la intersección Julio Sumar-Mariscal Castilla una intersección semaforizada del distrito de El Tambo.



Conclusiones:

- Los factores encontrados y/o ajustados en el presente trabajo fueron los siguientes: Tasa de flujo de saturación actuante y tasa de flujo de saturación ideal. El factor de tiempo perdido en la partida. Modificación del factor de ajuste por ancho de vía, Determinación del tiempo de cruce peatonal en la intersección. Capacidad de Utilización.
- El resultado del análisis de una intersección bajo esta metodología producirá los siguientes indicadores: Relaciones volumen – capacidad para cada aproximación a la intersección. Brinda indicadores de operación del sistema tales como vías e intersecciones. Control promedio de demora para cada aproximación y para toda la intersección, así como los correspondientes Niveles de Servicio. Así mismo, permite evaluar el desempeño de las programaciones semafóricas, el ciclo de semáforo.
- Dado que esta metodología provee un análisis total de la capacidad y nivel de servicio, puede ser usada para evaluar alternativas de demanda de tráfico, diseño geométrico, planes de semaforización, que ayuden a corregir el comportamiento de la intersección.

Aporte directo: el aporte de esta investigación es la utilización de la Metodología del HCM para el análisis de una intersección semaforizada, produciendo indicadores como la relación volumen – capacidad con lo que se puede evaluar de manera integral la intersección con respecto a su geometría y a su ciclo. Esta evaluación de acuerdo a la metodología es usada en cada acceso de la intersección analizada y también calcula su tiempo promedio de demora, siendo estos cálculos fundamentales para hallar el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas que serán estudiadas en la presente investigación.



2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Red vial

Para el presente proyecto de investigación es necesario definir una red vial ya que es el entorno principal de estudio y de acuerdo al (MTC, 2006) “es el conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (nacional, departamental o vecinal),” en este caso enfocada en una red vial urbana con la principal función de articular el tránsito de la ciudad del Cusco. Existen dos sistemas viales detallados a continuación.

De acuerdo al reglamento de sistema vial urbano de Huancavelica se definen los siguientes:

Sistema Vial Principal: articula y propicia el acceso e interrelación entre todas las áreas de la ciudad, mediante un sistema de circulación organizada, y jerarquizada de acuerdo a los requisitos de la población usuaria en términos de sus modalidades principales de transporte terrestre (vehicular, peatonal, animal). Corresponde estructurar un sistema de fácil identificación que incorpore de una manera organizada las cualidades de circulación, estableciendo jerarquía, direcciones y sentidos según el flujo de circulación, su origen y destino. (MPH, 2016)

Sistema Vial Secundario: Articula pequeños sectores internos de la ciudad, y está constituido por vías locales que sirven de acceso a propiedades; cuya normatividad están establecidos en el RNE Norma GH.020. (MPH, 2016)

2.2.2 Clasificación de la red vial

Para el Instituto de Construcción y Gerencia:

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto rural como urbana se debe clasificar de tal manera que se pueda fijar funciones específicas a las diferentes vías y calles para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura



clasificándolas en cuatro sistemas funcionales de vialidades para áreas urbanas. (ICG, 2005)

Estas vías se clasifican según su funcionalidad en:

a) Vías Expresas

Este tipo de vías:

Establecen relación entre el sistema interurbano y el sistema vial urbano, sirven principalmente para el tránsito de paso, unen zonas de elevada generación de tráfico transportando grandes volúmenes de vehículos con circulación a alta velocidad y bajas condiciones de accesibilidad, sirven para largos viajes entre grandes áreas de vivienda y concentraciones industriales. (ICG, 2005).

b) Vías Arteriales.

Las vías arteriales son las que:

Permiten el tránsito vehicular, con media o alta fluidez, baja accesibilidad y relativa integración con el uso del suelo colindante. Estas vías deben ser integradas dentro del sistema de vías expresas y permitir una buena distribución y repartición del tráfico a las vías colectoras y locales. (ICG, 2005).

c) Vías Colectoras

Se indica que:

Las vías colectoras sirven para llevar en tránsito de las vías locales a las arteriales y en algunos casos a las vías expresas cuando no es posible hacerlo por intermedio de las vías arteriales. Dan servicio tanto al tránsito de paso, como hacia las propiedades adyacentes, pueden ser colectoras distritales o interdistritales. (ICG, 2005).

d) Vías locales

Este tipo de vías son aquellas:

Cuya función principal es proveer a los predios o lotes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio, generando tanto de ingreso como de salida, por ella transitan vehículos livianos, ocasionalmente semipesados; se permite el

estacionamiento vehicular y existe tránsito peatonal irrestricto. Las vías locales son conectadas entre ellas y con las vías colectoras. (ICG, 2005).

2.2.3 Jerarquía de una red vial

Dentro de la estructuración urbana de una ciudad encontramos la red vial que por efectos de esta investigación se requiere para definir para un mejor cálculo de la capacidad vial la siguiente jerarquización detallada según Jan Bazant.

- a) **Arteria urbana principal o vía rápida:** se refiere a los circuitos periféricos y anillos intermedios de la red, que cumplen la función principal de brindar un servicio de largos recorridos dentro del sector urbano, comunicando de un extremo al otro la ciudad. También son consideradas en esta jerarquía las arterias que rodean la ciudad para evitar que el transporte de carga invada las vías cotidianas y los corredores urbanos que presenten altas densidades para que los usuarios tengan acceso a ellos desde cualquier punto de la ciudad.

Al tratarse de vías de alta velocidad (80 km/h) el ancho de carril debe ser constante de 3.30 a 3.60 metros siendo necesarios por lo menos tres carriles por sentido y una barrera central de protección. (Bazant, 2011).

Algunos de los ejes transversales motivo de estudio en la presente investigación corresponden a esta jerarquización debido a que conectan la ciudad de un punto a otro, sobre todo los que tienen mayor longitud.

- b) **Avenida primaria:** su función es conectar los distintos sectores de la ciudad buscando incorporar otros sectores urbanos dentro del sistema funcional de la ciudad. Al ofrecer esta interconexión y continuidad se distribuirá el flujo vial de la ciudad dentro de todo el sistema primario de circulación. Es por esto que muchas de las grandes avenidas aunque tengan pasos a desnivel, con el hecho de ser discontinuas a escala urbana, se congestionan con facilidad, pues no ofrecen opciones de interconexión con el resto del sistema vial primario para recorridos de gran longitud. Por tal razón los camellones deben tener un mínimo de 2.4 metros para que en caso de giros a la izquierda, este ancho permita la ubicación temporal de los vehículos en fila. Sin embargo para que la avenida primaria conserve su fluidez hay que buscar las



intersecciones semaforizadas tengan por lo menos 1000 metros o más entre sí. (Bazant, 2011)

- c) **Arteria secundaria o colectoras urbana:** estas son las encargadas de canalizar a los residentes dentro de cada sector o distrito habitacional a partir de alguna arteria primaria de la ciudad. Para estas arterias es recomendable que las paradas de autobuses y ambulantes se ubiquen al menos 10 metros alejadas de las esquinas para dejar despejados los cruces peatonales o bien se ubiquen después de la intersección o semáforo. (Bazant, 2011).

- d) **Calles locales o distribuidoras:** tienen como función distribuir el flujo peatonal y vehicular de la arteria secundaria destinándolas a las viviendas. Son exclusivas para el tránsito de los residentes y no para los vehículos de paso, por lo que tienen velocidades menores debido a que las calles con frecuencia son invadidas para la ampliación de vivienda de los residentes. (Bazant, 2011).

2.2.4 Planeación urbana

En la presente investigación, la principal causa del problema motivo de estudio es la falta de una planeación urbana coordinada y constante, siendo los principales aspectos los siguientes.

Desde un punto de vista social se orienta a buscar equidad en la distribución de recursos, buscando con ello compensar la gran desigualdad económica resultado del sistema. Según el punto de vista legal, es un instrumento de negociación entre el gobierno y la población. De acuerdo al punto de vista económico, representa los centros de actividad y servicios sobre los cuales se moviliza la economía moderna buscando impulsar el desarrollo económico y una mayor derrama de empleos. En cuanto al punto de vista sistémico, una ciudad es un conjunto de sistemas interdependientes como son la circulación vial, el transporte y la redes de infraestructura, en lo que dicha planeación



busca mantener interacción eficiente para beneficio de los habitantes. (Bazant, 2011).

La problemática principal de la planeación urbana de nuestra ciudad es explicada por Jan Bazant, 2011, quien argumenta esta deficiencia al corto tiempo de duración de los periodos de gobierno de las autoridades selectas, quienes en sus pocos años de estadía en el poder buscan completar e inaugurar obras pequeñas para demostrar que su gobierno fue eficiente y trabajador. Estas obras pequeñas en muchos casos son vías pequeñas que debido a la falta de tiempo no se completan y van ampliándose en cada periodo de gobierno por diferentes autoridades y diferentes criterios lo cual provoca no solo que la infraestructura de algunos de los ejes transversales del Cusco no esté completa sino que también genera una discontinuidad en el diseño geométrico observándose variación sobretodo en su sección transversal.

2.2.4.1 Planeación urbana estratégica

En la ciudad del Cusco existe un plan de desarrollo urbano sin embargo el enfoque estratégico es diferente a los planes regulatorios, en este caso es necesario homogenizar los criterios de uso del suelo urbano para que exista un orden en la morfología, espacios y los sistemas que operan, evidenciando que los planes urbanos estratégicos se enfocan hacia acciones sobre aspectos que son vitales para el desarrollo urbano de la ciudad (Bazant, 2011). Tratándose principalmente de apoyarse normativamente para desplegar acciones estratégicas hacia componentes como:

- Reestructuración urbana: con el objetivo de analizar los flujos vehiculares y llevar a cabo obras viales primarias que de manera secuencial conduzcan a articular el sistema vial de la ciudad. Buscando completar obras pequeñas en 20 o 30 años que lleguen a conformar un sistema articulado de circulación sobre las avenidas primarias de la ciudad.
 - Accesibilidad a zonas urbanas concurridas
 - Identidad urbana y preservación del patrimonio histórico proyectos urbanos de oportunidad
- (Bazant, 2011)

2.2.5 Diseño geométrico de vías urbanas

El diseño geométrico de los ejes transversales a estudiar en el presente proyecto juega un rol muy importante porque de acuerdo a este se definirán las secciones de las vías analizadas, así como la uniformidad del diseño en general de las avenidas. De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones se define como el estudio geométrico de una carretera tomando como base el tráfico que soporta, el alineamiento de su eje, un conjunto de características técnicas y de seguridad que debe reunir para el tránsito vehicular y peatonal formando parte de una gestión inteligente. (MTC, 2006)

Algunos de los aspectos importantes a profundizar en cuanto al diseño geométrico de las vías urbanas vienen a ser los siguientes:

a) Capacidad de las vías

Este parámetro debe especificarse técnicamente debido a la necesidad de dimensionar adecuadamente los carriles según una capacidad estándar de acuerdo a estudios previos. De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones la capacidad de las vías principales y de las vías de enlace en intersecciones a desnivel, expresada en vehículos ligeros equivalentes por hora (VL/hora) se define en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1 Capacidad de las vías en intersecciones a desnivel

Tipo de Vía	Ancho del Carril (metros)	Capacidad por carril (vehículo/hora)
Vía Principal	3,60	1.500
Vía Secundaria	3,30	1.350
Vía de Enlace		1.200
Carril de Deceleración		1.200, Colocar señal informativa antes de llegar a la intersección (200 m).

Fuente: Manual de Diseño Geométrico 2014 (M.T.C, 2014)

b) Flujos emergentes

En esta investigación se analizarán los comportamientos de los flujos vehiculares presentes en los ejes a estudiar y el diseño geométrico que estos presentan, siendo necesario definir flujos máximos siendo:

El que emerge (flujo en el carril más cercano, aguas arriba del punto de entrada, más el flujo proveniente de la vía que conecta a la principal) está comprendido entre 1300 y 2000 vehículos por hora. Llegando a formular la condicionante de que, si el flujo que emerge es superior a 2000 vehículos por hora, se debe proveer un carril adicional en la vía principal, más allá del punto de intersección. (M.T.C, 2014).

c) Sección de Entrecruzamiento

Al profundizar en el diseño geométrico de nuestros ejes transversales se busca también especificar un diseño de planta presente en las vías a estudiar siendo necesario el estudio de las secciones de entrecruzamiento que de acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones se definen como la zona donde se entrecruzan distintos flujos vehiculares que siguen un mismo sentido de circulación. Cuya longitud y ancho de sección determinan la facilidad de maniobra de los vehículos a través del mismo y en consecuencia su capacidad. Llegando a definirse la siguiente formula (M.T.C, 2014):

Ecuación 1 Sección de Entrecruzamiento

$$N = \frac{F_1 + F_2 + W_1 + W_2 \times k}{v_s}$$

- N= ancho del tramo de entrecruzamiento en carriles
- F1 y F2 = volúmenes de tránsito directo
- W1= volumen mayor que se entrecruza
- W2= volumen menor que se entrecruza
- K= factor de influencia de entrecruzamiento
- Vs= volumen de servicio correspondiente a la calidad del flujo deseado

**d) Balance de Carriles**

Al definir la problemática encontrada en esta investigación se observa que el número de carriles de las distintas vías que conforman los ejes transversales es muy variable generando la necesidad de efectuar un balance de carriles en el estudio de intercambios contemplando los siguientes puntos:

- La distancia entre puntos de salida sucesivos debe ser al menos la longitud del carril que interviene en el cambio de velocidad y se debe incrementar hasta donde sea necesario para facilitar las maniobras y la señalización.
- Distancia mínima entre puntos consecutivos de entrada y salida: 180 metros Angulo deseable entre la vía de enlace o secundaria y la calzada de la vía principal: 4 a 5°.
- Longitud mínima de las narices de entrada y salida: 45 metros.
- Si después de una punta de salida el ancho de la vía principal se reduce en un carril, la reducción debe hacerse mediante una línea diagonal cuya longitud sea superior a 90 metros, medidos a partir de la nariz de salida.

(M.T.C, 2014)

e) Carriles de Cambio de Velocidad

Puede que, a futuro para mejorar la fluidez del tránsito, específicamente en cuanto al diseño geométrico corresponde, se deba incluir en los ejes transversales algunos carriles de cambio de velocidad que “se deben ubicar en los tramos en donde la vía principal es razonablemente recta y los estándares de nivel y visibilidad son altos. Nunca se deben ubicar en los alineamientos curvos de la vía principal” (M.T.C, 2014).

f) Sección transversal

Se define a la sección transversal como “calzada, bermas, cunetas, sardineles y protecciones que son los elementos principales que se unen a las condiciones del terreno (taludes de corte y terraplén) para definir las secciones transversales de un ramal. Ocasionalmente pueden aparecer separadores que serán tratados como islas divisorias.” (ICG, 2005).

2.2.6 Flujo vehicular

El flujo vehicular de los ejes de articulación transversal de la presente investigación será un parámetro fundamental para definir los análisis viales a realizarse. Este flujo es definido como “el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle.”(SÁNCHEZ, 2011).

El mismo se especifica que “Las tres características principales que se pueden explicar matemáticamente son:

- La velocidad
- El volumen o intensidad de tránsito.
- La densidad”

(SÁNCHEZ, 2011)

También define las principales variables relacionadas al flujo vehicular que detalla de la siguiente manera.

Tasa de flujo o flujo (q) y volumen (Q) que 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 específico, T , inferior a una hora, expresada en vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s). No obstante, la tasa de flujo q , también puede ser expresada en vehículos por hora (veh/h), teniendo cuidado de su interpretación, pues no se trata del número de vehículos que efectivamente pasan durante una hora completa o volumen horario. (SÁNCHEZ, 2011)

Intervalo simple (h_i) que es el intervalo de tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos.

Intervalo promedio (\bar{h}) Es el promedio de todos los intervalos simples, h_i , existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículo (s/veh), que se calcula con la siguiente expresión (TBR, 2010):

Ecuación 2 Intervalo promedio

$$\tilde{h} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N - 1}$$

- h= intervalo promedio (s/veh)
- N= número de vehículos (veh)
- N-1= número de intervalos (veh)
- hi= intervalo simple entre el vehículo i y el vehículo i+1

Una vez definidos estos parámetros y variables fundamentales se proceden a profundizar en el mismo análisis de flujo.

2.2.6.1 Análisis del flujo vehicular

En la presente investigación será necesario realizar mediciones de flujo vehicular y analizarlas para determinar la capacidad de las vías a estudiar, el resultado fundamental al que se llegará luego de este análisis será el tipo de flujo vehicular que se presenta en las vías, y que según el Highway Capacity Manual (TBR, 2010) “Existen 2 clases de flujos y son:

a) Flujo ininterrumpido: Autopistas, camino multicarril, camino de dos carriles, a pesar de estar extremadamente congestionadas.

b) Flujo interrumpido: Intersección semaforizada y no semaforizada, arteria urbana, transporte público, vías para peatones y bicicletas”

En esta evaluación se estudiarán avenidas urbanas dentro de la Ciudad del cusco, dichas avenidas y calles tienen la función de conectar transversalmente los ejes longitudinales, por lo que en la mayoría de los casos presentarán intersecciones, semaforizadas y no semaforizadas, cumpliendo la función de arteria urbana en todos los casos. Esto quiere decir que los flujos a estudiar son netamente o en su mayoría interrumpidos.

Para medir los flujos vehiculares de las conexiones transversales a estudiar, será necesario definir un criterio para relacionar la cantidad de vehículos y el periodo en el que se aforaron estos para lo cual se toma en cuenta una “Tasa de flujo (q)

y volumen (Q) que es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección, se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 3 Tasa de flujo

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

N= número de vehículos. T= tiempo específico. Q=tasa de flujo” (Cal y Mayor, 2007)

2.2.6.2 Volumen de tránsito

Se define:

Los volúmenes tránsito son la cantidad de elementos que circulan por las redes viales, se incluyen todo tipo de usuarios, ya sean peatones, conductores, ciclistas entre otros y son el principal indicador de esta investigación ya que son ellos los que van a definir muchos parámetros de las vías a estudiar ya que son quienes las usan y se interrelacionan directamente. (Roess & Prasad, 2004)

Por lo tanto, la medición de este parámetro es fundamental para investigación, así como los siguientes conceptos directamente relacionados:

- El volumen es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico.
- La tasa de flujo es la frecuencia a la cual pasan los vehículos o personas durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.
- La demanda es el número de vehículos (o personas) que deban viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que en algunos viajes se desvían a rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial.
- La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que



esto ocurre debido a la capacidad estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo.

(Roess & Prasas, 2004)

Estos conceptos se interrelacionan y definen qué es lo que se obtendrá con las mediciones, es decir que, al analizarlos conjuntamente, ya sea como demanda o usuarios, se podrá definir a qué parámetro corresponde cada medición. Como se indica:

Como puede observarse, la demanda es una medida de vehículos (o personas) que esperan ser servidos, distinto de los que son servidos (volumen) y de los que pueden ser servidos (capacidad). Cuando la demanda es menor que la capacidad, el volumen es igual a la demanda, por lo que los conteos o aforos que se realicen, son mediciones de la demanda existente. (Roess & Prasas, 2004)

2.2.6.2.1 Volúmenes de tránsito horarios

Ya que en la presente investigación se realizarán aforos vehiculares, es necesario clasificar estos volúmenes de acuerdo al periodo determinado en que fluyen por las vías.

a) Volumen horario máximo anual (VHMA)

Corresponde al “máximo volumen horario que pasan por un punto o sección de un carril, es la hora de mayor volumen de las 8´760 horas del año.” (Cal y Mayor, 2007)

Como todo flujo vehicular también se medirá en vehículos respecto a la hora, es por esto que de todas las horas que contiene un año, el valor a tomarse como resultado de la medición es el mayor de todos.

b) Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Corresponde al “máximo número de vehículos que pasan por un punto o secciones del carril durante 60 minutos consecutivos” (Cal y Mayor, 2007). Con respecto a este volumen es importante respetar la continuidad de los minutos de los cuales se tomará el valor de aforo ya que de esto dependerá la interpretación de datos.

c) Volumen horario de proyecto. (VHP)

Para la (AASHTO, 2011):

Como los volúmenes de demanda en el año de diseño van a variar de hora en hora, es preciso escoger uno de esos volúmenes como volumen horario de diseño (VHD). Para vías urbanas sugiere que para cada semana del año de diseño se estime el valor del máximo volumen en las horas picos (diarias) y se designe el VHD como el promedio de esos valores.

Estos valores luego de identificarse y promediarse para obtener un valor representativo, se usan generalmente para el planteamiento y la formulación de diseño en los diferentes proyectos.

Los volúmenes aforados serán fluctuantes con respecto a los horarios en los que se realicen, por más que se trate de horas punta, es por esto que es necesario relacionarlo con el volumen horario de máxima demanda para los fines de la presente investigación.

d) Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

Para (Cal y Mayor, 2007) “la determinación de la hora de máxima demanda se llama factor horario de máxima demanda FHMD y se da como:

Ecuación 4 Factor horario de máxima demanda

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{max})}$$

Dónde:

- N= número de periodos durante la hora de máxima demanda
 - VHMD= volumen horario de máxima demanda
 - Qmax= volumen máximo, puede ser 5,10 o 15 minutos

Sin embargo es necesario acotar que en (ICG, 2005) nos indica que se pueden tomar valores como: Qmax = 15 min, N es dividido entre la cantidad de minutos (5,10 o 15) en una determinada hora a utilizar.

2.2.7 Densidad

De acuerdo a la cita de José Sánchez Mozo la densidad es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km). Representado por la siguiente expresión (SÁNCHEZ, 2011):

Ecuación 5 Densidad

$$D = \frac{v}{s}$$

- V= razón de flujo (veh p/h)
- S= velocidad promedio de viaje (km/h)
- D= densidad (veh p/km/carril)

Entre las variables fundamentales para la determinación de la densidad, de acuerdo a la cita de Sánchez definimos las siguientes.

Densidad o concentración (k) Es el número, N, de vehículos que ocupan una longitud específica, d, en 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. Con la expresión (SÁNCHEZ, 2011):

Ecuación 6 Concentración

$$k = \frac{N}{d}$$

Espaciamiento simple (si) Es la distancia entre el paso de dos vehículos consecutivos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras.

Espaciamiento promedio (\bar{s}) Es el promedio de todos los espaciamientos simples, si, 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, de acuerdo a la expresión (SÁNCHEZ, 2011):

Ecuación 7 Espaciamiento promedio

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

- S= espaciamento promedio (m/veh)
- N= número de vehículos (veh)
- N-1= Número de espaciamentos (veh)
- Si= espaciamento simple entre el vehículo i y el vehículo i+1

2.2.8 Clasificación de vehículos

De acuerdo al Instituto de Gerencia y Construcción clasifica a los vehículos automotores en el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas en la siguiente Tabla N°.

Tabla N° 2 Clasificación Vehicular

VEHICULOS AUTOMOTORES	MENORES	VEHÍCULOS MENORES AUTOMOTORES	Vehículo provisto de dos, tres o cuatro ruedas, provistos de asiento y/o montura para el uso de conductor y pasajeros según sea el caso, tales como motos triciclos cuantrimotos y autos
	MAYORES	AUTOMÓVIL	Vehículo automotor para el transporte de personas, normalmente hasta 6 asientos y excepcionalmente hasta 9 asientos
		STATION WAGON	Vehículo automotor derivado del automóviles que al rebatir los asientos posteriores permite ser utilizado para transporte de carga
		CAMIONETA PICK UP	vehículo automotor derivado del automóviles que al rebatir los asientos posteriores permite ser utilizado para transporte de carga liviana y con peso bruto que no exceda las 4 tn.
		CAMIONETA PANEL	Con carrocería cerrada para transporte de carga liviana, peso máximo 4 tn.
		CAMIONETA RURAL	Con capacidad de hasta 16 personas y peso bruto vehicular menor a 4 tn
		ÓMNIBUS	Con capacidad de mas de 16 asientos y pero bruto menor a 4 tn
		CAMIÓN	Vehículo autopropulsado motorizado destinado al transporte de bienes con un peso bruto vehicular igual o mayor a 4 tn
		REMOLQUE	Vehículo sin motor diseñado para ser halado por un camión u otro vehículo motorizado, de tal forma que ninguna parte de su peso descansa sobre el vehículo remolcador.

Fuente: Manual de Diseño de Vías Urbanas (ICG, 2005) – Adaptación del autor

“El conjunto de la red vial principal, y particularmente las intersecciones, debe diseñarse para una circulación fluida de todo tipo de vehículos, ligeros y pesados” (Rolón, 2000). Definiendo así la necesidad de un vehículo tipo “para regular los parámetros geométricos mínimos a garantizar en todos los elementos, el vehículo pesado articulado” (Rolón, 2000). Clasificándolos de acuerdo a las siguientes dimensiones.

Tabla N° 3 Dimensiones del Vehículo Tipo

VEHÍCULO TIPO	DIMENSIONES (m)	
	Ancho	Longitud
VEHÍCULO LIGERO DE TAMAÑO MEDIO	2.1	5.5
VEHÍCULO PESADO RÍGIDO; COMO CAMIÓN RÍGIDO DE TRES EJES O COLECTIVO	2.6	9.1
VEHÍCULO PESADO ARTICULADO	2.6	16.7

Fuente: UTNFRLP DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS URBANAS - (Rolón, 2000) –
Adaptación del autor

2.2.9 Capacidad vial

La presente tesis de investigación busca analizar la capacidad vial de algunas conexiones transversales, por lo cual es necesario definirla.

Según (Manhein, 1984) “la capacidad de un sistema es el número máximo de entidades que pueden ser procesadas por unidad de tiempo. De allí que, la congestión ocurre porque el sistema tiene una capacidad limitada”

Según (TBR, 2010) “mediante los análisis de capacidad también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose así el nivel de servicio”

La capacidad vial dependerá directamente de la infraestructura vial que soporta el flujo vehicular de una determinada avenida, esta infraestructura en vías conectoras transversales, que están separadas entre sí por ejes longitudinales, es bastante variable, lo que incluye también un factor determinante que es el diseño geométrico de las avenidas a estudiar. Esto quiere decir que la capacidad vial en las avenidas que conforman vías conectoras en la ciudad del cusco tiene valores diferentes. Siendo importante también indicar que:

En la ciudad del Cusco para la determinación de la velocidad de flujo libre, debemos de considerar los factores de corrección mencionados, esto por la



presencia de vehículos pesados, así el número de carriles, ajustes por la presencia de bermas, aceras y otros factores necesarios.

La disminución de velocidades en el ámbito urbano se da generalmente por la presencia de anchos de carril cortos, así como distancias laterales, esto implica para el conductor un problema generado por la infraestructura existente.

(Molina, 2014)

El Instituto de Construcción y Gerencia nos dice:

Teóricamente la capacidad ($Q_{\text{máx}}$) se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una vía o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. (ICG, 2005) (pág. 106).

Para un análisis de capacidad vial y carga vehicular se requiere tener conocimiento de lo siguientes puntos.

- a) **Crecimiento poblacional y procesos de densificación de la ciudad:** el transporte público no es redituable a bajas densidades, pues tiene que hacer grandes recorridos para atender a la población dispersa y así llenar sus unidades, el planificador urbano tiene que analizar estos patrones de expansión urbana y procesos de densificación para diseñar él o los sistemas de transporte que se adecuen a la cambiante demanda. (Bazant, 2011)
- b) **Estructura urbana y uso del suelo:** existe una variedad de usos de suelo cambiando algunos con el tiempo, se estima que las ciudades tienen 24 a 35 % de derechos de vía destinados a vialidad, dependiendo del tamaño de la localidad urbana además de esto es necesario analizar la desarticulada estructura urbana de la ciudad con el fin de determinar las alternativas para ligar o darle continuidad a las arterias primarias, y así poder organizar un



sistema de flujos viales que le den mayor eficiencia a los recorridos o viajes dentro de la ciudad. (Bazant, 2011)

- c) **Parque vehicular:** este se incrementa en la medida que aumenta el ingreso de la población y también se relaciona con la densidad poblacional. Las familias que habitan en las periferias de baja densidad requieren el automóvil pues están alejadas de todos los servicios urbanos. (Bazant, 2011).

2.2.10 Niveles de servicio

Este concepto es utilizado para medir la calidad del flujo vehicular de manera cualitativa describiendo las condiciones de operación de un flujo y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Los manuales de carreteras (AASHTO) así como el Manual de Capacidad de Carreteras de 1985 o más actual TBR 2010, han establecido seis niveles de servicio.

2.2.10.1 Nivel de servicio A

Corresponde a una situación de tránsito fluido, con intensidad de tránsito baja y velocidades altas, solo limitados por las condiciones físicas de la vía. Los conductores considerados en forma individual están prácticamente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una latísima libertad para seleccionar sus velocidades y maniobrar dentro del tránsito. (Bazant, 2011)

2.2.10.2 Nivel de servicio B:

Corresponde a una circulación estable en la cual no se producen cambios bruscos de velocidad aunque ya comienza a ser condicionada por los otros vehículos, pero los conductores pueden mantener velocidades de servicio constantes y en general eligen el carril por donde circulan. Los límites inferiores de velocidad e intensidad definen este nivel son análogos a los normalmente utilizados para el dimensionamiento de carreteras rurales. (Bazant, 2011)

2.2.10.3 Nivel de servicio C

Es también una circulación estable pero la velocidad y maniobrabilidad están ya considerablemente condicionadas al resto del tránsito. Los rebases y cambios de carril son más difíciles, aunque las condiciones de circulación son todavía tolerables. El límite inferior de velocidad que defina a este nivel coincide en general



con el que se recomienda para el dimensionamiento de arterias urbanas. (Bazant, 2011)

2.2.10.4 Nivel de servicio D

Corresponde a situaciones que empiezan a ser inestables, es decir se producen cambios bruscos e imprevisto en la velocidad y maniobrabilidad de los conductores está ya muy restringida por el resto del tránsito. En esta situación unos aumentos pequeños de intensidad obligan a cambios importantes en la velocidad. Aunque la conducción ya no resulte cómoda, esta situación puede ser tolerable durante periodos no muy prolongados. Los pequeños incrementos del flujo por lo general ocasionan problemas de funcionamiento. (Bazant, 2011)

2.2.10.5 Nivel de servicio E

Supone que la intensidad del tránsito es ya próxima a la capacidad de arteria y las velocidades no pueden rebasar normalmente los 50 km/h. la libertad de maniobra para circular es muy difícil y se consigue forzando a un vehículo o peatón a ceder el paso. Los niveles de comodidad son muy bajos con la consecuente elevada frustración de los conductores y peatones. Las detenciones de vehículos son frecuentes además de inestables debido a que los pequeños aumentos de flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos. (Bazant, 2011)

2.2.10.6 Nivel de servicio F

Corresponde a una circulación muy forzada a velocidades bajas y con filas frecuentes que obligan a detenciones que pueden ser prolongadas. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o intersección excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman filas donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque extremadamente inestables. El extremo de este nivel F es congestionamiento de la arteria lo que casi siempre se alcanza durante las horas pico en muchas de las vías céntricas de la ciudades. (Bazant, 2011)

2.2.11 Congestión vehicular

La congestión vehicular se presenta cuando las vías se saturan en este caso los ejes transversales que se estudiarán, el análisis de este aspecto es muy importante

debido a que tiene efectos sociales y demás de acuerdo a (Gwilliam, 2002) quien indica que:

La mayor parte del transporte urbano es de tipo vial. La infraestructura vial congestionada perjudica la economía de la ciudad, aumenta la contaminación ambiental y perjudica a los pobres al hacer más lento el transporte público de tipo vial. Particularmente en las ciudades más grandes, sin embargo, puede no ser ni social ni económicamente aceptable balancear la oferta y la demanda sólo a través del incremento de la capacidad vial. Una estrategia vial debe en consecuencia concentrarse en el movimiento de personas más que en el movimiento de vehículos, a través de la gestión del tránsito y la demanda, así como en la provisión y mantenimiento de la infraestructura vial.

2.2.11.1 Análisis de la congestión

La congestión vehicular presente en general en la red vial de la ciudad del Cusco, hace necesaria la definición de la mencionada que según (Egües) “la congestión de tránsito es la situación que se crea cuando el volumen de demanda de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos”.

También será necesario determinar una relación matemática para poder determinar de manera técnica la existencia de congestión vehicular y analizar de manera más específica su comportamiento en las vías motivo de estudio para lo cual se define la siguiente relación:

Puede decirse que cada entidad consume un tiempo promedio (t_p) en ser procesado (servido) de:

Ecuación 8 Tiempo promedio para análisis de congestión

$$t_p = \frac{1}{u}$$

- λ = tasa de llegada por unidad de tiempo
- u = capacidad por unidad de tiempo
- Si las entidades llegan a una tasa λ por unidad de tiempo entonces el tiempo total de procesamiento T_t (tiempo total) por entidad será:



- t_p , para $\lambda < u$ o $\lambda = u$, para valores menos a u las colas se pueden formar.
- α , para $\lambda > u$, significa que el sistema colapsa y existe una completa congestión.

(Cal y Mayor, 2007)

2.2.12 Velocidad

Velocidad en general

Según el (MDGVU, 2005) “velocidad es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en (km/h)”

La velocidad es importante para esta investigación por que representa un factor muy importante para los usuarios de cualquier tipo de vía ya que a mayor velocidad menor será el tiempo que tardaran en llegar a sus destinos lo que genera una mejor calidad de vida para los ciudadanos. Es conveniente expresar la velocidad en kilómetros por hora o en metros por segundo ya que estas unidades son las más utilizadas en el ámbito de la ingeniería y en el lenguaje cotidiano lo que facilita todo tipo de explicación al respecto de velocidad

Si bien una buena velocidad es ventajosa para los usuarios, debe ir conjuntamente con la seguridad, sobre todo cuando se realiza el diseño geométrico de una vía, así como lo indica:

Velocidad y seguridad son sinónimos de la categoría de la carretera. La velocidad es el factor primordial en todos los sistemas de transporte y la velocidad a que circulan los vehículos por una vía es un índice importante a tomarse en cuenta al establecer las especificaciones de diseño, pues a ella están ligados elementos el peralte y la distancia de visibilidad, los cuales determinan los valores de la curvatura horizontal y vertical de la carretera. (Abanto, 2001)

Una vez definida la velocidad como un índice fundamental para el tránsito vial, es necesario describir algunas clases de velocidad que están presentes en el flujo vehicular urbano, las cuales se deben conocer antes de realizar los análisis de flujo vehicular, y según (Cal y Mayor, 2007) son las siguientes:



a) Velocidad puntual: Velocidad instantánea de un vehículo cuando pasa por un punto de una vía.”

b) Velocidad de recorrido: Es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo que ha tardado en recorrerlo. Es realmente una velocidad media individual

c) Velocidad de marcha: Relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo durante el cual el vehículo ha estado en movimiento al recorrer esa distancia. No tiene en cuenta el tiempo en que pudiera haber estado detenido el vehículo. Es también una velocidad de media individual. (Cal y Mayor, 2007)

d) Velocidad de diseño: “La máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas de la vía predominan” (Grisales, 2002)

La velocidad de diseño es un factor importante para definir la capacidad vial de una avenida, de igual manera el resto de velocidad descritas servirán para determinar de mejor manera variables como la congestión vehicular y el mismo flujo vehicular que se mida en las vías motivo de investigación.

2.2.13 Dispositivos para el control

Estos dispositivos se colocan de acuerdo al volumen vehicular de una vía y a su capacidad, por lo que son de gran importancia para esta investigación y se les define como:

Los dispositivos para el control de tránsito son las señales, semáforos y cualquier otro dispositivo, que la autoridad pública competente coloque sobre o adyacente a las calles y carreteras, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas, sobre la manera correcta y segura de circulación. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones o prevenciones que deben tener en cuenta, las limitaciones o restricciones que gobiernan la circulación y las informaciones o guías estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera. (Celis, 2005)



Es de gran importancia tanto la presencia de estos como la forma de colocación, ya que deben cumplir con parámetros de visibilidad y suficiencia, así como una adecuada distribución conjunta a otro tipo de señalización privada, que es abundante en la época actual. Por lo que es necesario señalar que

Para evitar la inflación de señales que lleve a su trivialización es preferible emplear sólo las precisas y conseguir así una mejor atención. En áreas urbanas, evitar la confusión con otros símbolos, la ocultación por la vegetación o por los vehículos parqueados o la mala visibilidad nocturna por contrastes desfavorables de luz. Utilizar grafismos legibles y homogéneos. Limitar la señalización privada y publicidad de actividades junto a la carretera. (Celis, 2005)

Muy aparte de esto se debe tener en cuenta respecto a la instalación que según (Celis, 2005), “debe analizarse el triángulo de visibilidad, y si la intersección cumple con este requisito se procederá a la instalación de la señal de ceda el paso”.

2.2.13.1 SemafORIZACIÓN

La presencia de semáforos en las intersecciones de los ejes transversales a estudiar con los ejes longitudinales de la ciudad se convierte en un factor clave para determinar algunos parámetros viales como la capacidad vial. Los semáforos, según indica (Cal y Mayor, 2007):

Son dispositivos electromagnéticos y electrónicos proyectados específicamente para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, mediante indicadores visuales de luces de colores universalmente aceptados (amarillo, rojo, verde), cuya finalidad es permitir el paso alterada mente, a las corrientes de tránsito que cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

Dentro del tema de semaforización los datos importantes a procesar vienen a ser el tiempo ciclo y las fases presentes en las intersecciones que se tengan que estudiar, para esto (Cal y Mayor, 2007) define estos dos parámetros de la siguiente manera.

Ciclo o longitud de ciclo: Tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones del semáforo.

Fase: Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los otros que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla.

2.2.14 Modelo de Bazant para calcular el aforo vehicular

El criterio básico para estimar la capacidad en una arteria primaria es por tramos largos, de periferia al centro y viceversa, y por superficie de cobertura. Este modelo ilustra la concentración vehicular que genera todas las mañanas la población yendo a sus diferentes destinos por las distintas arterias primaria en la ciudad y plantea un ejercicio de cálculo de aforo vehicular para una ciudad media de un millón de habitantes (Bazant, 2011). Para la presente investigación los pasos y procesos necesarios para un cálculo de carga vehicular en los ejes son:

1° Capacidad vial estimada de las arterias

La capacidad vial de las arterias, en este caso ejes a investigar fluctúa en teoría de 1500 veh/h en una vía rápida y de acuerdo a su velocidad, a 900 veh/h por carril, en condiciones de flujo vial constante con intersecciones o rampas de acceso muy separadas, esto se detalla más en la Tabla N° 4 del modelo. (Bazant, 2011)

Tabla N° 4 Estimado de aforo vehicular según velocidad de diseño

ESTIMADO DE AFORO VEHICULAR EN ARTERIAS URBANAS	
VELOCIDAD (KM/H)	ESTIMADO AFORO (v/h/c)
80	1500
70	1161
60	900
50	705
40	545
30	423
20	330
10	257
1	200

Fuente: Planeación Urbana Estratégica (Bazant, 2011) – Adaptación del autor.



2° Proyecciones de población y distribución de ingresos

Es básico tener la población exacta actualizada de la ciudad y sobretodo de los distritos en los que se encuentran las avenidas a analizar. Esto se realizara con ayuda de la clasificación por niveles de ingreso económico según (APEIM, 2005) que indica que los niveles considerados Marginal, Bajo Inferior y Bajo, corresponden a los perfiles de Nivel E, D y C y presentan ingresos menores a S./1400.00. El nivel Medio, corresponde al perfil B con ingresos que alcanzan los S/3000.00 y s/.4000.00 en cuanto al nivel alto (perfil A) supera estos estándares llegando hasta los S/.10000.00 de ingresos. Con estos rangos y escalas se procederá a clasificar los distritos que conforman el área de estudio.

3° Escala y simbología en los usos de suelo

Sobre el plano de la ciudad se sobrepone una retícula de una hectárea o más grande dependiendo de la escala de la ciudad a manera de que se pueda identificar en cada cuadro los usos de suelo, la densidad demográfica y los niveles de ingresos de sus habitantes, siendo de bajos ingresos (a), de ingresos medios (b) y de ingresos altos (c) pues esto va a depender la densidad vehicular de cada cuadro de la retícula. De este modo tenemos en este ejercicio tres variantes de densidades (alta, media y baja) las cuales se combinan. Las bajas densidades son representativas de asentamientos o fraccionamientos ubicados en las periferias, las medianas densidades se ubican predominantemente en el anillo intermedio de la ciudad y las altas densidades se refieren a zonas céntricas, aunque puede haber zonas de edificios de oficinas y habitaciones de alta densidad en cualquier parte de la ciudad. (Bazant, 2011)

4° Definición de modalidades de transporte público y privado

Es necesaria una información confiable para definirlos, en este caso se consultó al ingeniero Alberto Busali, experto en transporte y aforos vehiculares, quien ofreció su experiencia para formular los porcentajes de utilización de la modalidad de transporte publico privado de acuerdo a la ubicación de los sectores habitacionales dentro de la ciudad. También es pertinente verificar estudio de vialidad y transporte, el registro nacional de



vehículos automotores y por supuesto acudir a las comisiones estatales de transporte que tienen datos actualizados sobre unidades de transporte. Sobre estos parámetros es posible sustentar con base objetiva que toda la población de bajos ingresos que habita en la periferia utiliza transporte público, los que habitan el anillo intermedio y familias más consolidadas se movilizan en 75% público y 25 % privado y de los que habitan en el centro de la ciudad usan 10 % de transporte público. Según la experiencia de Busali, el resto de los viajes a destinos diferentes se realizan con referencia a los volumen promedio de trabajo. (Bazant, 2011)

5° Estimación de carga vehicular por densidad o cuadro

Existen varios modos para obtener el aforo de una vialidad, el procedimiento de cálculo es sencillo. Una vez se obtiene la población por nivel de ingreso, se aplican los porcentajes. A los viajes obtenidos por cada nivel de ingreso y cada rango de densidad se les aplican los porcentajes de modalidades de transporte definidas previamente. De este modo se realizan las operaciones de multiplicar los viajes por cada modalidad de transporte que utiliza cada grupo de ingresos, básicamente transporte público y automóvil. Es importante aplicar el factor que representa la máxima hora de demanda u hora pico determinando una cifra de la cual se deriva la estimación de viajes dentro y fuera del sector habitacional y como resultado final de la generación de vehículos por cada cuadro de acuerdo a los criterios ya establecidos de tal modo que solo se multiplican estos porcentajes por el número de vehículos que produce cada nivel de ingreso. Así se hace el cálculo para cada uso de suelo, del aforo vehicular que producirá fuera del sector habitacional a la hora de máxima demanda. (Bazant, 2011)

6° Identificación de las principales avenidas primarias o vías rápidas dentro de la retícula.

Las calles secundarias y locales son cortas y cubren una o varias colonias por lo que el tránsito tiende a concentrarse sobre las avenidas primarias o vías rápidas, por tal motivo las calles locales y secundarias no se consideran



dentro de este ejercicio. Lo importante es identificar las avenidas que tengan o puedan tener a futuro esa continuidad funcional de la periferia al centro de la ciudad aunque no necesariamente en la actualidad todos sus tramos sean iguales. Con frecuencia sucede que una ciudad media solo tiene estos ejes estructuradores principales de las carreteras que interconectan con otras ciudades de la región y las avenidas intermedias no existen completas pues en la actualidad son tramos inconexos. Esto sucede cuando las avenidas intermedias pasan de una colonia a otras o que tienen diferente patrón urbano no necesariamente concuerdan en su trazo o direccionalidad. Como se trata de un análisis prospectivo, lo relevante es identificar los canales conductores de tránsito de la ciudad, los que estén en la actualidad habilitados y los que sean visibles de habilitarse en el futuro. (Bazant, 2011).

Este paso es el que influye más en la presente investigación, debido a que se busca que los ejes transversales analizados a pesar de no tener continuidad y homogeneidad en la actualidad, a futuro puedan mitigarse y fiscalizarse los derechos de vía y los factores correspondientes.

7° Definición del perímetro de cobertura que tiene cada avenida.

Al sobreponer una retícula sobre el plano de la ciudad, se identifican los ejes estructurados y las avenidas intermedias existentes o viables de serlo. Se delimita su área de cobertura para cada avenida y se le asigna una nomenclatura. Enseguida se procede a identificar la densidad demográfica que tienen cada cuadro de la retícula, de acuerdo con los criterios de densidad vehicular definidos en el inciso anterior. Es evidente que las franjas longitudinales a lo largo de la avenida serán predominantemente servidas por la misma y su influencia penetrará hacia zonas urbanas interiores más alejadas de las avenidas. Con probabilidad muchas de estas zonas de servicio o áreas de influencia tienen una forma cónica, pues son amplias en periferia conforme se acercan al centro su área de influencia se reduce por la presencia de otras avenidas provenientes de la periferia. Aun así para efectos de este escenario es importante cerciorarse de que no queden cuadros dentro de la mancha sin ser asignados. (Bazant, 2011)

8° Cálculo de aforo de vialidades primarias y de circuito inferior.

Se suman el tipo y número de cuadros según la simbología dentro de la superficie de cobertura que tienen cada arteria primaria contabilizándolos a lo largo de todo su trayecto en el sentido matutino periferia-centro como se acumula en la realidad el tránsito sobre cada arteria primaria. Es decir, se contabilizan todos los cuadros que tiene cada avenida y al final todos los cuadros de la ciudad deben quedar contabilizados para una u otra vialidad primaria o arteria rápida. (Bazant, 2011)

2.2.15 Metodología de cálculo de capacidad y niveles de servicio HCM 2010

En el capítulo 18 del Highway Capacity Manual, “intersecciones semaforizadas” se detallan los procedimientos de cálculo de la capacidad vial de los carriles y sus niveles de servicio.

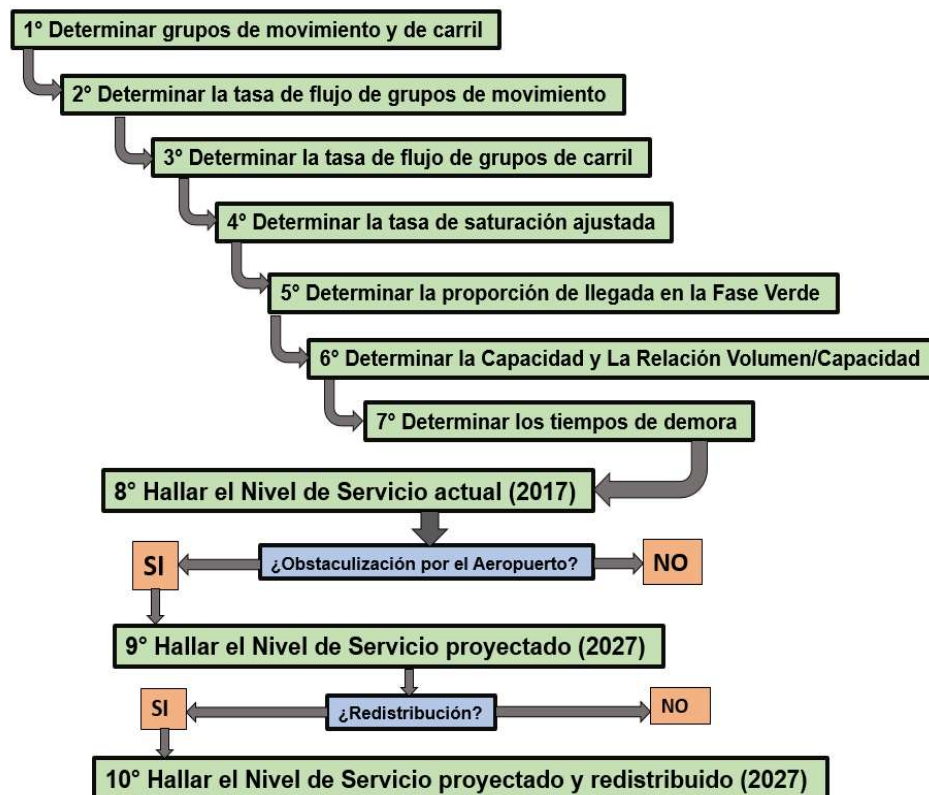


Figura N° 16 Flujograma de la Metodología HCM 2010 para cálculo de capacidad y niveles de servicio

Fuente: HCM 2010 (TBR, 2010) – Adaptación del autor

Para la presente investigación se analiza una intersección por eje transversal para cuantificar su efectividad actual y en un escenario futuro en el cual el aeropuerto sea reubicado y pueda efectuarse una redistribución de volúmenes, esto al 2027. En el HCM se especifican distintos módulos de análisis siendo el adecuado para este caso el de Automóviles, el cual se desarrolla mediante el flujograma de la figura N° 16.

Una vez definido el flujo grama se procede a describir la metodología de cálculo de cada paso como sigue.

1° Determinar Grupos de Movimiento y Grupos de Carril

En las avenidas motivo de estudio, los carriles pueden tener tres direcciones, las cuales vienen a ser Recto (R), Derecha (D) e Izquierda (I), y pueden ser de uso exclusivo o de uso compartido. Existen casos en que un carril o carriles tienen un uso exclusivo de giro a la izquierda mientras que los demás carriles no, puede que todos sean carriles compartidos, es decir que tienen dos o más direcciones. Una vez definidas las características de los carriles se define el grupo de movimiento usando la tabla de grupos de carril típicos. (TBR, 2010)

2° Determinar la Tasa de Flujo de los Grupos de Movimiento

Esta tasa de flujo se determina al sumar los volúmenes vehiculares de cada carril de acuerdo los conteos vehiculares adjuntados previamente y se coloca el volumen vehicular correspondiente a cada dirección en cada sentido y carril. (TBR, 2010)

3° Determinar la Tasa de Flujo de los Grupos de Carriles

Esta tasa se calcula sumando los flujos correspondientes a cada grupo de movimiento. Entonces el flujo del grupo de movimiento será la suma de los volúmenes dividida entre el número de carriles, de acuerdo a la fórmula:

$$V_{app} = \frac{v_{lt} + v_{th} + v_{rt}}{N_{sl} + Nt + Nsr}$$

Donde:

- V_{aap} = demanda promedio de la tasa de flujo por carril de paso veh/ h/ carril
- V_{lt} = tasa de flujo del giro a la izquierda (veh/h)



- V_{th} = tasa de flujo del movimiento recto (veh/h)
- V_{rt} = tasa de flujo del giro a la derecha (veh/h)
- N_{sl} = número de carriles en el grupo de carril compartido de giro a la izquierda y movimiento recto
- N_t = número de carriles en el grupo de carril recto (veh/h)
- N_{sr} = número de carriles en el grupo de carril compartido de giro a la derecha y movimiento recto (veh/h) (TBR, 2010)

4° Determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ajustada

Esta tasa requiere del cálculo de muchos factores que conforman la ecuación:

$$S = S_o * F_w * F_{hv} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{lu} * F_{lt} * F_{rt} * F_{lpb} * F_{rpb}$$

Dónde:

- S = tasa de flujo de saturación ajustada (veh/h/carril),
- S_o = tasa de flujo de saturación bases (pc/h/carril),
- F_w = factor de ajuste de ancho de carril
- F_{hv} = factor de ajuste para vehículos pesados en el flujo de tráfico
- F_g = factor de ajuste para el grado de aproximación
- F_p = factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento y la actividad de aparcamiento adyacente al grupo de carril,
- F_{bb} = factor de ajuste para bloquear el efecto de los autobuses locales que paran dentro del área de intersección
- F_a = factor de ajuste para el tipo de zona
- F_{lu} = factor de ajuste para la utilización de carril
- F_{lt} = factor de ajuste para la presencia de vehículos que giran a la izquierda en un grupo de carril
- F_{rt} = factor de ajuste para la presencia de vehículos que giran a la derecha en un grupo de carril,
- F_{lpb} = factor de ajuste de peatones para los grupos de giro izquierda
- F_{rpb} = factor de ajuste para los peatones y bicicletas para grupos que giran a la derecha.

(TBR, 2010)

El cálculo de cada uno de estos factores se detalla a continuación:



- ✓ **Tasa de flujo de saturación bases:** Es la tasa de flujo media esperada para un carril de comportamiento y movimiento recto que tiene características geométricas y de flujo que corresponden a un valor de 1,0 para cada factor de ajuste, la cual de acuerdo al HCM 2010, viene a ser de 1900 veh/h. (TBR, 2010).
- ✓ **Factor de ajuste de ancho de carril:** este factor se define de acuerdo a las propiedades geométricas de la intersección y a cuyos datos fueron recolectados la unidad de medida de metros, será necesario convertirlo a pies para poder usar la tabla de valores que corresponde y se especifica en la sección de procedimientos de la presente investigación.
- ✓ **Factor de ajuste para vehículos pesados en el flujo de tráfico:** corresponde al área adicional que ocupan los vehículos pesados, que de acuerdo a la metodología corresponden solo a los vehículo de 3 o más ejes, y marcan variación en sus capacidades de funcionamiento, en comparación con los autos de pasajeros y se calcula con la siguiente igualdad:

$$F_{hv} = \frac{100}{100 + Phv(E_T - 1)}$$

- Phv= porcentaje de vehículos pesados (%)
- ET= numero equivalente del vehículo pesado, = 2.0

Fuente. HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

- ✓ **Factor de ajuste por inclinación de acceso:** Este factor se calcula debido a la variación que genera la pendiente de un determinado acceso en el rendimiento de los vehículos con la siguiente fórmula:

$$F_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

Pg = grado de aproximacion correspondiente al grupo de movimiento, rango de pendiente de -6% a 10%

Fuente. HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

- ✓ **Factor de ajuste por la existencia estacionamientos:** Este factor se aplica debido a la presencia de estacionamientos adyacentes a sus accesos. Para calcularlo se usó la siguiente igualdad:

$$F_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18Nm}{3600}}{N} \geq 0.05$$

- Nm= número de maniobras por hora en el estacionamiento.
- N= número de carriles en el grupo carril.

Fuente. HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

- ✓ **Factor de ajuste por bloqueo de buses en paraderos:** esta tasa se aplica debido a que en los paraderos cercanos a las intersecciones existen paraderos que provocan la entrada y salida de buses, generando maniobras que comprometen el funcionamiento vial, se halla con la siguiente fórmula:

$$F_{bb} = \frac{N - \frac{14.4Nb}{3600}}{N} \geq 0.05$$

- Nb= cantidad de paradas de buses en el paradero presente en el acceso
- N= número de carriles en el grupo carril.

Fuente. HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

- ✓ **Factor de ajuste para el tipo de zona:** se aplica debido a que se ubica dentro de un área urbana y comercial en la ciudad del Cusco, lo mismo ocurre en todas las intersecciones que se analizan. Según el HCM 2010 a este tipo de ubicación se le conoce como Central Business District (CBD).
- ✓ **Factor de ajuste para la utilización de carril:** debido a que cada uno de los carriles de los accesos se analiza de manera separada y específica, contando también con la presencia de carriles compartidos.
- ✓ **Factor de ajuste para la presencia de vehículos que giran a la izquierda en un grupo de carril:** se aplica este factor cuando existe un giro a la izquierda permitido siendo necesario tener en primer lugar la proporción de la cantidad de los vehículos que hacen estos giros por carril. Luego se calcula la Tasa de saturación del giro a la izquierda (S_p), razón que obedece a la siguiente igualdad:

$$S_p = \frac{v_0 e^{-v_0 t c g} / 3600}{1 - e^{-v_0 t f} / 3600}$$

- S_p = tasa de flujo de saturación de un movimiento de giro a la izquierda permitido (veh/h/carril)
- V_o = tasa de flujo de demanda opuesta (vh/h)
- t_{cg} = progreso crítico =4.5 segundos
- t_{fh} = progreso de seguimiento. 4.5s para carril compartido y 2.5s para carril exclusivo.

Una vez calculado este valor se procede a hallar la equivalencia de vehículos de paso (EL)

$$E_{L1} \equiv \frac{S_o}{S_p}$$

- E_{L1} = número equivalente de carros de paso para los vehículos de giro a la izquierda permitido.
- S_o = tasa de flujo de saturación base (1900 veh/h/carril)

El último paso para hallar este factor es dividir la unidad entre la equivalencia de vehículos de paso obteniendo el Factor de ajuste por giro a la izquierda con la fórmula siguiente.

$$F_{lt} = \frac{1}{E_L}$$

E_L = es el número equivalente de carros que circulan por un carril protegido para giro hacia la izquierda. (=1.05)

- ✓ **Factor de ajuste para la presencia de vehículos que giran a la derecha:**
Se aplica este factor porque se observan giros a la derecha y se calcula el efecto que tiene este comportamiento sobre la intersección.

$$F_{lt} = \frac{1}{E_R}$$

- E_R = número equivalente de carros que circulan por un carril protegido para giro hacia la derecha. (=1.18)

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

- ✓ **Factor de ajuste de peatones para los grupos de giro a la derecha:** Para este cálculo ya se ha recabado la información de los ciclos y fases

semafóricos. El primer paso es calcular el flujo peatonal durante el periodo que le corresponde para lo cual se aplica la fórmula:

$$V_{pedg} = v_{ped} \frac{c}{g_{ped}} \leq 5000$$

- V_{pedg} = tasa de flujo peatonal durante la fase de servicio peatonal (p/h)
- V_{ped} = tasa de flujo peatonal en el cruce (ambas direcciones) (p/h)
- C = duración del Ciclo (s)
- g_{ped} = tiempo de servicio peatonal (s)

$$OCC_{pedg} = \frac{v_{pedg}}{2000}$$

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

A continuación se calculará la zona de conflicto relevante debido la presencia de interferencia de cruce peatonal en giros a la derecha. Se procede a calcularla con la siguiente expresión.

$$OCC_r = \left(\frac{g_{ped}}{g} OCC_{pedg} \right) + OCC_{bicg} - \left(\frac{g_{ped}}{g} OCC_{pedg} OCC_{bicg} \right)$$

Finalmente se procede a calcular el tiempo libre A_{pbT} que para esta intersección obedece a la fórmula:

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r$$

- A_{pbT} = tiempo libre

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

Debido a que el número de carriles que recibe el flujo vehicular de giro, en la intersección Av. Micaela Bastidas y Anselmo Alvares, es igual al que lo genera.

En otras se da el caso de que los carriles de recepción no son de igual cantidad que los de origen de giro. En esos casos se utiliza la siguiente igualdad:

$$A_{pbT} = 1 - 0.6 * OCC_r$$

- ✓ **Factor de ajuste por peatones para grupos de giro a la izquierda:** se procede a calcular este factor, usando la tasa peatonal y la ocupación promedio peatonal calculadas en el proceso del factor de giro de peatones a la derecha. Con estos valores se calcula la Ocupación Peatonal luego del cese de las colas, que depende de la siguiente relación:

$$g_u = g_p - g_u$$

$$g_q < g_{ped}$$

Si se cumple esta relación se usa la fórmula:

$$OCC_{pedu} = OCC_{pedg}(1 - 0.5g_q/g_{ped})$$

De lo contrario la igualdad resulta cero. Donde OCC_{pedu} es la ocupación peatonal luego del cese de las colas y, g_q es el tiempo de servicio de las colas opuestas. (TBR, 2010). Posteriormente la zona relevante de conflicto se calcula con:

$$OCC_r = \frac{g_{ped} - g_q}{g_p - g_q} (OCC_{pedu}) e^{-5.00v_o/3600}$$

- Donde V_o , es la tasa de flujo de demanda opuesta (veh/h), g_p es el tiempo de verde efectivo para un giro a la izquierda permitido (s).

Una vez calculados todos estos factores se halla la tasa de saturación ajustada, en las siguientes tablas se muestran los resultados del procedimiento anterior aplicado a todas las intersecciones por acceso y carril.

5° Determinar la Proporción de Llegada durante la Fase Verde

Las demoras que se producen y las colas en los accesos se producen debido al volumen vehicular que llega durante la fase verde y roja, siendo este caso una semaforización con fase fija. Lo mismo ocurre en las demás intersecciones semaforizadas, para calcular este valor se usa la siguiente fórmula:

$$P = R_p \left(\frac{g}{C} \right)$$

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

En donde g es el verde efectivo y C la duración del ciclo, datos que conocemos previamente del levantamiento de características de los elementos de la intersección.

6° Determinar la Capacidad y la Relación Volumen/Capacidad

El cálculo de la capacidad se da con la siguiente igualdad:

$$c = Ns \left(\frac{g}{C} \right)$$

- Dónde “ c ” es la capacidad (veh/h) s , la saturación ajustada, g el tiempo de verde efectivo, N es el número de carriles, S es la saturación ajustada y C el ciclo, valores que fueron definidos en los pasos anteriores.

Otro parámetro relacionado y muy importante es la relación volumen/capacidad que se determina de acuerdo a la siguiente formula:

$$X = \frac{v}{c}$$

- X = relación volumen/capacidad
- v = tasa de demanda de flujo (veh/h)
- c = capacidad (veh/h)

(TBR, 2010)

Relación volumen capacidad crítica de la intersección: esta relación se aplica en esta investigación para evaluar de manera integral la intersección con respecto a su geometría y al ciclo, en este caso se considera solo el grupo de carril más crítico presente por cada acceso, los cuales vienen a ser los que tienen una relación de flujo más elevada para cada acceso. Se define de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$X_c = \left(\frac{C}{C - L} \right) \sum_{i \in CI} y_{c,i}$$

$$L = \sum_{i \in CI} l_{c,i}$$

- X_c = relación volumen crítico de la intersección – capacidad
 - C = duración de ciclo (s),
- $Y_{c,i}$ = relación de flujo crítico por fase $i = v/(N_{si})$,
 - $l_{c,i}$ = fase i tiempo perdido = $l(1,i) + l(2,i)$
- CI = Conjunto de fases críticas en la ruta crítica, y
 - L = ciclo de tiempo perdido

7° Determinar Demoras

Se observa vehículos que llegan luego y durante del periodo de análisis, lo cual genera un retraso en los vehículos que aún están en la cola. Para calcular esta demora se usa la siguiente expresión en veh/s:

$$d = d_1 + d_2 + d_3$$

En donde d_1 representa la demora uniforme, de manera aleatoria, que se calcula con la siguiente expresión, de la cual ya conocemos los datos.

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - [\min(1, X) * g/C]}$$

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

d_2 , es la demora incremental que se calcula debido a que existe una variabilidad en las fluctuaciones durante el ciclo lo que provoca que se exceda la capacidad de la intersección, se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_2 = 900T \left[(X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{8kIXA}{C_A T}} \right]$$

Donde X_A es el promedio de relación de volumen/capacidad y las demás variables vienen a ser:

I = 1.0 para intersecciones aisladas

K = factor de demora incremental, 0.5 para fases fijas

T = duración del periodo de análisis, 0.25h

Fuente: HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010). (TBR, 2010)

El valor de “d3” se debe a que siempre existe una cola inicial en los accesos lo que genera un tipo de demora específico que depende de:

$$d_3 = \frac{3600}{vT} \left(t_A \frac{Q_b + Q_e + Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 - Q_{eo}^2}{2c_A} - \frac{Q_b^2}{2c_A} \right)$$

En donde

- v = tasa de demanda de flujo
- T = duración del periodo de análisis, 0.25h
- t_A = duración de la demanda no satisfecha, siendo $v < c$, este valor se calcula de acuerdo a la siguiente expresión.

$$t = \frac{Q_b}{c_s - v} \leq T$$

- Q_b = cola inicial, dato que fue recolectado en campo para cada acceso.
- Q_e = cola al final del periodo de análisis, corresponde a la siguiente fórmula de la ya se tienen los valores.

$$Q_e = Q_b + t_A(v - c_A)$$

- Q_{eo} = depende del volumen y la capacidad, cuya relación es $v < c$, por lo que su valor viene a ser cero.
- Para el caso de que la capacidad sea menor que el volumen ($v > c$) t_A será igual a T (duración del periodo de análisis) y se usará la siguiente expresión para calcular Q_{eo} . (TBR, 2010)

$$Q_{eo} = T(v - c_A)$$

8° Hallar el Nivel de Servicio actual (2017)

En esta intersección y en las demás se determina el nivel de servicio de acuerdo a cada carril y el valor previamente calculado de la demora total de control, la cual se ubicará en la tabla de Tiempo de Demora vs. Nivel de Servicio que se detalla en la sección procedimental de este cálculo dentro de la presente investigación.

Es de utilidad también tener el nivel de servicio de toda la intersección para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$d_{inter} = \frac{d1 * v1 + dn * vn}{v1 + vn}$$

- d inter= demora de la intersección
- d1= demora del primer grupo de carril
- dn= demora del “n” grupo carril
- v1= volumen del primer grupo carril
- vn= volumen del “n” grupo carril

Fuente. HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM 2010)

9° Hallar el Nivel de Servicio proyectado (2027)

En la presente investigación se propone un escenario proyectado al año 2027 en el cual se estima el aeropuerto estará finalmente reubicado y los ejes que obstaculiza tendrán conectividad dando lugar a una redistribución de volúmenes. Para lograr este cálculo es necesario proyectar los volúmenes vehiculares al año 2027 y volver a calcular el nivel de servicio con este nuevo flujo a futuro, las formulas y procedimientos se detallan en el cálculo de redistribución de la presente investigación.

10° Hallar el Nivel de Servicio proyectado y redistribuido (2027)

Una vez calculado un nivel de servicio al año 2027 se procede a efectuar la redistribución, dependiendo de la tendencia porcentual, de vehículos que optarían por utilizar estos nuevos ejes reconectados, hallada luego del conteo y registro de placas. Aplicando estos porcentajes a las intersecciones analizadas en estos ejes, se obtiene un nuevo flujo vehicular el cual determina un nivel de servicio luego de la redistribución. Las fórmulas y procedimientos se detallan en el cálculo de redistribución de la presente investigación.



2.3 MARCO CONCEPTUAL

ACCESO.- Conjunto de carriles que dan servicio a los movimientos de giro a la izquierda, de frente y a la derecha.

AUTOBÚS: Vehículo pesado que da servicio de transporte

CALZADA. - Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.

CAPACIDAD: Máxima intensidad de vehículos o personas que pueden pasar por un segmento de carril.

CARRIL. - Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

CICLO.- Secuencia completa de indicaciones de un semáforo.

DENSIDAD: El número de vehículos que ocupan una longitud determinada de carril promediado en el tiempo.

FACTOR DE AJUSTE.- Factor multiplicativo que ajusta una capacidad o intensidad de servicio, transformado un valor representativo de unas condiciones ideales.

FHMD. – Flujo horario máximo diario.

INFRAESTRUCTURA VIAL PÚBLICA: Todo camino, arteria, calle o vía férrea, incluidas sus obras complementarias, de carácter rural o urbano de dominio y uso público.

INTERSECCIÓN: Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

NIVEL DE SERVICIO: Medida cualitativa descriptiva de las condiciones de circulación de una corriente de tráfico; generalmente se describe en función de ciertos factores.

OPERACIÓN VIAL: Conjunto de actividades que se inician al término de una intervención de la vía y tienen por finalidad mantener un nivel de servicio adecuado.



RED VIAL DEPARTAMENTAL O REGIONAL: Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un Gobierno Regional. Articula básicamente a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal o Rural.

RED VIAL: Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)

SECCIÓN TRANSVERSAL: Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía.

USUARIO: Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza la infraestructura vial pública.

VHMD. – Volumen horario máximo diario.

VÍA DE EVITAMIENTO: Vía que se construye para evitar atravesar una zona urbana.

VÍA: Camino, arteria o calle.



2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 Hipótesis general

Los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo contribuyen significativamente a disminuir la congestión vehicular de la ciudad.

2.4.2 Sub hipótesis

- 1) Existe homogeneidad y continuidad vial entre las avenidas los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo.
- 2) Redistribuyendo el flujo vehicular de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo, tendremos menos congestionamiento.
- 3) El diseño geométrico de los ejes transversales en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo contribuye a la fluidez en la circulación vehicular.
- 4) La capacidad vial de los ejes transversales ubicados en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo es insuficiente para dar fluidez a la circulación vehicular.

2.5 VARIABLES

2.5.1 Identificación de variables

Variables independientes

Capacidad vial

Descripción: La capacidad de una infraestructura vial es el máximo volumen vehicular que transita en flujo normal por un punto o sección uniforme de carril o calzada durante un periodo determinado.



Congestión vehicular

Descripción: Fenómeno de tránsito vial causado por las demoras excesivas y flujos interrumpidos en los accesos de las intersecciones, que se genera cuando la demanda supera a la oferta.

Flujo vehicular

Descripción: cantidad de unidades vehiculares y el comportamiento de circulación de estas durante un determinado periodo de tiempo.

Indicadores de variables dependientes

Capacidad vial

Indicadores:

- Volumen vehicular

Congestión vehicular

Indicadores:

- Nivel de servicio
- Velocidad
- Tiempo total de demora
- Tiempos de ciclo semafóricos
- Número de fases semafóricas

Flujo vehicular

Indicadores:

- Carga vehicular
- Densidad vehicular

Variables independientes

Diseño geométrico

Descripción: Se refiere a las dimensiones geométricas de la vía, la calzada y sus elementos, control de accesos, elementos de seguridad vial y otros que



definen las condiciones de circulación de los ejes transversales definidos para esta investigación.

Homogeneidad y Continuidad vial

Descripción: Es la coherencia entre las dos o más avenidas que conforman los ejes transversales definidos para esta investigación, es decir la regularidad de características (número de carriles), linealidad y presencia de obstáculos o carencia de uniformidad.

Indicadores de variables independientes

Diseño geométrico

Indicadores:

- Pendiente
- Presencia de estacionamientos
- Ancho de vía
- Largo de vía
- Cantidad de vías de acceso
- Sentido de vías de acceso
- Número de carriles

Homogeneidad y Continuidad vial

Indicadores:

- Continuidad entre vías.
- Obstaculización en ejes transversales.
- Homogeneidad en el número de carriles entre avenidas.

2.5.2 Operacionalización de variables

EVALUACIÓN DE LOS EJES TRANSVERSALES EN LOS DISTRITOS DE WANCHAQ, SAN SEBASTIÁN Y SAN JERÓNIMO Y SU INFLUENCIA EN LA CONGESTIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DEL CUSCO						
VARIABLES	DESCRIPCIÓN	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA	EQUIPOS
VARIABLES DEPENDIENTES						
Congestión vehicular	Presencia y fenómeno de tránsito vial causado por las demoras excesivas y flujos interrumpidos en los accesos de las intersecciones, que se genera cuando la demanda supera a la oferta.	Congestión existente	Tiempo de demora Volumen Vehicular Velocidad Nivel de servicio Tiempos de ciclo semafóricos Número de fases semafóricas	Guías de aforo vehiculares Plantilla de medición de características de elementos geométricos y de control	Método de cálculo del HCM para intersecciones semaforizadas	Cronómetro
		Congestión inexistente				
Capacidad vial	La capacidad de una infraestructura vial es el máximo volumen vehicular que transita en flujo normal por un punto o sección uniforme de carril o calzada durante un periodo determinado.	Capacidad suficiente	Volumen Vehicular	Plantilla de medición de características de elementos geométricos y de control	Método de cálculo del HCM para intersecciones semaforizadas Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas. Lima	Nivel Topográfico
		Capacidad insuficiente				Miras topográficas
Flujo vehicular	Es la cantidad de unidades vehiculares y el comportamiento de circulación de estas durante un determinado periodo de tiempo	Estable	Carga vehicular	Formatos de aforo vehicular	Método de cálculo del Bazant Modelo para carga vehicular	Grabador de voz
		Inestable	Densidad vehicular			Cámara digital filmadora
VARIABLES INDEPENDIENTES						
VARIABLES	DESCRIPCIÓN	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA	EQUIPOS
Diseño geométrico	Se refiere a las dimensiones geométricas de la vía, la calzada y sus elementos, control de accesos, elementos de seguridad vial y otros que definen las condiciones de circulación de los ejes transversales definidos para esta investigación.	Adecuado	Pendiente Presencia de estacionamientos Ancho de vía Largo de vía	Guías de inventario vial	Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas. Lima	Nivel Topográfico
		Inadecuado	Cantidad de vías de acceso Sentido de vías de acceso Número de carriles	Plantilla de medición de características de elementos geométricos y de control		Miras topográficas
Continuidad vial	Es la coherencia entre las dos o más avenidas que conforman los ejes transversales definidos para esta investigación, es decir la regularidad de características, linealidad y presencia de obstáculos o carencia de uniformidad.	Continuo	Continuidad entre vías	Plantilla de calificación para vía	Mapa de vías de Google Earth	Cámara digital
		Obstaculizado	Obstaculización en ejes transversales			

CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

“El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías” (SAMPIERI, 2010).

La presente investigación será únicamente del tipo cuantitativa debido a que todas las mediciones a realizar con respecto a las variables generarán datos numéricos, siendo cantidad de vehículos, dimensiones geométricas y velocidades de circulación.

3.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

Este proyecto de investigación se encuentra en el nivel exploratorio que consiste en:

Investigar un problema poco estudiado o que no se ha abordado antes, o antes, o que se desea abordar desde nuevas perspectivas y Se opta por él cuando solo hay ideas vagamente relacionadas con el problema o descubrimientos parciales que no se ajustan a una teoría. Busca familiarizar a investigadores con fenómenos desconocidos, obtener información para una investigación más completa, investigar nuevos problemas. Preparar el terreno y por lo común anteceder a las otras investigaciones. (SAMPIERI, 2010).

En este caso para la ciudad del Cusco no sea han realizado investigaciones o análisis específicos sobre su red vial transversal y cuáles son sus aportes con respecto a la fluidez del tránsito siendo necesario abrir el camino en este sentido de la investigación sobre las vías urbanas.



3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

“La investigación no experimental es cuando los estudios que se realizan son sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos”. (SAMPIERI, 2010).

En este estudio se usará el diseño no experimental. Tratándose de una investigación que busca determinar el comportamiento vial real de acuerdo al flujo cotidiano y actual del tránsito según los parámetros existentes en los ejes transversales indicados, no se realizará ni será necesario ningún tipo de modificación en dicho flujo. Cumpliendo así con el objetivo general de la investigación.

También se indica que una investigación es transversal cuando “se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo”. (SAMPIERI, 2010). Lo cual aplica al presente proyecto de investigación debido a que al ser de nivel exploratorio se buscará el análisis de las variables a definir en un determinado periodo.

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación a utilizar en la presente tesis es el hipotético deductivo.

El método hipotético deductivo es el camino que sigue el investigador para ser de su actividad una práctica científica, el método hipotético deductivo tiene varios pasos: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o preposiciones más elementales que la propia hipótesis y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos dándolos con experiencia. (SAMPIERI, 2010) (p. 240).

Este método se aplica a esta investigación debido a que en la presente tesis se plantea una hipótesis general y tres hipótesis específicas a partir de las cuales se inferirán y determinarán conclusiones sobre la capacidad vial de las conexiones transversales motivo de estudio.



3.5 POBLACIÓN

3.5.1 Población 01, Ejes transversales principales en el tramo UNSAAC - Qollana

Esta población consiste en los ejes transversales compuestos por las avenidas transversales existentes entre los principales ejes longitudinales del Cusco: Av. La Cultura, Vía Expresa y Vía de Evitamiento; ubicados dentro los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo. Avenidas que, debido a la continuidad existente entre algunas de ellas, se agruparán y formarán los siguientes ejes transversales:

En Wanchaq:

- Eje 1: Av. Universitaria, Av. Anselmo Álvarez, Av. Pedro Vilcapaza y Jr. Anta
- Eje 2: Av. Víctor R. Haya de la Torre, Jr. Hnos. Ayar, Jr. Espinar, Jr. Calca, Av. Perú (Los Sauces), Jr. De la Unión y Av. Velasco Astete.
- Eje 3: Calle Manzanares y Diagonal Angamos.

En San Sebastián:

- Eje 4: Av. Manantiales, Av. Perú (San Sebastián) y Calle Quenua.
- Eje 5: Av. Tomas Tuyro Túpac, prolongación Tuyro Túpac.
- Eje 6: Av. Marcos Zapata, Calle Palmeras.
- Eje 7: Ingreso 7mo paradero de San Sebastián y Calle Porvenir.
- Eje 8: Calle Tomas Katari.
- Eje 9: Av. Diego Túpac Amaru.

En San Jerónimo

- Eje 10: Conexión Grifo San Cristóbal (San Jerónimo) y Fray Martin de Porres.
- Eje 11: Conexión Penal de Qenqoro (San Jerónimo) y Ciro Alegría
- Eje 12: Av. Clorinda Matto de Turner.
- Eje 13: Calle Sorama y Av. Primavera

3.5.2 Población 02, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en el tramo UNSAAC– Qollana

La población está conformada solo por las intersecciones, semaforizadas y no semaforizadas, de los ejes transversales, definidos en la población 01, con los ejes longitudinales principales del tramo definido. Estas intersecciones vienen a ser:



En Wanchaq:

- Eje 01 intersecciones con: Av. Collasuyo, Av. De La Cultura, Av. Micaela Bastidas, Av. Huayruopata, Av. Túpac Amaru y Av. 28 de Julio. Siendo un total de seis intersecciones.
- Eje 02 intersecciones con: Av. Collasuyo, Av. De La Cultura, Av. Micaela Bastidas, Av. Huayruopata, Av. Túpac Amaru y Av. 28 de Julio. Siendo un total de seis intersecciones.
- Eje 03 intersecciones con: Av. Collasuyo, Vía expresa, Av. De La Cultura, Av. Huayruopata, Av. Túpac Amaru y Av. Velasco Astete. Siendo un total de siete intersecciones.

En San Sebastián:

- Eje 04 intersecciones con: Av. Collasuyo, Vía expresa, Av. De La Cultura, Av. Cusco, Vía expresa y Av. Velasco Astete. Siendo un total de seis intersecciones.
- Eje 05 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, Av. Cusco y Vía expresa. Siendo un total de cuatro intersecciones.
- Eje 06 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, Av. Cusco y Vía expresa. Siendo un total de cuatro intersecciones.
- Eje 07 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, Av. Cusco y Vía expresa. Siendo un total de cuatro intersecciones.
- Eje 08 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, y Vía expresa. Siendo un total de tres intersecciones.
- Eje 09 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, y Vía expresa. Siendo un total de tres intersecciones.

En San Jerónimo:

- Eje 10 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, y Vía expresa. Siendo un total de tres intersecciones.
- Eje 11 intersecciones con: Vía expresa, Av. De La Cultura, y Vía expresa. Siendo un total de tres intersecciones.



3.6 MUESTRA

3.6.1 Muestra 01, Ejes transversales principales en el tramo UNSAAC - Qollana

La muestra a estudiar es la misma que la de la población y corresponde a 11 ejes transversales definidos.

Es necesario especificar un muestreo para la aplicación de la metodología del Modelo Bazant y poder tener un análisis apropiado, para lo cual se usa un muestreo no probabilístico que no depende de la probabilidad y no obedece a un proceso basado en cálculo de fórmulas sino que depende de los criterios del investigador y los objetivos del estudio. (SAMPIERI, 2010). El criterio principal viene a ser la interrupción del eje por la existencia del aeropuerto Velasco Astete, seleccionando los ejes 03; 04; 05; 06 y 07. A estos se le suma el Eje 02 debido a la importante carga vehicular que recibe y su localización céntrica dentro de la ciudad.

3.6.2 Muestra 02, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en el tramo UNSAAC – Qollana

Para la Población 02 es necesario usar un muestreo no probabilístico, el cual no depende de la probabilidad y no obedece a un proceso basado en cálculo de fórmulas sino que depende de los criterios del investigador y los objetivos del estudio. (SAMPIERI, 2010). Para este caso el primer criterio de selección de muestra define solo las intersecciones que sean semaforizadas, ya que son las que presentan mayor conflicto de congestión vehicular y el cálculo de su capacidad y niveles de servicio será más preciso gracias al método del HCM. El segundo criterio viene a ser la selección de la intersección (semaforizada) más próxima a la Av. La Cultura y que tenga una relevante interacción con el eje ya que esta viene a ser la vía longitudinal principal de la ciudad.

De acuerdo a estos criterios la muestra no probabilística es:

- Eje 01: Av. Micaela Basticas con Calle Anselmo Álvarez
- Eje 02: Av. La Cultura con Av. Víctor Raúl Haya de la Torre y Jr. Hnos. Ayar. Y Av. Huayruropata con Jr. Espinar.
- Eje 03: Av. La Cultura con Diagonal Angamos (Prolong. Huayruropata)
- Eje 04: Av. Velasco Astete con Prolongación del eje (Hilario Medivil)



- Eje 05: Av. Cusco con Av. Tomas Tuyro Túpac
- Eje 10: Av. De La Cultura con eje 10 (Grifo San Cristóbal)
- Eje 11: Av. De La Cultura con eje 11 (Penal de Qenqoro)

Es necesario añadir a la muestra la intersección semaforizada del Óvalo Libertadores ya que se ubica en un punto sumamente conflictivo para los principales ejes de interés y en cuyo caso repercuten las mejoras más significativas del estudio.

3.7 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se usaron técnicas de observación cuyos instrumentos fueron fichas y plantillas en las cuales se apuntarán los parámetros captados en las vías a estudiar.

3.7.1 Conteo vehicular

Esta técnica consiste en el registro de la cantidad de vehículos que circulan en una determinada intersección, la cual es seleccionada por su representatividad e importancia para la investigación, el conteo se realiza en cada carril de las avenidas de acceso al punto de interés, y se clasifica de acuerdo al tipo de vehículo que se observe en campo, siendo estos Automóviles, Buses y Camiones.

Los conteos se realizan asignando determinadas direcciones de flujo (máximo 2) a cada aforador, para no saturar la contabilización y tener resultados correctos.

Conteo preliminar de 24 horas tres días a la semana.

Previo a un aforo vehicular en los ejes e intersecciones motivo de estudio, es necesario definir un día y un horario representativo para llevarlos a cabo. Para lo cual se analizó los conteos de 24 horas, los días martes, miércoles y sábado, siendo necesario revisar dos días de la semana y uno en el fin de semana.

Luego de un procesamiento de datos de aforos vehiculares diarios realizados las 24 horas en los corredores transversales: Diagonal Angamos, intersección con Av. La Cultura (Wanchaq), Av. Tacna, intersección con Av. Garcilaso de la Vega (Wanchaq) y Av. Perú (bypass de San Sebastián), se procede a seleccionar un periodo de la semana en el cual se encontrará el mayor flujo vehicular. Siendo este un día sábado de 9 am. A 12 pm. Esto se logra observar en los siguientes gráficos que muestran un resumen de los conteos preliminares de 24 horas.

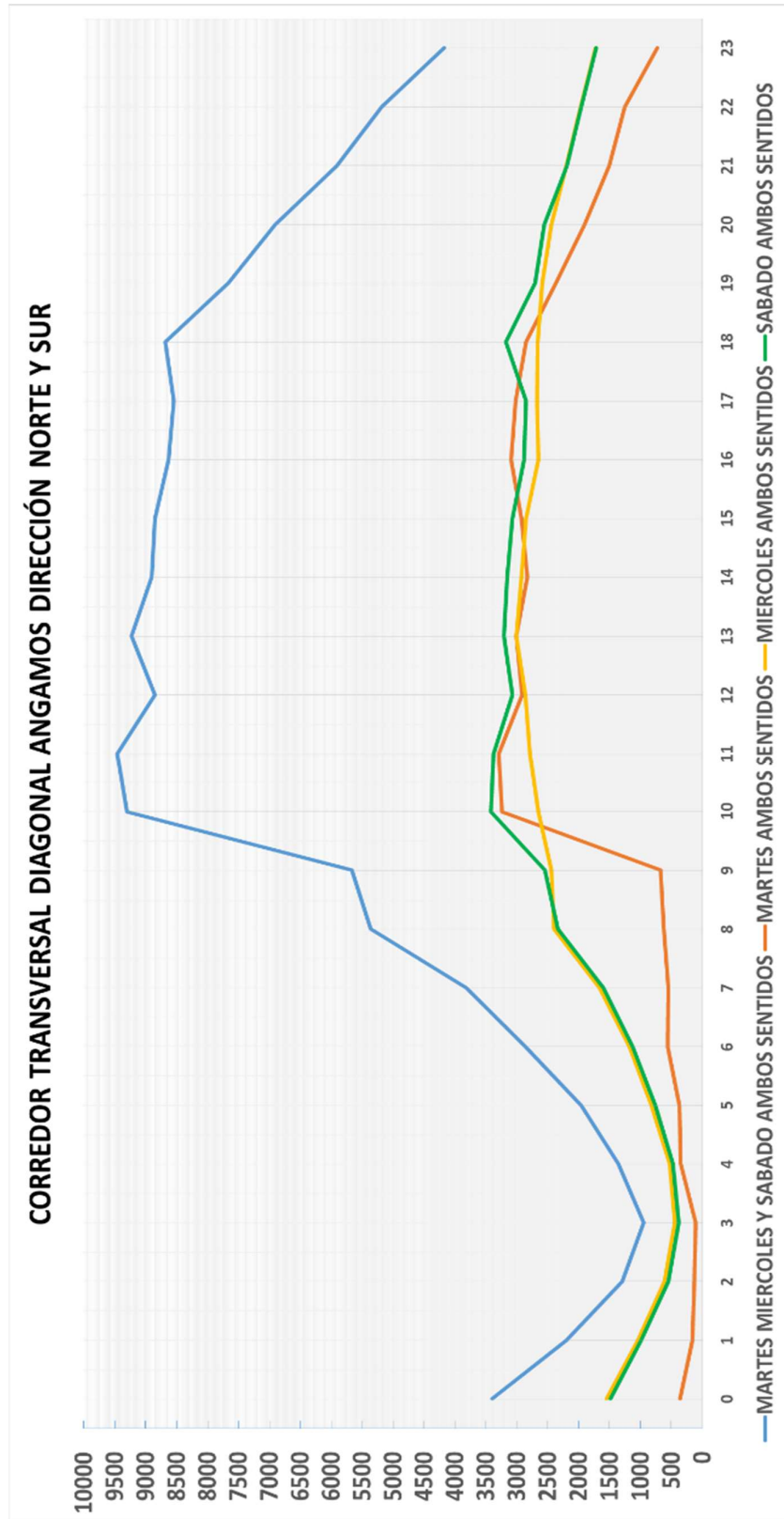


Figura N° 17 Gráfico de aforo vehicular en Diagonal Angamos, Volumen vs. Hora

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se observa el conteo vehicular (eje vertical) en las horas del día (eje horizontal). Se aprecia que la línea de color verde, que corresponde al día sábado refleja valores superiores a los días miércoles y martes. La línea azul que representa el volumen total de los tres días y muestra sus máximos valores en las horas de 9 a 12 de la mañana.

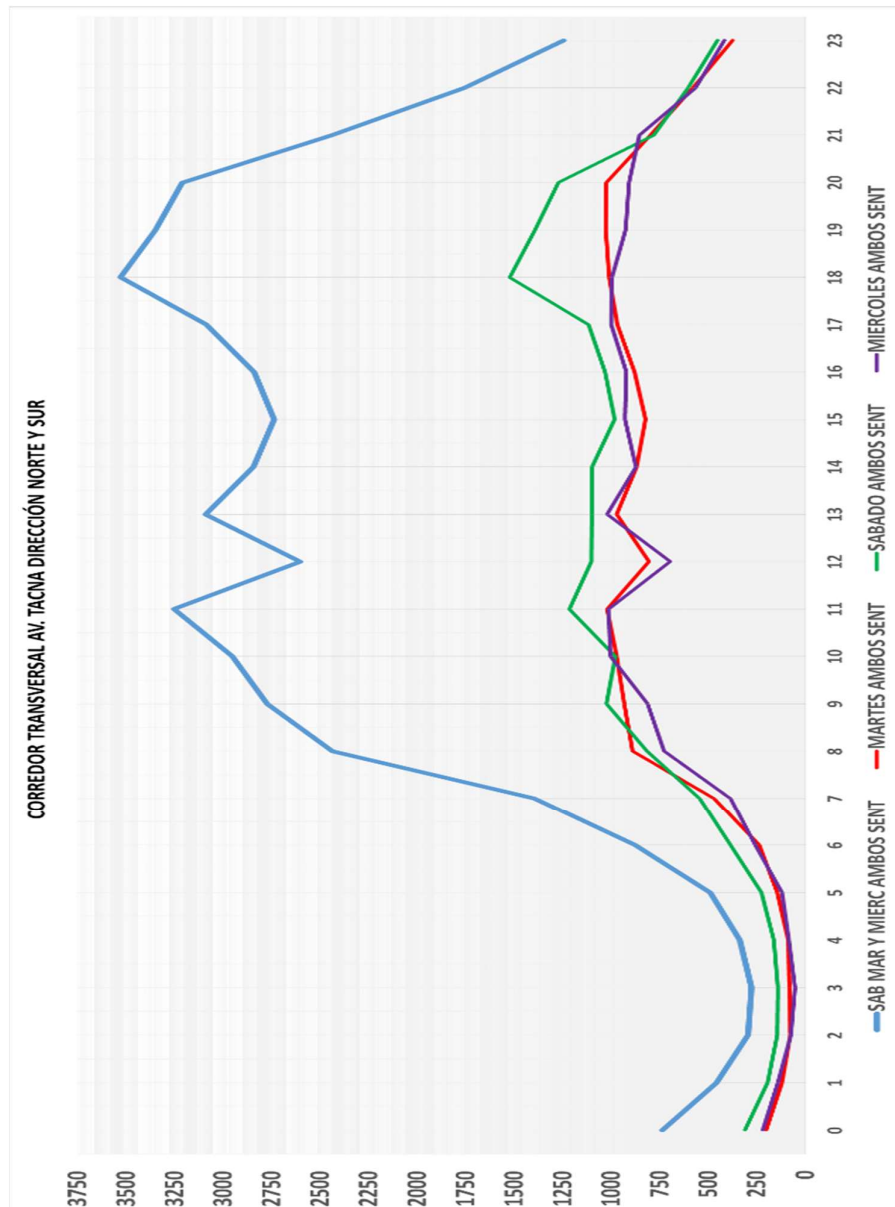


Figura N° 18 Gráfico de aforo vehicular en Av. Tacna, Volumen vs. Hora

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico mostrado usa el mismo formato de líneas y ejes que el anterior, observándose en este caso los máximos valores de la línea azul (los tres días) en

los horarios de 10 a 12 de la mañana y de 5 a 7 de la tarde. De igual manera la línea verde (día sábado) representa volúmenes vehiculares mayores a los días miércoles y martes.

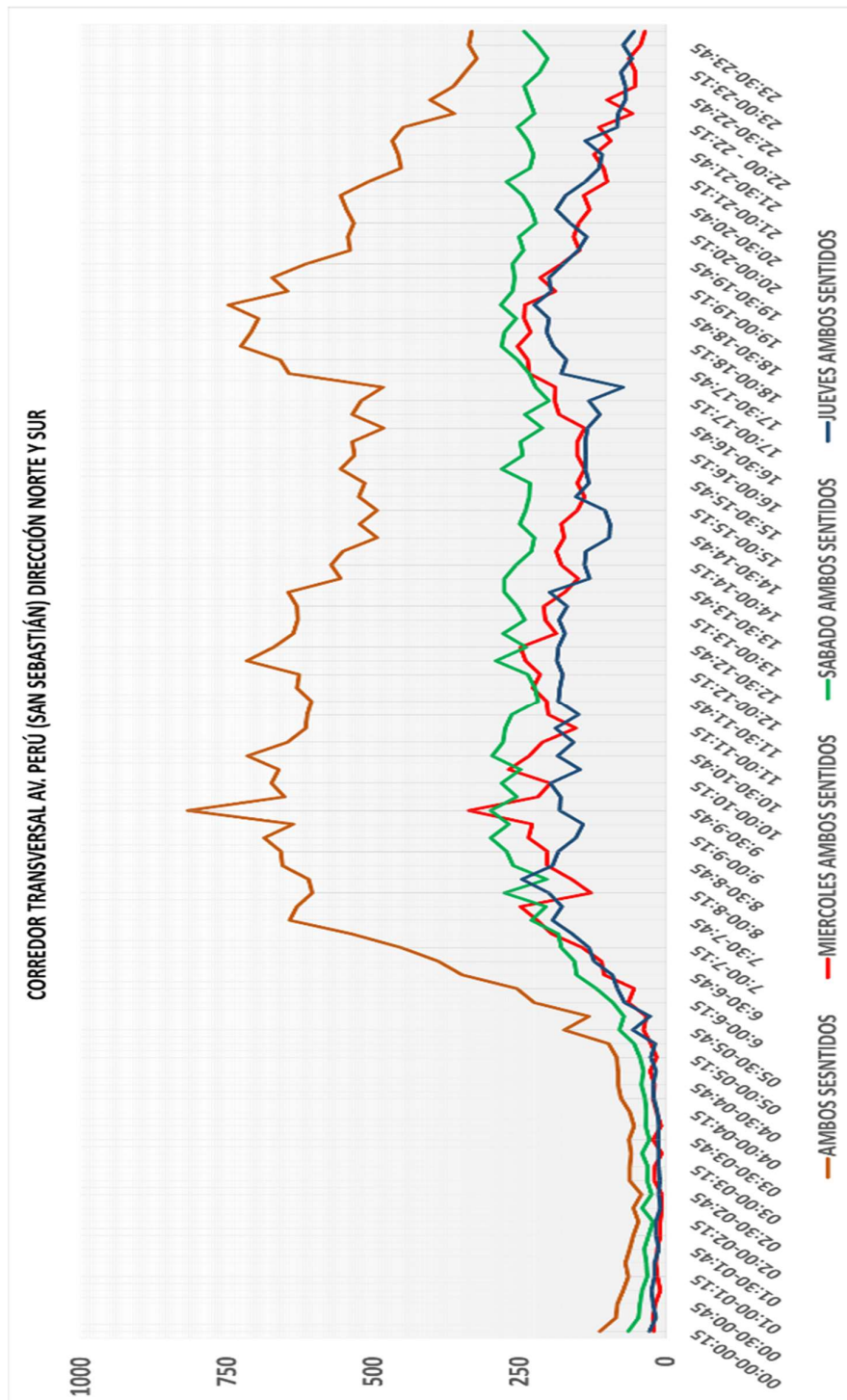


Figura N° 19 Gráfico de aforo vehicular en el Bypass de San Sebastián, Volumen vs. Hora

Fuente: Elaboración propia.



En el gráfico presente se observa un aforo vehicular más detallado, mostrando los conteos en periodos de 15 minutos. La línea verde que corresponde al día sábado muestra cantidades vehiculares más elevadas, y en cuanto al aforo de los tres días, la línea marrón muestra su pico más alto en el horario de 9:30 a 9:45 de la mañana.

De estos cálculos se concluye que el periodo de conteo será, de 9 am. A 12 pm. Un día sábado (10 de junio del 2017), a pesar de que lo usual es tener horas pico de conteo los días hábiles (de lunes a viernes) por el comportamiento social de un día laboral en el que los habitantes (centros laborales y escuelas). El sábado en este caso es un día en el cual también se trabaja hasta el mediodía y aunque no se tenga una movilización masiva de colegiales, tiene mayor movilización debido a ser un sábado perteneciente al mes jubilar de la ciudad (junio), generando mayor cantidad de viajes por motivo de las fiestas.

3.7.1.1 Instrumentos de conteo vehicular

a.- **Ficha de conteo de tráfico:** en la cual se registrara el flujo vehicular por sentido (N- S y S-N), según el respectivo croquis del formato.

**UAC - ING. CIVIL
AFORO VEHICULAR**

INTERSECCION:

INICIO: _____ RESPONSABLE: _____

FINAL: _____ DNI: _____

FECHA: _____ FIRMA: _____

INTERVALO		AUTOS		BUSES		CAMIONES	
		↶	↷	↶	↷	↶	↷
9:00 a.m.	9:15 a.m.						
9:15 a.m.	9:30 a.m.						
9:30 a.m.	9:45 a.m.						
9:45 a.m.	10:00 a.m.						
10:00 a.m.	10:15 a.m.						
10:15 a.m.	10:30 a.m.						
10:30 a.m.	10:45 a.m.						
10:45 a.m.	11:00 a.m.						
11:00 a.m.	11:15 a.m.						
11:15 a.m.	11:30 a.m.						
11:30 a.m.	11:45 a.m.						
11:45 a.m.	12:00 p.m.						

Figura N° 20 Formato de aforo vehicular

Fuente: Elaboración propia.

b.- **Cámara digital:** debido a la significativa cantidad de personas necesarias para el conteo y a la necesidad de observar un comportamiento simultáneo en los ejes transversales, dentro del periodo definido. Se usó una cámara digital para realizar

filmaciones en algunas intersecciones, con el fin de reducir el número de personas requeridas por intersección.

3.7.2 Registro de placas

Para obtener los volúmenes y direcciones vehiculares dentro del cordón observado en la Figura N° 20 se determinaron cinco puntos en los cuales se realizaron las grabaciones de voz registrando el paso de los vehículos.



Figura N° 21 Ubicación de los puntos de control y registro de placas

Fuente: Google Earth – Adaptación del Autor

En la Figura N° 21 se observa los puntos de control y las rutas de norte a sur y viceversa que los vehículos registrados siguieron (líneas roja, verde, amarilla y cian) los puntos se detallan a continuación:

- P 01: Ubicado al costado izquierdo del aeropuerto y una cuadra antes del Ovalo Los Libertadores en la Av. Velazco Astete. Este punto es el origen de los vehículos en dirección norte y también el control final de llegada de los vehículos provenientes de los puntos P02; P03; P04; y P05 en dirección sur. De coordenadas latitud $13^{\circ}32'5.83''S$ y longitud $71^{\circ}57'19.67''O$.
- P 02: Se localiza en la Av. Perú al frente del mercado de Ttio, ubicado a la altura del tercer paradero de la Av. 28 de Julio. Este punto representa el acceso al eje transversal N° 2 y sus coordenadas son latitud $13^{\circ}31'54.51''S$ y longitud $71^{\circ}57'37.51''O$.



- P 03: Ubicado en la Av. República de Brasil, poco antes de su intersección a desnivel con el Bypass de Wanchaq. Este punto representa la conectividad con el eje transversal N° 3 y sus coordenadas son latitud $13^{\circ}31'53.27''S$ y longitud $71^{\circ}57'5.02''O$.
- P 04: Ubicado en el distrito de San Sebastián, en la Ca. República del Perú algunos metros antes de la Av. Cusco y su conexión con la Av. Los manantiales. Representa uno de los ejes transversales con más potencial de articulación para la ciudad (eje N° 4). Sus coordenadas son latitud $13^{\circ}31'42.99''S$ longitud $71^{\circ}56'27.97''O$.
- P 05: Localizado en la intersección de la Av. Tomás Tuyo Túpac con la Av. Cusco, a la altura del mercado del 4to paradero de San Sebastián. El registro de flujo vehicular en este punto de paso aporta a la información requerida para el análisis del eje N° 5. Sus coordenadas son latitud $13^{\circ}31'56.68''S$ y longitud $71^{\circ}55'58.56''O$.

3.7.2.1 Instrumentos de registro de placas

a.- Grabador de voz: este instrumento se utilizó para registrar de manera efectiva el número de placa, el tipo y el color de los vehículos que pasaban por puntos específicos en algunas calles y avenidas dentro de un cordón, para así poder determinar el volumen de vehículos que se movilizaban de un punto a otro.

3.7.3 Mediciones de elementos y diseño geométrico en campo

Para el cálculo de la capacidad vial y niveles de servicio necesarios en esta investigación se requiere de los datos del diseño geométrico de las intersecciones, para lo cual salió a campo para recolectar dichos parámetros.

3.7.3.1 Instrumentos metodológicos para mediciones de elementos y diseño geométrico

a.- Ficha de medición de diseño geométrico y semáforos: en la cual se registrarán las características del diseño geométrico como el número de

carriles, pendientes y los ciclos semafóricos actuales. Así como el registro de la presencia de paraderos de buses y estacionamientos y el comportamiento vehicular en estos. El formato usado fue el siguiente:

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. CIVIL
MEDICIONES GEOMÉTRICAS EN CAMPO

INTERSECCIÓN: AV. CUSCO // AV TOMAS TUYRO TUPAC

FECHA: _____ RESPONSABLE: _____
 HORA: _____ DNI: _____
 FIRMA: _____

EJE 5							
AV. CUSCO ESTE		AV. CUSCO OESTE		AV. TOMAR TUYRO TUPAC SUR		AV. TOMAS TUYRO TUPAC NORTE	
Semáforos		Semáforos		Semáforos		Semáforos	
T CICLO		T CICLO		T CICLO		T CICLO	
T VERDE		T VERDE		T VERDE		T VERDE	
T ROJO		T ROJO		T ROJO		T ROJO	
T AMBAR		T AMBAR		T AMBAR		T AMBAR	
Berma central		Berma central		Berma central		Berma central	
ANCHO		ANCHO		ANCHO		ANCHO	
Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente	
Ancho de vía		Ancho de vía		Ancho de vía		Ancho de vía	
Continuidad entre ejes	DEFASE	Continuidad entre ejes	DEFASE	Continuidad entre ejes	DEFASE	Continuidad entre ejes	DEFASE
Area Verde		Area Verde		Area Verde		Area Verde	
LADO	ANCHO	LADO	ANCHO	LADO	ANCHO	LADO	ANCHO
Veredas		Veredas		Veredas		Veredas	
LADO	ANCHO	LADO	ANCHO	LADO	ANCHO	LADO	ANCHO
N° Carriles		N° Carriles		N° Carriles		N° Carriles	
SENTIDO	ANCHO	SENTIDO	ANCHO	SENTIDO	ANCHO	SENTIDO	ANCHO
Estacionamientos		Estacionamientos		Estacionamientos		Estacionamientos	
Paradero Buses		Paradero Buses		Paradero Buses		Paradero Buses	

Figura N° 22 Formato para la toma de mediciones geométricas en campo

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.2 Instrumentos de ingeniería para mediciones geométricas

a.- **Wincha** utilizada para la medición de parámetros como ancho de calzada, ancho de carril.



Figura N° 23 Wincha en mediciones geométricas de la Vía Expresa

Fuente: Captura propia.

b.- Nivel topográfico y miras: utilizado para la medición de la pendiente de los accesos a las intersecciones.



Figura N° 24 Nivel topográfico en la medición de la pendiente de Av. Tomas Tuyro Túpac

Fuente: Captura propia.

3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

En los cálculos siguientes se considera principalmente el volumen vehicular, el flujo vehicular, el diseño geométrico y la semaforización de las intersecciones y avenidas a analizar, en cuanto a la señalización y fiscalización de estas, no representan factores de gran influencia en las metodologías de cálculo de Bazant y del HCM 2010, por lo que no será necesario su procesamiento a detalle.

3.8.1 Coincidencia de placas

Las grabaciones de voz para este estudio fueron realizadas el día sábado 10 de junio del 2017 entre las 9 am y 12 pm, periodo correspondiente a un flujo vehicular saturado y muy representativo. Y los datos recolectados se procesaron de acuerdo a los siguientes pasos.

Utilizando el programa Excel se logró identificar los vehículos que llegan de un punto a otro dentro del cordón, logrando obtener, tiempos de recorrido, velocidad y volúmenes vehiculares en las diferentes rutas. Esto se llevó a cabo de la siguiente manera.

- 1° Digitación en el programa Excel de los números de placa, colores y tipo de vehículos registrados en cada punto con las grabaciones de voz tomadas en campo. Se digitó los tres últimos números de la placa junto con el código del color, en caso de automóviles (az: azul; ve: verde; am: amarillo; b: blanco; n: negro; p: plomo), y el código de tipo de vehículo en caso de buses y camiones (bu: buses y ca: camiones).

2569 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 969bu	2571 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 474b
2570 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 176p	2572 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 719ca
2571 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 399p	2573 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 879bu
2572 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 879bu	2574 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 969bu
2573 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 290b	1 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 129b
2574 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 448b	2 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 224n
1 TERCER DE TTIO SUR A NORTE	09:40 604p	3 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 316az
2 TERCER DE TTIO SUR A NORTE	09:40 038n	4 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 332n
3 TERCER DE TTIO SUR A NORTE	09:40 625b	5 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 566n
4 TERCER DE TTIO SUR A NORTE	09:40 046p	6 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 732n
5 TERCER DE TTIO SUR A NORTE	09:40 267gr	7 BYPASS SAN SEBAS SUR A NORTE	09:30 825az
2570 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 176p	2574 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 448b
2571 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 399p	2567 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 474b
2572 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 879bu	2568 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 719ca
2573 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 290b	2572 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 879bu
2574 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 448b	2569 VELASCO ASTETE SUR A NORTE	11:30 969bu
1 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 276r	3 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:25 047m
2 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 311b	2 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:25 555b
3 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 616b	1 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:25 889bu
4 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 167p	5 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:26 087az
5 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 420p	4 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:26 492r
6 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 600p	6 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:26 099p
		7 TUYRO TUPAC SUR A NORTE	09:26 916ca

Figura N° 25 Captura de pantalla de la digitación de registro de placas sur a norte

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 26 se muestran las tablas de hoja Excel y el formato en que se digitaron los datos recolectados del registro de placas de los corredores en sentido Sur a Norte.

1635 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 757p	1635 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 757p
1636 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 282r	1636 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 282r
1637 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 319n	1637 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 319n
1638 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 178az	1638 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 178az
1639 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 312p	1639 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 312p
1 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 631n	1 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 462b
2 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 050r	2 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 595b
3 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 437r	3 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 083p
4 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 050r	4 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 422v
5 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 459b	5 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 161p
6 BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR	09:20 481b	6 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:00 381b
		7 TERCERO DE TTIO NORTE A SUR	10:01 565p

1636 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 282r	1635 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 757p
1637 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 319n	1636 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 282r
1638 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 178az	1637 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 319n
1639 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 312p	1638 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 178az
1 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 521b	1639 VELASCO ASTETE NORTE A SUR	11:29 312p
2 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 587b	1 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:17 925p
3 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 001az	2 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:17 926r
4 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 890ca	3 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:17 713b
5 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 380p	4 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:18 504p
6 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 055b	5 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:18 363b
7 BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	09:40 508b	6 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:18 686na
		7 TUYRO TUPAC NORTE A SUR	09:18 103b

Figura N° 26 Captura de pantalla de la digitación de registro de placas norte a sur

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 26 se muestran las tablas de hoja Excel y el formato en que se digitaron los datos recolectados del registro de placas de los corredores en sentido Norte a Sur.

- 2° Organización de los datos digitados con nombre del punto de origen, hora y demonización del vehículo, por orden alfabético para buscar las coincidencias respectivas.
- 3° Realizar un cruce de los datos recabados en el punto P01 con cada uno de los puntos P02; P03; P04 Y P05, seleccionando los vehículos que se repiten y determinado los tiempos de recorrido.

En la Tabla N° 5 se observan los cuadros de cálculo del punto 03 en ambas direcciones, se aprecia la cantidad de autos, buses y camiones que llegan desde el punto 01 que representan un 15% en dirección Sur a Norte y un 10% en dirección Norte a Sur. En la parte inferior se distinguen las distancias, tiempo promedio de recorrido y la velocidad de recorrido promedio.

Tabla N° 6 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 5

Av. Velasco A. - Av. Tomas Tuyro tupac/Av. cusco S-N				Av. Velasco A. - Av. Tomas Tuyro tupac/Av. cusco N-S			
VELASCO ASTETE SUR A NORTE		2574		VELASCO ASTETE NORTE A SUR		1639	
TUYRO TUPAC SUR A NORTE		570		TUYRO TUPAC NORTE A SUR		481	
LLEGAN A LA AV. TOMAS TUYRO TUPAC		105	4.1%	LLEGAN A VELASCO ASTETE		76	15.8%
	BUSES	8	7.6%	0.3%	BUSES	8	10.5%
	CAMIONES	14	13.3%	0.5%	CAMIONES	9	11.8%
	AUTOS	83	79.0%	3.2%	AUTOS	59	77.6%
							12.3%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 6 se observan los cuadros de cálculo del punto 02 en ambas direcciones, se aprecia la cantidad de autos, buses y camiones que llegan desde el punto 01 que representan un 4.1% en dirección Sur a Norte y un 15.8% en dirección Norte a Sur. Es relevante también la cantidad de camiones que conforman estos porcentajes al ser casi la cuarta parte de los volúmenes registrados.

Tabla N° 7 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 3

Av. Velasco A. - Bypass de Wanchaq S-N				Av. Velasco A. - Bypass de Wanchaq N-S			
VELASCO ASTETE SUR A NORTE		2574		VELASCO ASTETE NORTE A SUR		1639	
BYPASS WANCHAQ SUR A NORTE		1914		BYPASS WANCHAQ NORTE A SUR		1657	
LLEGAN AL BYPASS DE WANCHAQ		385	15.0%	LLEGAN A VELASCO ASTETE		235	14.3%
	BUSES	7	1.8%	0.3%	BUSES	2	0.9%
	CAMIONES	27	7.0%	1.0%	CAMIONES	7	3.0%
	AUTOS	351	91.2%	13.6%	AUTOS	226	96.2%
							13.8%
DISTANCIA: 0.76 KM TIEMPO PROM: 15 min 0.250 h VEL. RECORRIDO: 3.04 km/h				DISTANCIA: 0.76 KM TIEMPO PROM: 9 min 0.150 h VEL. RECORRIDO: 5.07 km/h			

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 7 se observan los cuadros de cálculo del punto 03 en ambas direcciones, se aprecia la cantidad de autos, buses y camiones que llegan desde el punto 01 que representan un 15% en dirección Sur a Norte y un 14.3% en dirección Norte a Sur. Predomina dentro de estos porcentajes la cantidad de autos.

Tabla N° 8 Resumen detallado de los resultados preliminares de la coincidencia de placas en la ruta Av. Velasco Astete y Eje 4

Av. Velasco A. - Bypass de San Sebastián S-N				Av. Velasco A. - Bypass de San Sebastián N-S			
VELASCO ASTETE SUR A NORTE	2574	de 9:18 a 11:30am		VELASCO ASTETE NORTE A SUR	1639	de 9:30 a 11: am	
BYPASS SAN SEBASTIAN SUR A NORTE	1557	de 9:30 a 11:43am		BYPASS SAN SEBAS NORTE A SUR	1249	de 9:40 a 11:27am	
LLEGAN AL BYPASS DE SAN SEBASTIAN	374	14.5%		LLEGAN A VELASCO ASTETE	193	15.5%	
BUSES	6	1.6%	0.2%	BUSES	5	2.6%	0.4%
CAMIONES	10	2.7%	0.4%	CAMIONES	6	3.1%	0.5%
AUTOS	358	95.7%	13.9%	AUTOS	182	94.3%	14.6%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 8 se observan los cuadros de cálculo del punto 04 en ambas direcciones, se aprecia el porcentaje 14.5 de sur a norte y 15.5 de norte a sur (autos buses y camiones que llegan desde el punto 01).

3.8.2 Cálculo de carga vehicular por eje con el Modelo de Bazant

Este modelo tiene como criterio principal la determinación de tramos largos, entre periferias, y la superficie de cobertura de estos. Refleja el comportamiento vehicular que se genera en una ciudad cuando la población se dirige a sus diferentes destinos, proponiendo un cálculo de aforo vehicular. (Bazant, 2011). Con este modelo se evalúa un cordón que envuelve a los ejes incompletos por la presencia del aeropuerto (ejes 2; 3; 4; 5; 6 y 7) de la ciudad y para desarrollarlo se definen de los siguientes datos preliminares.

a) Proyección de la población, niveles de ingreso y densidad.

Para calcular la población actual de la ciudad del Cusco en el área de estudio se realizaron los siguientes pasos:

- 1° Cálculo de la población actual (2017) de los distritos involucrados en el cordón de estudio, basado en datos recabados del INEI (CUADRO N° 11: PERÚ: POBLACIÓN TOTAL AL 30 DE JUNIO, POR GRUPOS QUINQUENALES DE EDAD, SEGÚN DEPARTAMENTO, PROVINCIA Y DISTRITO, 2015) utilizando la formula siguiente:

Ecuación 9 Población proyectada

$$Pf = Po \times (1+r)^t$$

- Pt =Población final (2017)
- Po =Población inicial (2015)
- r =tasa de crecimiento poblacional igual al 1%, de acuerdo al INEI (CUADRO N° 17 PERÚ: TASAS DE CRECIMIENTO GEOMÉTRICO MEDIO ANUAL SEGÚN DEPARTAMENTOS, 1995-2015)
- t =Tiempo en años de la proyección (2 años)

Siendo los distritos involucrados: Cusco, Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo se obtienen los siguientes datos.

Tabla N° 9 Cálculo de población al 2017 y al 2027

	2015	2017	2027
CUSCO	118,316.00	120,694.15	133,321.43
SAN SEBASTIAN	115,305.00	117,622.63	129,928.56
SANTIAGO	90,154.00	91,966.10	101,587.78
WANCHAQ	63,778.00	65,059.94	71,866.65
	387,553.00	395,342.82	436,704.42

Fuente: INEI 2015 – Adaptación del autor

2° El modelo de Bazant requiere clasificar el área de estudio en cuadrantes (1 ha) de acuerdo a la densidad y nivel de ingresos económicos de la zona a la que corresponden, para lo cual:

- Densidad 1: Corresponde a asentamientos o fraccionamientos ubicados en la periferia de la ciudad.
- Densidad 2: Se encuentran en los anillos intermedios de la ciudad
- Densidad 3: Corresponde a las zonas céntricas o zonas de edificios bastante altos.

(Bazant, 2011)

Para definir gráficamente estos parámetros se usa el programa AutoCAD estableciendo lo observado.

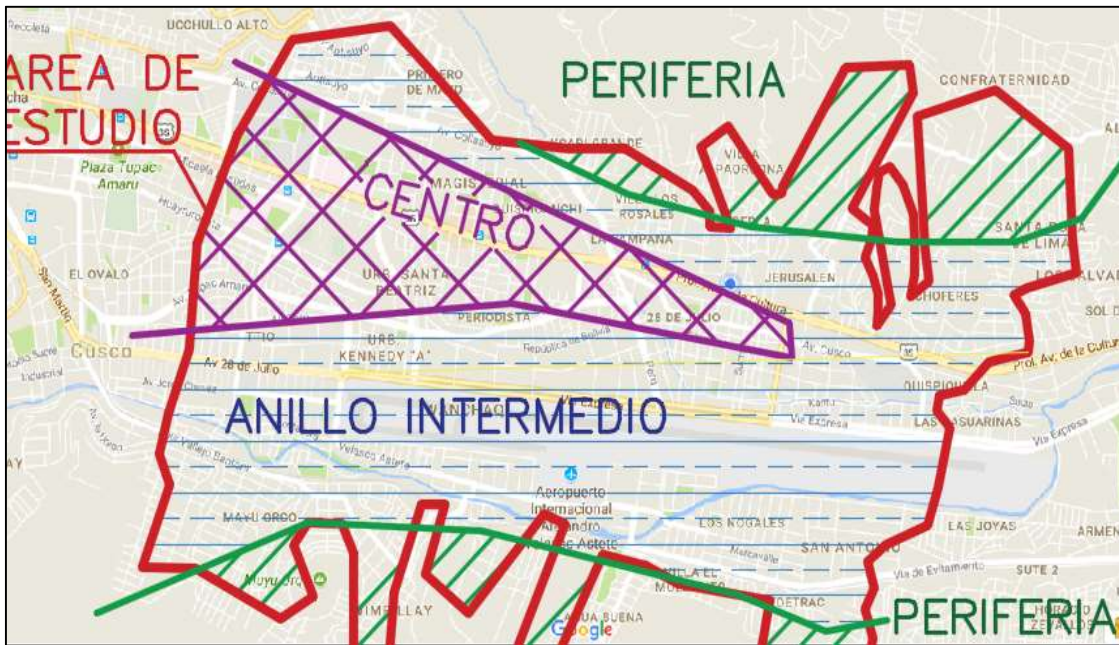


Figura N° 28 Delimitación de áreas de acuerdo a densidad

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 28 se observa que la línea blanca exterior es el cordón de estudio definido previamente y las líneas de color cian delimitan las áreas de acuerdo a su densidad.

3° En cuanto a la clasificación por niveles de ingreso económico según (APEIM, 2005) los niveles considerados Marginal, Bajo Inferior y Bajo, corresponden a los perfiles de Nivel E, D y C y presentan ingresos menores a S./1400.00. El nivel Medio, corresponde al perfil B con ingresos que alcanzan los S/3000.00 y s/.4000.00 en cuanto al nivel alto (perfil A) supera estos estándares llegando hasta los S/.10000.00 de ingresos. Estos parámetros se pueden observar resumidos en la siguiente tabla.

Tabla N° 10: Resumen de clasificación por nivel socioeconómico

NIVEL SOCIOECONÓMICO	CLASIFICACIÓN	INGRESO (S/.)
E	BAJO	< 1400
D		
C		
B	MEDIO	3000 - 4000
A	ALTO	> 4000

Fuente: (APEIM, 2005)

Tabla N° 11: Nivel de ingresos económicos por distrito

DISTRIBUCIÓN DE ACUERDO AL INGRESO ECONÓMICO						
INGRESOS (S/.)		< = 500	>500 y <= 1000	>3000 y <= 4000	>5000 y <= 6000	> 6000
HOGARES POR DISTRITO	CUSCO	20237	62389	2496	301	277
	WANCHAQ	2412	12220	752	78	84
	SANTIAGO	5256	17260	325	180	24
	SAN SEBASTIÁN	3590	14626	319	0	6

Fuente: (CPIT, 2012)

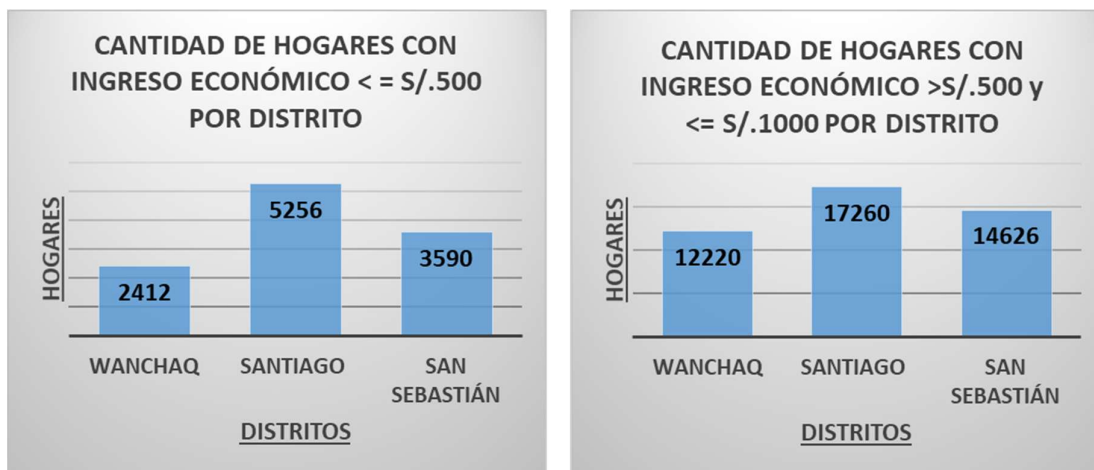


Figura N° 29 Gráfico comparativo de niveles de ingreso menores a s/.1000 por distrito

Fuente: (CPIT, 2012)

En la Figura N° 29 se observa que los distritos en los que predomina el un ingreso económico inferior a los mil soles son Santiago y San Sebastián. Por lo que estos serán considerados como nivel de ingresos bajos para la presente investigación de acuerdo a la Tabla N° 10.

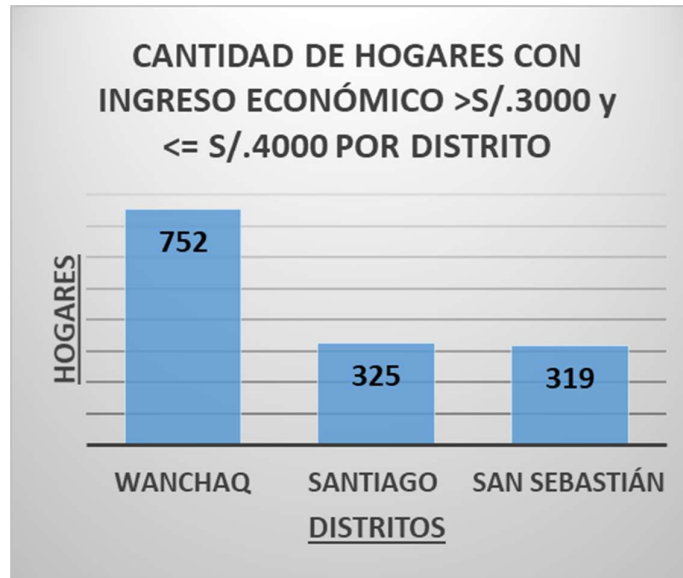


Figura N° 30: Gráfico comparativo de niveles de ingreso menores a s/.4000 por distrito

Fuente: (CPIT, 2012)

En la Figura N° 30 se observa que en el distrito de Wanchaq predomina un ingreso económico entre 3000 y 4000 soles, por lo que es considerado como nivel de ingresos medios para la presente investigación. De acuerdo a la Tabla N° 10.

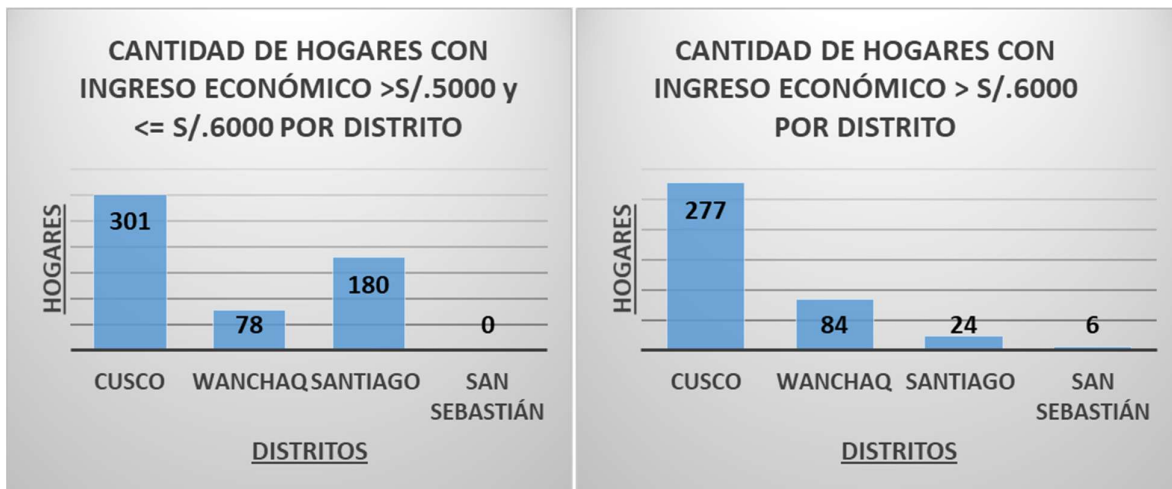


Figura N° 31: Gráfico comparativo de niveles de ingreso mayores a s/.4000 por distrito

Fuente: (CPIT, 2012)

En la Figura N° 31 se observa que en el distrito de Cusco predomina un ingreso económico entre superior a los 5000 soles, por lo que es considerado como nivel de ingresos alto para la presente investigación. De acuerdo a la Tabla N° 10.

De las Figuras N° 28, 29 y 30 se determina que:

- Bajos ingresos (A): San Sebastián y Santiago
- Ingresos medios (B): Wanchaq
- Ingresos altos (C): Cusco

De igual manera estos datos se expresan gráficamente de la siguiente manera.



Figura N° 32 Delimitación de áreas de acuerdo a los niveles de ingreso

Fuente: Google Maps – Adaptación del Autor

En la Figura N° 32 se observa que las líneas de color amarillo delimitan las áreas de acuerdo a su nivel de ingresos económicos.

b) Áreas pobladas que generan viajes

Para poder hallar la densidad poblacional de cada distrito se requiere la extensión de área poblada de cada distrito, es decir solo en la cual se puedan generar viajes. Usando imágenes satelitales de Google Earth se observan los límites de área a los que llega la población.



Figura N° 33 Delimitación de área poblada

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 34 se aprecia la línea verde que delimita el área que aporta viajes de los distritos de interés, mientras que la línea roja corresponde a las divisiones internas de cada distrito.

Subdividiendo en cuadrantes de una hectárea se halla el total de área poblada, cuantificando las hectáreas correspondientes a cada distrito en las que se puede observar población, exceptuando el distrito de Wanchaq cuya área está totalmente poblada y no requiere de este proceso.



Figura N° 34 División del área poblada en hectáreas

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 34 se observan los límites externos (verde) e internos (rojo) así como los cuadrados amarillos equivalentes a una hectárea, que se cuantifican y definen un área poblada aportante de viajes para los distritos de San Sebastián, Santiago y Cusco. Los datos que resultan de esta medición vienen a ser los siguientes.

Tabla N° 12 Cálculo del área poblada por distrito

	EXTENSION TOTAL (km²)	AREA POBLADA (ha)
CUSCO	116.22	1,063
SAN SEBASTIAN	89.44	1,012
SANTIAGO	69.72	1,886
WANCHAQ	6.38	638

Fuente: Elaboración propia.

c) Escala y simbología aplicada al área poblada

Una vez definido el cordón y los sectores por nivel de ingreso y densidad se procede a dividir el cordón en cuadrantes de una hectárea identificados con la siguiente nomenclatura de acuerdo al sector en el que se encuentran.

Tabla N° 13 Simbología por niveles de ingreso y densidad

	BAJOS INGRESOS	INGRESOS MEDIOS	ALTOS INGRESOS
DENSIDAD BAJA	A1	B1	C1
DENSIDAD MEDIA	A2	B2	C2
DENSIDAD ALTA	A3	B3	C3

Fuente: Elaboración propia.

Con esta simbología se procede a identificar y codificar cada cuadrante obteniendo un cordón completamente cubierto, para lo cual se utiliza el programa AutoCAD.

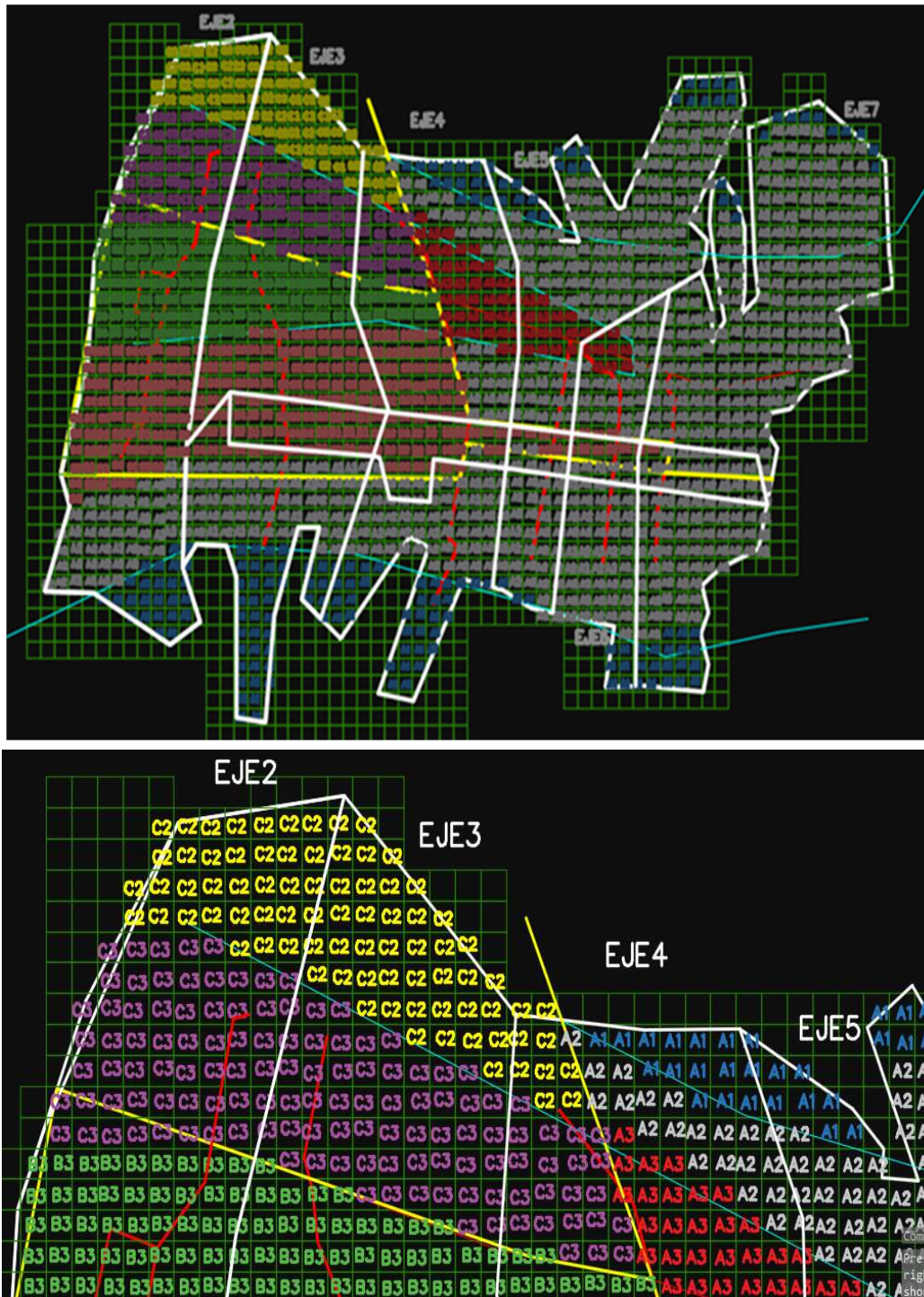


Figura N° 35 Codificación total del área dentro del cordón

Fuente: Elaboración propia.

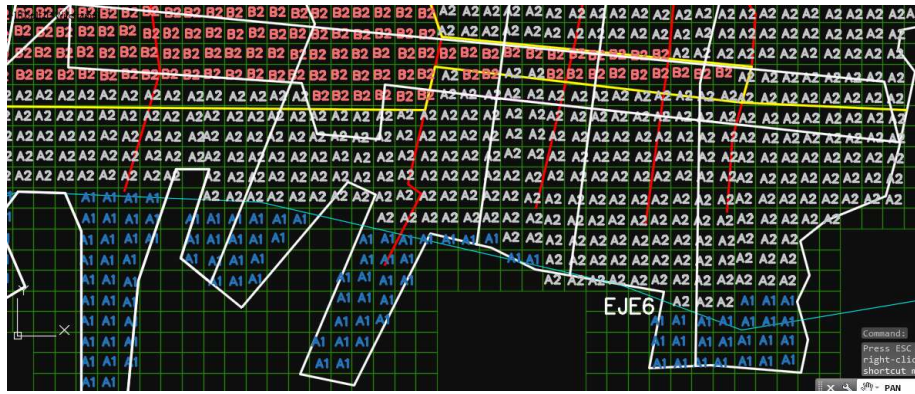


Figura N° 36 Codificación parcial (sur) del área dentro del cordón

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras anteriores se observa la codificación completa del cordón de estudio, siendo los cuadrantes verdes de una hectárea y las líneas rojas verticales corresponden a los corredores completos de los ejes 2; 3; 4; 5; 6 y 7.

d) Modalidades de transporte público

El presente modelo calcula la demanda de viajes de manera general y no específica la cantidad de buses o autos en los que dichos viajes se realizan, por esto es necesario definir cuál será la distribución de estos viajes según los tipos de transporte que existen en nuestra ciudad. Para este efectos de este modelo de cálculo, el Ingeniero Alberto Busali, especialista en transporte y aforos vehiculares, ofrece mediante su experiencia porcentajes de utilización de modalidades de transporte según los sectores en los que se generan los viajes dentro de la ciudad así como la consulta de estudios de vialidad y transporte en Ciudad de México, parámetros sobre los cuales se puede sustentar los siguientes porcentajes predeterminados para este modelo.

Tabla N° 14 Porcentajes de modalidades de uso de transporte

DENSIDAD		BAJOS INGRESOS (A)	INGRESOS MEDIOS (B)	ALTOS INGRESOS (C)
BAJA (1)	AUTOBUS	100%	50%	0%
	AUTOS	0%	50%	100%
MEDIA (2)	BUSES	75%	35%	0%
	AUTOS	25%	65%	100%
ALTA (3)	BUSES	90%	60%	0%
	AUTOS	10%	40%	100%

Fuente: Planeación urbana estratégica (Bazant, 2011) – Adaptación del autor

En la Tabla N°14 se observa la distribución de viajes en autobús y automóvil según la clasificación de densidad y niveles de ingreso de los distintos sectores de la ciudad.

Una vez definidos estos datos preliminares se procede al cálculo de la carga vehicular de los ejes transversales 2; 3; 4; 5; 6 y 7 una vez completados. Para lo cual se siguen los siguientes pasos de acuerdo al Modelo de Bazant.

Es necesario calcular la densidad poblacional que tendrá cada cuadrante (una hectárea) definido, para lo cual se define la densidad por hectárea de cada distrito, dividiendo la población del mismo sobre el área poblada. Como se observa en la Tabla N°15.

Tabla N° 15 Cálculo de densidad población por hectárea y por distrito

	AREA POBLADA (ha)	Población al 2017 (hab)	Densidad Poblacional por hectarea (hab/ha)
CUSCO	1,063	120,682.32	113.53
SAN SEBASTIAN	1,012	117,611.10	116.22
SANTIAGO	1,886	91,957.08	48.76
WANCHAQ	638	65,053.56	101.96

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar los porcentajes de cada clasificación con respecto al total de cordón se procede a contabilizar el número total de cada tipo de cuadrante en el plano y hacer los cálculos de porcentajes.

Tabla N° 16 Cuantificación de hectáreas según tipo de cuadrante

TIPO DE CUADRANTE	TOTAL (ha)
A1	179
A2	751
A3	68
B1	0
B2	253
B3	122
C1	0
C2	72
C3	130
	1575

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 17 Usos de suelo por densidad y niveles de ingreso

DENSIDAD	A	B	C	TOTAL POR DENSIDAD
	BAJOS INGRESOS	INGRESOS MEDIOS	ALTOS INGRESOS	
Baja	179	0	0	11.37%
1	11.37%	0.00%	0.00%	
Media	751	253	72	68.32%
2	47.68%	16.06%	4.57%	
Alta	68	122	130	20.32%
3	4.32%	7.75%	8.25%	
TOTAL	63.37%	23.81%	12.83%	100.00%

TOTAL	1575	ha
--------------	-------------	-----------

Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el procedimiento de este modelo, es necesario tener información de la cantidad de viajes por día que se generan en el área de estudio. De acuerdo a Eduardo Alcántara Vasconcellos en *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*, “Las diferencias en el índice de movilidad de estas grandes urbes están relacionadas con un patrón de actividades sociales y económicas distinto al de otras más pequeñas del sistema urbano. Por ejemplo, entre las ciudades latinoamericanas de tamaño medio (de hasta 500 mil habitantes), dicho índice suele situarse en 1.6 viajes/persona/día y en 1.8 en las de hasta 1 millón de habitantes (Vasconcellos, 2010)(pag. 151). Esta información se plasma en la Tabla N° 18:

Tabla N° 18 Características de movilidad por tipo de ciudad

DATOS GENERALES	CIUDAD		
	PEQUEÑA	MEDIANA	GRANDE
	80 MIL HAB.	500 MIL HAB.	1 MILLON HAB.
TOTAL FLOTA	35,060	175,400	450,800
TOTAL VIAJES DIA	112,000	800,000	1,800,000
INDICE DE MOVILIDAD (viajes/habitante/día)	1.4	1.6	1.8

Fuente: Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad (Vasconcellos, 2010) – Adaptación del autor