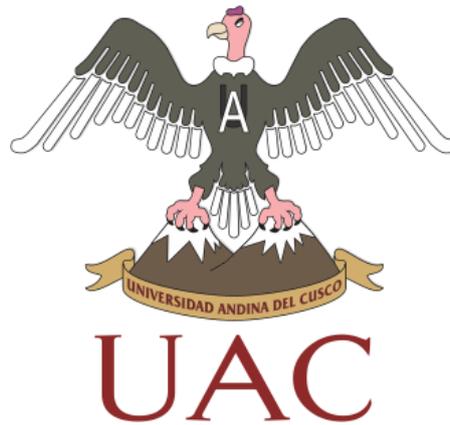




FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN Y PROPUESTA DE PLANIFICACION VIAL EN
LAS PRINCIPALES INTERSECCIONES UBICADAS EN EL CENTRO HISTORICO
DE LA CIUDAD DEL CUSCO”**

Presentado por

Carlos Miguel, Vereau Palma

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Jean F. Pérez Montesinos

CUSCO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado fuerza y salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis, por su sacrificio y entrega, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, por su apoyo incondicional en todo momento y por su amor.

A mi hermana por sus consejos, apoyo y compañía en todo momento demostrando la unión, lealtad y solidaridad que nos forjaron nuestros padres.

Y sobre todo dar las gracias a Dios por haber permitido darme un hijo, quien fue el, que me dio mucha más fuerza y agallas para seguir adelante.

A mi familia, tíos y primos por los consejos y recomendaciones que me permitieron salir adelante.

Carlos Miguel Vereau Palma



AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, mi hermana, les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida, sino por su apoyo incondicional y por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado,

A mis tíos y primos por sus consejos y recomendaciones, a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que estuvieron allí en la formación de mi vida profesional, así mismo agradecer especialmente Al Mgt. Ing. Jean F. Pérez Montesinos por aceptar la tutoría de la tesis de investigación.

Y a todos mis amigos y personas que hicieron posible la conclusión de esta investigación.



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
Planteamiento del problema.....	1
1.1. Identificación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema:.....	4
1.2. Justificación e Importancia de la Investigación:.....	4
1.2.1. Justificación Técnica.....	4
1.2.2. Justificación Social.....	5
1.2.3. Justificación por Viabilidad.....	5
1.2.4. Justificación por Relevancia.....	5
1.3. Limitaciones de la Investigación.....	5
1.3.1. Limitaciones por Espacio.....	5
1.3.2. Limitaciones por Tiempo.....	6
1.3.3. Limitaciones por datos:.....	6
1.3.4. Limitaciones por Fuente de Base.....	6
1.4. Objetivo de la Investigación.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
Marco teórico.....	8
2.1. Antecedentes de la Tesis.....	8
2.1.1. Antecedentes a Nivel Local.....	8
2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional.....	8
2.1.3. Antecedentes a Nivel Internacional.....	9
2.2. Aspectos Teóricos Pertinente.....	9
2.2.1. Definición del Infraestructura vial.....	9
2.2.2. Clasificación de Vías.....	10
2.2.3. Usuarios de la Vía.....	14
2.2.4. Intersecciones Viales.....	18
2.2.5. Estudios de impacto vial (EIV).....	31
2.2.6. Dispositivos para el Control del Transito.....	35



2.2.7.	Volumen de Transito Horario.....	37
2.2.8.	Velocidad en General	38
2.2.9.	Capacidad Vial en Intersecciones Semaforzadas	38
2.2.10.	Nivel de Servicio	39
2.2.11.	Tasa de Demanda del Flujo	40
2.2.12.	Factor Hora Punta de Intersección	41
2.2.13.	Relación de pelotón.....	41
2.2.14.	Cola inicial	43
2.2.15.	Tasa de Flujo Peatonal	44
2.2.16.	Tasa de Flujo de Bicicletas.....	44
2.2.17.	Máximo Verde.....	44
2.2.18.	Minino Verde	44
2.2.19.	El Cambio de Color Amarillo y el Rojo.....	45
2.2.20.	Desplazamiento y Punto de Referencia de Desplazamiento (Coordinado- operación Actuada)	45
2.2.21.	Modo de Fuerza (Operación Coordinada- Actuada)	46
2.2.22.	Metodología del HCM	46
2.3.	Hipótesis	59
2.3.1.	Hipótesis General	59
2.3.2.	Sub hipótesis	59
2.4.	Definición de variables	60
2.4.1.	Variable Independiente:	60
2.4.2.	Variables Dependientes.....	60
2.5.	Cuadro de Operacionalización de Variables (mandar después a las variables).....	61
CAPÍTULO III		62
Metodología		62
3.1.	Metodología de la Investigación.....	62
3.1.1.	Enfoque de la Investigación	62
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	63
3.1.3.	Método de Investigación	63
3.2.	Diseño de la Investigación.....	63
3.2.1.	Diseño Metodológico	63
3.2.2.	Diseño de Ingeniería.....	64
3.3.	Población y muestra.....	66
3.3.1.	Población.....	66
3.3.2.	Muestra.....	67
3.3.3.	Criterios de Inclusión	69



3.4.	Instrumentos	69
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos	69
3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería:	72
3.5.	Procedimientos de Recolección de Datos.....	73
3.5.1.	Codificación de Movimientos Vehiculares	73
3.5.2.	Registro Fílmico	74
3.5.3.	Recolección de volúmenes vehiculares.....	75
3.5.4.	Recolección de características geométricas y semafóricas de la vía.....	76
3.6.	Procedimientos de Análisis de Datos	77
3.6.1.	Determinación de la variación diaria y Horaria	77
3.6.2.	Determinación De Volúmenes Vehiculares por Sentido:.....	79
3.6.3.	Procesamiento de datos aplicando la metodología del HCM 2010 y software de simulación (Synchro 8.0)	98
CAPÍTULO IV		102
Resultados		102
4.1.	Resultados del análisis del sistema vial actual	102
CAPÍTULO V		106
5.1.	Discusión	106
GLOSARIO.....		108
CONCLUSIONES		110
RECOMENDACIONES		111
REFERENCIAS		112
ANEXOS.....		113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros de diseño vinculado a la clasificación de vías urbanas</i>	13
Tabla 2 <i>Factores que afectan al conductor</i>	14
Tabla 3 <i>Datos básicos de vehículos</i>	17
Tabla 4 <i>La progresión asociados con determinados valores de la relación de pelotón.</i>	42
Tabla 5 <i>Factores de ajuste</i>	49
Tabla 6 <i>Niveles de servicio</i>	59
Tabla 7 <i>Cuadro operacional de variables</i>	61
Tabla 8 <i>Formato de conteo</i>	70
Tabla 9 <i>Formato de ficha de características geométricas de la vía</i>	70
Tabla 10 <i>Formato de ficha de características semafóricas de la vía</i>	71
Tabla 11 <i>Recolección de volúmenes vehiculares.</i>	75
Tabla 12 <i>Características geométricas y semafóricas, Intersección N° 01</i>	76
Tabla 13 <i>Volúmenes Horarios de la Intersección N° 05 de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.</i>	78
Tabla 14 <i>Volúmenes Vehiculares de la Intersección</i>	79
Tabla 15 <i>Resumen de niveles de servicio y demoras para las principales intersecciones.</i> ...	102
Tabla 16 <i>Cuadro del estado actual y estado optimizado de circulación</i>	103
Tabla 17 <i>Grafico del estado actual y estado optimizado de circulación</i>	104
Tabla 18 <i>Cuadro porcentual comparativo de los análisis efectuados en los dos casos de análisis.</i>	105



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Mapa de ubicación de la Región Cusco	1
<i>Figura 2.</i> Mapa de ubicación de la Provincia Cusco	1
<i>Figura 3.</i> Polígono de influencia del Proyecto	3
<i>Figura 4.</i> (Manual de Carreteras Diseño geométrico DG 2018).....	16
<i>Figura 5.</i> Alturas asociadas a vehículos pesados	17
<i>Figura 6.</i> Representación esquemática de intersecciones a nivel y desnivel.....	19
<i>Figura 7.</i> Intersección sin canalizar y canalizada	20
<i>Figura 8.</i> Tipos de isletas.....	22
<i>Figura 9.</i> Tipos de intersecciones a nivel.....	23
<i>Figura 10.</i> Intersecciones de tres ramales	24
<i>Figura 11.</i> Intersecciones de cuatro ramales.....	25
<i>Figura 12.</i> Intersección de 4 ramales con elevados flujos vehiculares	25
<i>Figura 13.</i> Intersección de 4 ramales con bajos flujos vehiculare	26
<i>Figura 14.</i> Esquema de una intersección giratoria o glorieta.....	27
<i>Figura 15.</i> Esquema de fase en una intersección semaforizada.....	28
<i>Figura 16.</i> Tipos de movimientos en una intersección	30
<i>Figura 17.</i> Esquema de los Pasos para un EIV.	33
<i>Figura 18.</i> Criterios del nivel de servicio.....	40
<i>Figura 19.</i> Movimiento de tráfico de vehículos y peatones.....	47
<i>Figura 20.</i> Investigación experimental	62
<i>Figura 21.</i> Diseño de Ingeniería.....	64
<i>Figura 22.</i> Detallado de actividades realizadas para el desarrollo de la investigación.....	65
<i>Figura 23.</i> Cámara	72
<i>Figura 24.</i> Gopro Hero4.....	72
<i>Figura 25.</i> Instrumento de Recolección de Datos: Cinta métrica	72
<i>Figura 26.</i> Instrumento de Recolección de Datos: Eclímetro	72
<i>Figura 27.</i> Toma de pantalla del Software AutoCAD	73
<i>Figura 28.</i> Codificación de movimientos vehiculares	74
<i>Figura 29.</i> Variación diaria de la intersección de las calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.....	77
<i>Figura 30.</i> Variación horaria de la Intersección N° 05 de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.	78



<i>Figura 31.</i> Vista en planta de la Intersección.....	98
<i>Figura 32.</i> Codificación de la intersección en el programa	98
<i>Figura 33.</i> Movimientos de carriles	99
<i>Figura 34.</i> Volúmenes por sentido de circulación	99
<i>Figura 35.</i> Volúmenes por sentido de circulación	100
<i>Figura 36.</i> Ventana de Ajuste de metodología HCM de la Intersección	100
<i>Figura 37.</i> Simulación de la Intersección	101



RESUMEN

Debido al crecimiento rápido del parque automotor y la escasa mejora de las condiciones físicas de las ciudades, la congestión vehicular se ha vuelto uno de los principales problemas urbanos, es por eso que hoy en día la planificación vial y urbanística es de suma importancia.

La presente tesis de investigación tuvo como objetivo principal el centro histórico de la ciudad del Cusco como un componente de congestión y potencial solución en términos de circulación.

Para la determinación de las condiciones de tráfico se realizó el correspondiente aforo vehicular en intersecciones, considerado las horas de mayor demanda. Así mismo para la determinación de condiciones geométricas de las intersecciones se realizó el levantamiento topográfico. Finalmente, para la determinación de condiciones semaforizadas se realizó un inventario detallado del comportamiento de los semáforos y señalización en cada intersección.

Con los datos obtenidos se procedió al cálculo de la capacidad vial y nivel de servicios basados en el Highway Capacity Manual (HCM 2010) el cual está incorporado en el software de simulación Synchro 8.0, dicho software nos permitió realizar la simulación de dichas intersecciones en su estado actual.

Se procedió al análisis del sistema vial en dos escenarios, uno actual y uno de solución. Con dichos resultados, se realizó el procedimiento anteriormente mencionado para el cálculo de la capacidad vial y nivel de servicio con su respectiva simulación para cada caso.

Palabras Clave: Nivel de Servicio, Capacidad Vial, Synchro 8.0, Highway Capacity Manual (HCM 2010), Intersecciones, Planificación Vial.



ABSTRACT

Due to the rapid growth of the vehicle fleet and the scarce improvement of the physical conditions of the cities, vehicular congestion has become one of the main urban problems, which is why today road and urban planning is of the utmost importance.

The main objective of this research thesis was the historical center of the city of Cusco as a component of congestion and potential solution in terms of circulation.

For the determination of traffic conditions, the corresponding vehicular traffic at intersections was made, considering the hours of greatest demand. Likewise, for the determination of geometric conditions of the intersections, the topographic survey was carried out. Finally, a detailed inventory of the traffic light and signaling behavior at each intersection was made to determine the traffic conditions.

With the obtained data, we proceeded to calculate the road capacity and level of services based on the Highway Capacity Manual (HCM 2010) which is incorporated in the simulation software Synchro 8.0, this software allowed us to simulate said intersections in its Actual state.

The road system was analyzed in two scenarios, one current and one solution. With these results, the aforementioned procedure was performed to calculate the road capacity and service level with its respective simulation for each case.

Keywords: Service level, Road Capacity, Synchro 8.0, Highway Capacity Manual (HCM 2010), Intersections, Road Planning.



INTRODUCCIÓN

La congestión vehicular es uno de los principales problemas urbanos que afectan a una ciudad, es por eso que hoy en día la planificación vial y urbanística es de suma importancia.

En la ciudad del Cusco contamos con niveles bajos de planificación y análisis sobre estos temas, especialmente cuando se dan cambios en la infraestructura vial y peatonal de la ciudad del Cusco, especialmente en la ciudad el Centro Histórico del Cusco.

En el presente proyecto de tesis se analizará la circulación y propuesta de planificación vial en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco, que es uno de los sistemas viales más importantes de la ciudad del Cusco, quien es el órgano encargado de evaluar y gestionar la movilidad y el tránsito en la ciudad.

Es por eso que la presente investigación se desarrollara con el fin establecer respuestas, direcciones y lineamientos que promuevan y encaminen a la solución y planeamiento vial y urbanístico del centro histórico de la ciudad del Cusco.



CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La Municipalidad provincial del Cusco, viene ejecutando modificaciones a la movilidad del tránsito vehicular y peatonal de las vías en el centro histórico de la ciudad del Cusco. Otro punto en la actualidad es usual encontrar problemas de preferencia en la circulación, sistemas semafóricos desfasados y no dinámicos, congestión, falta de regulación del servicio de taxis, semáforos no coordinados, entre muchos otros, así como falta de una propuesta global para la circulación al interior del Centro Histórico de la ciudad del Cusco.

La alta densidad de vehículos menores, buses de servicio turístico y vehículos especiales como buses de servicio urbano entre otros.

La geometría de las vías en este entorno de estudio nos muestra una capacidad vial limitada, por lo que puede generar un impacto negativo a la circulación vehicular.

1.1.1.1. Ubicación geográfica.

Las intersecciones a analizar tienen la siguiente ubicación geográfica son las siguientes:



Figura 1. Mapa de ubicación de la Región Cusco



Figura 2. Mapa de ubicación de la Provincia Cusco



El polígono vial a analizar conforma parte del centro histórico de la ciudad del Cusco. Este involucra a las siguientes vías o calles:

1. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo-Av. El Sol-Regional.
2. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo – Garcilazo de la Vega.
3. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo- Plaza Limacpampa-Calle Zetas.
4. Intersección Av. Tullumayo-Calle Ruinas.
5. Intersección Calle Triunfo-Calle Santa Catalina Angosta.
6. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Calle Nueva.
7. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Calle Belén.
8. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Av. Grau.
9. Intersección SemafORIZADA Av. Grau-Calle Centenario.
10. Intersección SemafORIZADA Calle San Andrés-Calle Cuychipunco-Pardo.
11. Intersección SemafORIZADA Calle San Andrés-Ayacucho.
12. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Mantas.
13. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Afligidos-Ayacucho.
14. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Arrayan-Pte. Rosario
15. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Garcilazo
16. Intersección SemafORIZADA Calle Matara-Calle Ayacucho-Calle Belén
17. Intersección SemafORIZADA Calle Quera-Mesón de la Estrella-Calle Cruz Verde.
18. Intersección SemafORIZADA Calle Tecte-Calle Belén.
19. Intersección Pardo-Calle San Miguel
20. Intersección Centenario-San Miguel
21. Intersección Prolongacion Pera-Av. Grau
22. Intersección Calle Santa Clara-Cascaparo
23. Intersección SemafORIZADA Calle Santa Clara-Consevidayoc
24. Intersección SemafORIZADA Calle Santa Clara-Mezon de la Estrella
25. Intersección Calle Granda-Calle Garcilazo
26. Intersección Calle Garcilazo-Heladeros
27. Intersección Calle San Juan de Dios-Calle Granada
28. Intersección Calle Heladeros-Portal Espinar
29. Intersección Calle Siete Cuartones-Calle Santa Teresa
30. Intersección Calle Teatro-Siete Cuartones
31. Intersección Tambo de Montero-Calle Sapi

32. Intersección Calle Teatro-Calle San Juan de Dios
33. Intersección Arones-Nueva Baja
34. Intersección Calle Nueva Alta-Calle Cenizas
35. Intersección Calle Nueva Baja-Calle Cenizas
36. Intersección Calle Union-Calle Santa Clara
37. Intersección General Buen Dia-Av. Ejercito
38. Intersección Calle Nueva-Av. Apuríac
39. Intersección Calle Lechugal-Tres Cruces de Oro



Figura 3. Polígono de influencia del Proyecto

Fuente: Google Maps



1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema:

1.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General.

¿Cuál sería la configuración de la circulación vehicular y propuesta de planificación vial priorizada en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco?

1.1.2.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos.

Problema específico N°1: ¿Cómo influye la demanda vehicular en la configuración de la circulación vehicular priorizada en el centro histórico de la ciudad del Cusco?

Problema específico N°2: ¿Cómo influye la Geometría Vial en la configuración de la circulación vehicular priorizada en el centro histórico de la ciudad del Cusco?

Problema específico N°3: ¿Cómo influyen los sistemas de control en la configuración de la circulación vehicular priorizada en el centro histórico de la ciudad del Cusco?

Problema específico N°4: ¿Cómo influye la preferencia de circulación en los niveles de servicio del sistema vial del centro histórico de la ciudad del Cusco?

1.2. Justificación e Importancia de la Investigación:

1.2.1. Justificación Técnica

Aplicando la metodología que nos ofrece el manual de capacidad vial americano (HCM), los aportes técnicos de esta investigación serán:

- Determinación de la capacidad vial, nivel de servicio de las intersecciones Semaforizadas
- en estudio y comparación con el nivel servicio, capacidad de la infraestructura vial.
- Determinación del diseño de la infraestructura vial más eficiente para que los usuarios ahorren en tiempo de viaje.
- Hallazgo de las respuestas, direcciones, lineamientos que promuevan y encaminen a soluciones y diseño de nuevos proyectos.



1.2.2. Justificación Social

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

1.2.3. Justificación por Viabilidad

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

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

1.2.4. Justificación por Relevancia

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

1.3.Limitaciones de la Investigación

1.3.1. Limitaciones por Espacio

El estudio se realizó en diecinueve intersecciones, ubicadas en las principales intersecciones del sistema vial en el centro histórico de la ciudad del Cusco, en la provincia y departamento del Cusco:

1. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo-Av. El Sol-Regional.
2. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo – Garcilazo de la Vega.
3. Intersección SemafORIZADA Av. Tullumayo- Plaza Limacpampa-Calle Zetas.
4. Intersección Av. Tullumayo-Calle Ruinas.
5. Intersección Calle Triunfo-Calle Santa Catalina Angosta.
6. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Calle Nueva.



7. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Calle Belén.
8. Intersección SemafORIZADA Calle Tres Cruces de Oro-Av. Grau.
9. Intersección SemafORIZADA Av. Grau-Calle Centenario.
10. Intersección SemafORIZADA Calle San Andrés-Calle Cuychipunco-Pardo.
11. Intersección SemafORIZADA Calle San Andrés-Ayacucho.
12. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Mantas.
13. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Afligidos-Ayacucho.
14. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Arrayan-Pte. Rosario
15. Intersección SemafORIZADA Av. El Sol-Calle Garcilazo
16. Intersección SemafORIZADA Calle Matara-Calle Ayacucho-Calle Belén
17. Intersección SemafORIZADA Calle Quera-Mesón de la Estrella-Calle Cruz Verde.
18. Intersección SemafORIZADA Calle Tecte-Calle Belén.
19. Intersección Pardo-Calle San Miguel

1.3.2. Limitaciones por Tiempo

Con la evidencia de dificultades en el tránsito como la congestión vehicular, bajas velocidades de circulación, embotellamientos en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco a estudiar, debido al aumento del flujo vehicular y mayor porcentaje de vehículos ligeros o pesados se debe realizar el análisis de capacidad vial y niveles de servicio en cada año, considerando los grandes porcentajes de aumento y variación de la capacidad vial y niveles de servicio en dichas vías, tal como es en esta oportunidad la toma de datos se realizaron en el mes de junio del año 2019.

1.3.3. Limitaciones por datos:

Se tuvo la inexistencia de datos actualizados referentes a volúmenes de tránsito. Hecho que se superó mediante la obtención de datos con el apoyo de métodos topográficos y el trabajo en campo realizado, como son los aforos manuales en campo, e inventarios de datos semafóricos.

1.3.4. Limitaciones por Fuente de Base

Para el estudio de la Capacidad y Niveles de Servicio en el Perú no se cuenta con una metodología Propia es por eso que se recurrió a la utilización de la metodología expuesta por el manual norteamericano Highway Capacity Manual (HCM 2010).



1.4.Objetivo de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Determinar la configuración del análisis de circulación y propuesta de planificación vial en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.

1.4.2. Objetivos Específicos

Objetivo Específico N°1: Determinar cómo influye la demanda en la configuración de la circulación vehicular priorizada en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.

Objetivo Específico N°2: Determinar la influencia de la Geometría Vial en la configuración de la circulación vehicular priorizada en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.

Objetivo Específico N°3. Determinar la influencia de los sistemas de control en la configuración de la circulación vehicular en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.

Objetivo Específico N°4: Determinar la influencia de la preferencia de circulación en la configuración de la circulación vehicular en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.



CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1. Antecedentes de la Tesis

2.1.1. Antecedentes a Nivel Local

Investigación: Análisis del Flujo Vehicular - de los Óvalos Libertadores, Garcilaso y Tacna - Intersecciones Giratorias en comparación con el comportamiento de intersección semaforizadas sometidas a la misma demanda

- *Autor:* Jimmy Carol Challco Castillo
- *Año:* Cusco, 2015
- *Universidad:* Universidad Andina del Cusco
- *Resumen:* La presente tesis estudia el análisis de la capacidad vial de las intersecciones giratorias (glorietas, rotondas) en comparación con el modelamiento de intersecciones viales Semaforizadas (ramales Múltiples) sometidas a la misma demanda de la ciudad del Cusco, determinando la capacidad Vial y/o nivel de servicio de las intersecciones viales giratorias y simulando un sistema vial Semaforizada que compara dicho nivel de servicio de las intersecciones de estudio.
- *Conclusión:* La glorieta (en especial la multi-carril) es una de las infraestructuras más seguras y eficientes, que permite canalizar el flujo vehicular de manera más ordenada, permitiendo minimizar las demoras que se producen en una intersección a comparación con una intersección común.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional

Análisis para la determinación del nivel de servicio y demora en intersecciones viales Semaforizadas.

- *Autor:* Ing. Gonzalo A. Ramírez Vélez
- *Año:* Lima, 2004
- *Universidad:* Universidad Nacional de Ingeniería
- *Resumen:* El presente trabajo desea proporcionar una herramienta para el análisis y determinación del nivel de servicio y demora en una intersección semaforizada, aplicable a las condiciones de tráfico urbano que impera en nuestro país.



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

2.1.3. Antecedentes a Nivel Internacional

Análisis de la Capacidad y nivel de servicio de la vía Loja – Vilcabamba (tramo de estudio Loja – Landangui) aplicando la metodología del HCM- 2010

- *Autor:* Martínez Aldean Diego Fernando
- *Año:* Ecuador, 2014
- *Universidad:* Universidad Técnica Particular de Loja
- *Resumen:* En el presente estudio se detalla el proceso de investigación del análisis de la vía Loja Vilcabamba , en el tramo Loja –Landangui , con el fin de determinar su capacidad y nivel de servicio , aplicando la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual 2000 , se escogió la vía que conecta la ciudad de Loja con las ciudades de Vilcabamba y Malacatos , esta vía presenta una gran cantidad de flujo vehicular debido a que son unos de los principales puntos de atracción turística en la provincia de Loja.

Este trabajo investigado detalla cada una de las etapas ejecutadas, desde el levantamiento de información de campo (aforo de vehículos y medición de las características geométricas), tabulación de datos y análisis de resultados.

- *Conclusión:* Todas las variables que intervienen en la determinación de la capacidad y el nivel de servicio, se encuentran clara y objetivamente definidas bien sea por mediciones de campo o por datos consignados en el manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles (HCM2000).

2.2.Aspectos Teóricos Pertinente

2.2.1. Definición del Infraestructura vial

Es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento principalmente de vehículos en forma confortable, segura y eficiente desde un punto a otro en un sistema vial.



En el caso de la infraestructura vial, los análisis generalmente se basan en el periodo de máxima demanda, en el que se presenta los mayores volúmenes de tránsito del día. A este periodo normalmente corresponden los niveles de servicio más bajos, caracterizados por las más altas demoras en las intersecciones y, en general, por las condiciones más críticas de operación del día. (Cal y Mayor & Asociados, 1998)

2.2.2. Clasificación de Vías

El sistema de clasificación planteado es aplicable a todo tipo de vías públicas urbanas terrestres, ya sean calles, jirones, avenidas, alamedas, plazas, malecones, paseos, destinados al tráfico de vehículos, personas y/o mercaderías; habiéndose considerado los siguientes criterios:

- Funcionamiento de la red vial
- Tipo de tráfico que soporta
- Uso del suelo colindante (acceso a los lotes urbanizados y desarrollo de establecimientos comerciales)
- Espaciamiento (considerando a la red vial en su conjunto)
- Nivel de servicio y desempeño operacional
- Características físicas
- Compatibilidad con sistemas de clasificación vigentes.

La clasificación adoptada considera cuatro categorías principales: Vías expresas, arteriales, colectoras y locales. Se ha previsto también una categoría adicional denominada “vías especiales” en la que se consideran incluidas aquellas que, por sus particularidades, no pueden asimilarse a las categorías principales.

La clasificación de una vía, al estar vinculada a su funcionalidad y al papel que se espera desempeñe en la red vial urbana, implica de por sí el establecimiento de parámetros relevantes para el diseño como son:

- Velocidad de diseño
- Características básicas del flujo que transitara por ellas
- Control de accesos y relaciones con otras vías
- Número de carriles
- Servicio a la propiedad adyacente
- Compatibilidad con el transporte público



- Facilidades para el estacionamiento y la carga y descarga de mercaderías. (Ing. Victor Chavez Loaiza, 2005)

2.2.2.1. Vías expresas.

Función: Las vías expresas establecen la relación entre el sistema interurbano y el sistema vial urbano, sirven principalmente para el tránsito de paso (origen y destino distantes entre sí). Unen zonas de elevada generación de tráfico transportando grandes volúmenes de vehículos, con circulación a alta velocidad y bajas condiciones de accesibilidad.

Facilitan una movilidad óptima para el tráfico directo: En su recorrido no es permitido el estacionamiento, la descarga de mercaderías, ni el tránsito de peatones. Este tipo de vías también han sido llamadas “autopistas”.

Características del flujo: En esta vía el flujo es ininterrumpido, porque no existen cruces al mismo nivel con otras vías, sino solamente a diferentes niveles en intercambios especialmente diseñados.

Tipos de vehículos: Las vías expresas suelen transportar vehículos pesados, cuyo tráfico es tomado en consideración para el diseño geométrico correspondiente. Para el transporte público de pasajeros se permite el servicio de buses, preferentemente en carriles segregados y el empleo de paraderos debidamente diseñados en los intercambios.

2.2.2.2. Vías arteriales.

Función: Las vías arteriales 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. El estacionamiento y descarga de mercancías está prohibido.

Características del flujo: En estas vías deben evitarse interrupciones en el flujo de tráfico. En las intersecciones donde los semáforos están cercanos, deberán ser sincronizados para minimizar las interferencias al flujo directo.

Los peatones deben cruzar solamente en las intersecciones o en cruces semaforizados especialmente diseñados para el paso de peatones. Los paraderos del transporte público deberán estar diseñados para minimizar las interferencias con el movimiento del tránsito directo.



En las intersecciones pueden diseñarse carriles adicionales para volteos con el fin de aumentar su capacidad.

Tipos de vehículos: Las vías arteriales son usadas por todos los tipos de tránsito vehicular. Se admite un porcentaje reducido de vehículos pesados

Se recomienda que estas vías cuenten con pistas de servicio laterales para el acceso a las propiedades.

2.2.2.3. Vías colectoras.

Función: Las vías colectoras sirven para llevar el 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.

Características del flujo: El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas, cuando empalman con vías arteriales y, con controles simples, con señalización horizontal y vertical, cuando empalman con vías locales. El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes.

Tipos de vehículos: Las vías colectoras son usadas por todo tipo de tránsito vehicular. En las áreas comerciales e industriales se presentan porcentajes elevados de camiones. Para el sistema de buses se podrá diseñar paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo.

2.2.2.4. Vías locales.

Función: Son aquellas cuya función principal es proveer acceso a los predios o lotes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio, generado tanto de ingreso como de salida.

Tipos de vehículos: Por ellas transitan vehículos livianos, ocasionalmente semipesados; se permite estacionamiento vehicular y existe tránsito peatonal irrestricto. Las vías locales se conectan entre ellas y con las vías colectoras.



2.2.2.5. Vías de diseño especial.

Son todas aquellas cuyas características no se ajustan a la clasificación establecida anteriormente.

Se puede mencionar, sin carácter restrictivo los siguientes tipos:

- Vías peatonales de acceso a frentes de lote
- Pasajes peatonales
- Malecones
- Paseos
- Vías que forman parte de parques, plazas o plazuelas
- Vías en túnel que no se adecuan a la clasificación principal (Ing. Victor Chavez Loaiza, 2005)

En el siguiente Cuadro se presenta resumidamente las categorías principales y los parámetros de diseño antes mencionados.

Tabla 1

Parámetros de diseño vinculado a la clasificación de vías urbanas

ATRIBUTOS Y RESTRICCIONES	VÍAS EXPRESAS	VÍAS ARTERIALES	VÍAS COLECTORAS	VÍAS LOCALES
Velocidad de Diseño	Entre 80 y 100 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente.	Entre 60 y 80 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 40 y 60 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 30 y 40 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.
Características del flujo	Flujo ininterrumpido. Presencia mayoritaria de vehículos livianos. Cuando es permitido, también por vehículos pesados. No se permite la circulación de vehículos menores, bicicletas, ni circulación de peatones.	Debe minimizarse las interrupciones del tráfico. Los semáforos cercanos deberán sincronizarse para minimizar interferencias. Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos, correspondiendo el flujo mayoritario a vehículos livianos. Las bicicletas están permitidas en ciclovías.	Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos y el flujo es interrumpido frecuentemente por intersecciones a nivel. En áreas comerciales e industriales se presentan porcentajes elevados de camiones. Se permite el tránsito de bicicletas recomendándose la implementación de ciclovías.	Está permitido el uso por vehículos livianos y el tránsito peatonal es irrestricto. El flujo de vehículos semipesados es eventual. Se permite el tránsito de bicicletas.
Control de Accesos y Relación con otras vías	Control total de los accesos. Los cruces peatonales y vehiculares se realizan a desnivel o con intercambios especialmente diseñados. Se conectan solo con otras vías expresas o vías arteriales en puntos distantes y mediante enlaces. En casos especiales, se puede prever algunas conexiones con vías colectoras, especialmente en el Área Central de la ciudad, a través de vías auxiliares.	Los cruces peatonales y vehiculares deben realizarse en pasos a desnivel o en intersecciones o cruces semaforizados. Se conectan a vías expresas, a otras vías arteriales y a vías colectoras. Eventual uso de pasos a desnivel y/o intercambios. Las intersecciones a nivel con otras vías arteriales y/o colectoras deben ser necesariamente semaforizadas y considerarán carriles adicionales para volteo.	Incluyen intersecciones semaforizadas en cruces con vías arteriales y solo señalizadas en los cruces con otras vías colectoras o vías locales. Reciben soluciones especiales para los cruces donde existan volúmenes de vehículos y/o peatones de magnitud apreciable.	Se conectan a nivel entre ellas y con las vías colectoras.
Número de carriles	Bidireccionales: 3 o más carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 2 ó 3 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 1 ó 2 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 carriles Bidireccionales: 1 carril/sentido
Servicio a propiedades adyacentes	Vías auxiliares laterales	Deberán contar preferentemente con vías de servicio laterales.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio generado.
Servicio de Transporte público	En caso se permita debe desarrollarse por buses, preferentemente en " Carriles Exclusivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía.	El transporte público autorizado debe desarrollarse por buses, preferentemente en " Carriles Exclusivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía o en bahía.	El transporte público, cuando es autorizado, se desarrolla generalmente en carriles mixtos, debiendo establecerse paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo.	No permitido
Estacionamiento, carga y descarga de mercaderías	No permitido salvo en emergencias.	No permitido salvo en emergencias o en las vías de servicio laterales diseñadas para tal fin. Se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 226 del RNT vigente.	El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes, especialmente destinadas para este objeto. Se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 226 del RNT vigente.	El estacionamiento está permitido y se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 226 del RNT vigente.

Fuente: Manual de diseño geométrico de vías urbanas – 2005



2.2.3. Usuarios de la Vía

Antes de abordar cualquier proyecto, es conveniente y muy recomendable recabar la máxima información acerca de sus destinatarios o usuarios finales para de esta forma adecuar aquello que se pretende diseñar a sus necesidades.

En el caso que nos ocupa; el proyecto de carreteras e infraestructuras urbanas el conductor es sin duda alguna el elemento principal de un complejo sistema integrado por personas, vehículos y vías denominado tráfico; no hemos de olvidar la importancia del vehículo, instrumento que actúa como intermediario entre conductor y vía, ni descuidar la interacción de un tercer componente tan sumamente frágil como es el peatón. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

2.2.3.1.El conductor.

Técnicamente, podría definirse como aquel sujeto que maneja el mecanismo de dirección o va al mando de un vehículo. Empleando términos más gráficos, podría decirse que el conductor es el cerebro del vehículo.

De él depende; una vez haya fijado su destino - la elección de uno u otro itinerario para llegar al mismo, así como la velocidad con que lo recorrerá en cada momento. Es necesario realizar una síntesis de estos factores, estableciendo una clasificación que figura en la siguiente tabla:

Tabla 2

Factores que afectan al conductor

Factores que afectan al conductor		
FACTORES INTERNOS	Psicológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Motivación - Experiencia - Personalidad - Estado de ánimo
	Físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Vista - Adaptación lumínica - Altura del ojo - Otros sentidos
	Psicosomáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Cansancio - Sexo - Edad
FACTORES EXTERNOS	Tiempo (meteorológico) Uso del suelo Tráfico Características de la vía Estado del firme	

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)



2.2.3.2. *El Vehículo.*

El vehículo es el nexo entre el conductor que lo maneja y la vía que lo contiene, por lo que el estudio de sus características y comportamiento es fundamental. Los vehículos que se fabrican en la actualidad están destinados a muy distintos usos, por lo que sus características varían dentro de una amplia gama de formas, tamaños y pesos. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

2.2.3.2.1. *Tipos de vehículos.*

El manual de diseño geométrico de carreteras DG 2014 clasifican los vehículos en vehículos ligeros y pesados:

2.2.3.2.1.1. *Vehículos ligeros.*

Conforme al Reglamento Nacional de Vehículos, se consideran como vehículos ligeros aquellos correspondientes a las categorías:

- L: (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas)
- M1: (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor) aea°.

Características

La longitud y el ancho de los vehículos ligeros no condicionan el proyecto, salvo que se trate de una vía por la que no circulan camiones, situación poco probable en el proyecto de carreteras. A modo de referencia, se citan las Dimensiones representativas de vehículos de origen norteamericano, en general mayores que las del resto de los fabricantes de automóviles:

- Ancho: 2,10 m.
- Largo: 5,80 m.

Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables les en cuanto a visibilidad.

h : altura de los faros delanteros: 0,60 m.

h_1 : altura de los ojos del conductor: 1,07 m.



h_2 : altura de un obstáculo fijo en la carretera: 0,15 m.

h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m.

h_s : altura del techo de un automóvil: 1,30 m

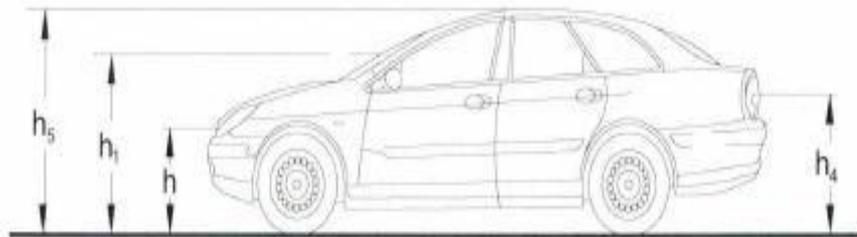


Figura 4. (Manual de Carreteras Diseño geométrico DG 2018)

Fuente: (Manual de Carreteras Diseño geométrico DG 2018)

2.2.3.2.1.2. Vehículos pesados.

Serán considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías:

- M: vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de Pasajeros, (excepto el M1).
- N: vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías
- O: remolques y semirremolques
- S: combinaciones especiales de los M, N V 0

Características

Las dimensiones máximas de los vehículos a emplear en la definición geométrica son las establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos vigente. Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento, se requiere definir diversas alturas, asociadas a los vehículos ligeros, que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad.

h : altura de los faros delanteros: 0,60 m.

h_3 : altura de ojos de un conductor de camión o bus, necesaria para la verificación de visibilidad en curvas verticales cóncavas bajo estructuras: 2,50 m.

h_4 : altura de las luces traseras de un automóvil 0 menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m.

h_6 : altura del techo del vehículo pesado: 4,10 m

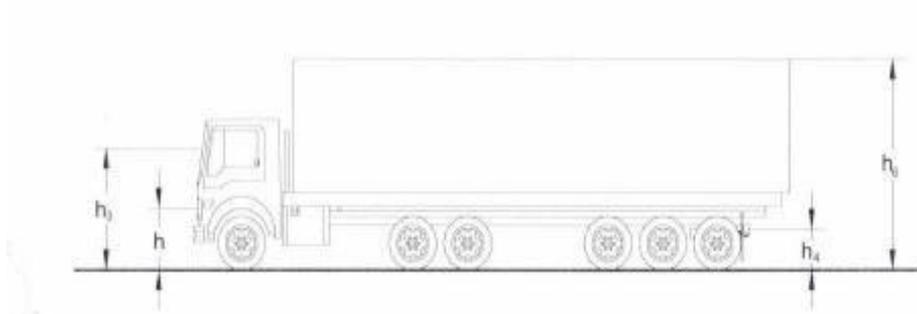


Figura 5. Alturas asociadas a vehículos pesados

Fuente: (Manual de Carreteras Diseño geométrico DG 2018)

En la siguiente tabla se consideran datos básicos de los vehículos

Tabla 3

Datos básicos de vehículos

*Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras
Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)*

Tipo de vehículo	Alto total	Ancho Total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio mín. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1,30	2,10	0,15	1,80	5,80	0,90	3,40	1,50	7,30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4,10	2,60	0,00	2,60	13,20	2,30	8,25	2,65	12,80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	14,00	2,40	7,55	4,05	13,70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	15,00	3,20	7,75	4,05	13,70
Ómnibus articulado (BA-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	18,30	2,60	6,70 / 1,90 / 4,00	3,10	12,80
Semirremolque simple (T2S1)	4,10	2,60	0,00	2,60	20,50	1,20	6,00 / 12,50	0,80	13,70
Remolque simple (C2R1)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	10,30 / 0,80 / 2,15 / 7,75	0,80	12,80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	5,40 / 6,80 / 1,40 / 6,80	1,40	13,70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	5,45 / 5,70 / 1,40 / 2,15 / 5,70	1,40	13,70
Semirremolque simple (T3S3)	4,10	2,60	0,00	2,60	20,50	1,20	5,40 / 11,90	2,00	1

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)



2.2.3.3.El peatón y su interacción con la vía.

En zonas urbanas, la mayoría de las calles son utilizadas conjuntamente por peatones y vehículos. Fuera de ellas, el tráfico de peatones disminuye considerablemente, aun estando permitido en todas las vías a excepción de las autopistas. El comportamiento de este colectivo cabe aún más impredecible que el de los vehículos ya que, salvo que perciba situaciones de evidente peligro, el peatón.

Se ha comprobado estadísticamente que la máxima distancia admitida por el Peatón para desplazarse sin usar ninguna clase de vehículo es de 300 m., dato a tener en cuenta en el proyecto de infraestructuras propias para su uso. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

2.2.4. Intersecciones Viales

Las intersecciones son áreas comunes a dos o más vías que se cruzan al mismo nivel y en las que se incluyen las calzadas que pueden utilizar los vehículos para el desarrollo de todos los movimientos posibles.

Las intersecciones son elementos de discontinuidad en cualquier red vial, por lo que representan situaciones críticas que hay que tratar específicamente, ya que las maniobras de convergencia, divergencia o cruce no son usuales en la mayor parte de los recorridos. (Ing. Victor Chavez Loaiza, 2005)

2.2.4.1.Tipos de Intersecciones Viales.

Existen 2 tipos fundamentales de solución a estos problemas que es la intersección a nivel e intersección a desnivel (enlace).

La diferencia radica en que en las intersecciones el cruce se realiza a nivel, los ejes de las diversas vías se cortan en un punto; en el enlace el cruce se realiza a distinto nivel, interceptándose en este caso en las proyecciones horizontales de los ejes.

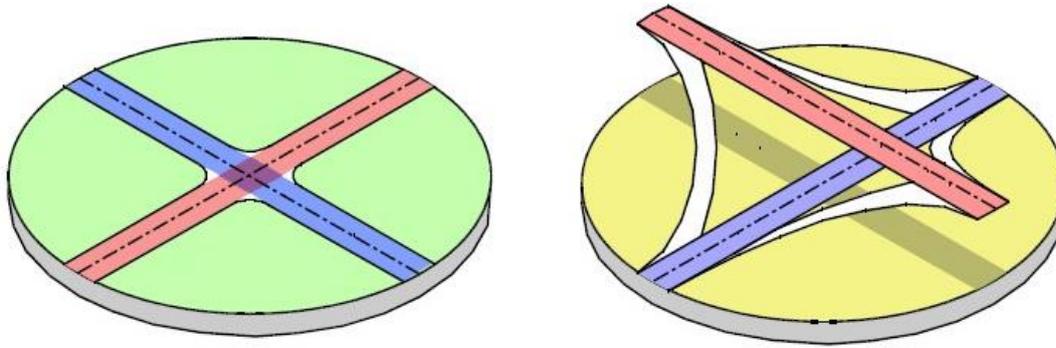


Figura 6. Representación esquemática de intersecciones a nivel y desnivel

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

2.2.4.1.1. Intersecciones a Nivel.

Es una solución de diseño geométrico a nivel, para posibilitar el cruzamiento de dos o más carreteras o con vías férreas, que contienen áreas comunes o compartidas que incluyen las calzadas, con la finalidad de que los vehículos puedan realizar todos los movimientos necesarios de cambios de trayectoria.

Las intersecciones a nivel son elementos de discontinuidad, por representar situaciones críticas que requieren tratamiento específico, teniendo en consideración que las maniobras de convergencia, divergencia o cruce no son usuales en la mayor parte de los recorridos. Las intersecciones, deben contener las mejores condiciones de seguridad, visibilidad y capacidad, posibles. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

2.2.4.1.1.1. Criterios de diseño.

La mejor solución para una intersección a nivel, es la más simple y segura posible. Esto significa que cada caso debe ser tratado cuidadosamente, recurriendo a todos los elementos de que se dispone (ensanches, islas o isletas, carriles auxiliares, etc.), con el criterio de evitar maniobras difíciles o peligrosas y recorridos innecesarios. En tal proceso, es necesario tener presente los siguientes criterios generales:

A. Criterios generales

Preferencia de los movimientos más importantes. En el diseño, debe especificarse la(s) vía(s) principales y secundarias con el fin de determinar la preferencia y las limitaciones del tránsito vehicular.



Reducción de las áreas de conflicto. En las intersecciones a nivel no debe proyectarse grandes áreas pavimentadas, ya que ellas inducen a los vehículos y peatones a movimientos erráticos y confusión, con el consiguiente peligro de ocurrencia de accidentes.

Perpendicularidad de las intersecciones. Las Intersecciones en Angulo recto, por lo general son las que proporcionan mayor seguridad, ya que permiten mejor visibilidad a los conductores y contribuyen a la disminución de los accidentes de tránsito.

Separación de los movimientos. Cuando el diseño del proyecto lo requiera, la intersección a nivel estará dotada de vías de sentido único (carriles de aceleración o Deceleración), para la separación del movimiento vehicular.

Visibilidad. La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección, debe Limitarse en función de la visibilidad, incluso Llegando a la detención total. Tipos de intersecciones a nivel.

Canalización y puntos de giro. Además de una adecuada señalización horizontal y vertical acorde a la normativa vigente, la canalización y el diseño de curvas de radio adecuado, contribuyen a la regulación de la velocidad del tránsito en una intersección a nivel. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

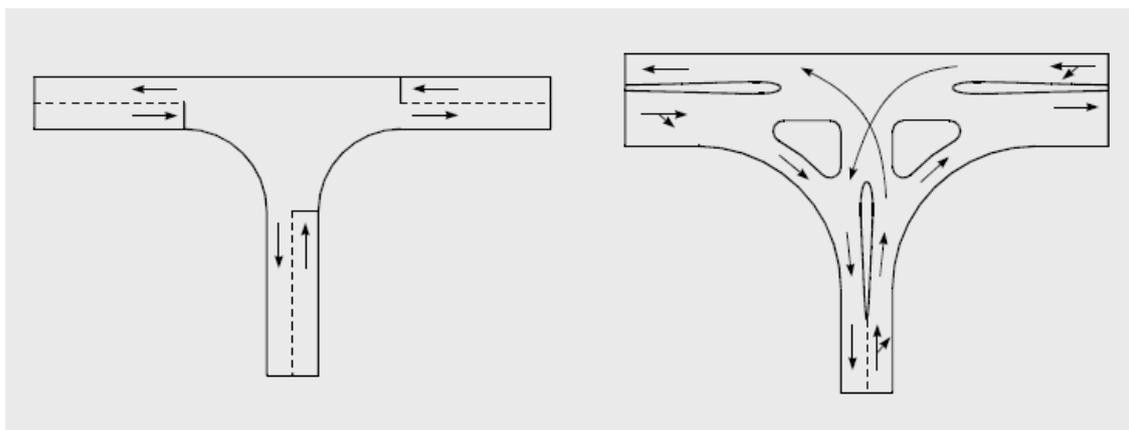


Figura 7. Intersección sin canalizar y canalizada

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

B. Consideraciones del tránsito

Las principales consideraciones del tránsito que condicionan la elección de la solución a adoptar, son las siguientes:



Volúmenes de tránsito, que confluyen a una intersección, su distribución y la proyección de los posibles movimientos, para determinar las capacidades de diseño de sus elementos.

La composición de los flujos por tipo de vehículo, sus velocidades de operación y las peculiaridades de sus interacciones mientras utilizan el dispositivo.

Su relación con el tránsito peatonal y de vehículos menores, así como con estadísticas de accidentes de tránsito. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

C. Demanda y modelación

La demanda es la variable de tránsito más gravitante en el diseño de una intersección, puesto que la capacidad resultante de dicho diseño deberá satisfacerla. Esto implica el dimensionamiento en términos geométricos y estructurales de sus unidades constitutivas, la operación de semáforos si tal elemento de control existe, y su coordinación.

La satisfacción de la demanda, deberá considerar las condiciones actuales y su proyección al año de diseño del proyecto, de manera que satisfaga el nivel de servicio y el flujo vehicular, <en conformidad con la normativa vigente. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

D. Elección del tipo de control

El diseño de las intersecciones a nivel, determinara el tipo y características de los elementos de señalización y dispositivos de Control de tránsito que estarán provistos, con la finalidad de facilitar el tránsito vehicular y peatonal,

El indicado diseño debe tener en consideración los siguientes factores:

- Tránsito en la vía principal
- Tránsito en la vía secundaria incidente.
- Tiempos de llegada y salida de los vehículos en ambas vías (intervalo crítico).

(Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

2.2.4.1.1.2. Elementos canalizadores y reguladores.

Existen una serie de elementos que regulan y canalizan el acceso y la circulación en una intersección. Entre los existentes, destacan dos de ellos: isletas o elementos canalizadores, y semáforos o elementos reguladores.



Isletas: Las isletas son zonas bien definidas, situadas entre carriles de circulación, destinadas a guiar el movimiento de los vehículos y a servir de eventual refugio a los peatones. Su materialización puede realizarse de dos formas:

Mediante marcas viales pintadas sobre el pavimento; esta solución es la más económica, pero no supone ningún tipo de barrera para los vehículos, que pueden invadirla con total libertad.

Mediante elevaciones de la superficie, conformando verdaderas “islas” rodeadas de asfalto. Esta elevación supone un obstáculo para el tráfico rodado canalizándolo adecuadamente al no permitir fácilmente su invasión, y sirviendo además de refugio a peatones que eventualmente crucen la vía.

Funcionalmente, existen tres tipos de isletas:

Isletas separadoras o divisorias: Destinadas a separar sentidos iguales u opuestos de circulación. Facilitan y ordenan los giros principales.

Isletas de encauzamiento: Su principal misión es controlar y dirigir las distintas trayectorias que los vehículos pueden realizar en la intersección. También se utilizan para delimitar superficies en las que debe impedirse la circulación.

Refugios: Infraestructuras destinadas al resguardo de los peatones, empleadas normalmente por razones de seguridad en tramos excesivamente anchos de vía. Su ancho mínimo debe ser de 1 m. y su longitud, al menos el doble de la anchura del paso de peatones. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

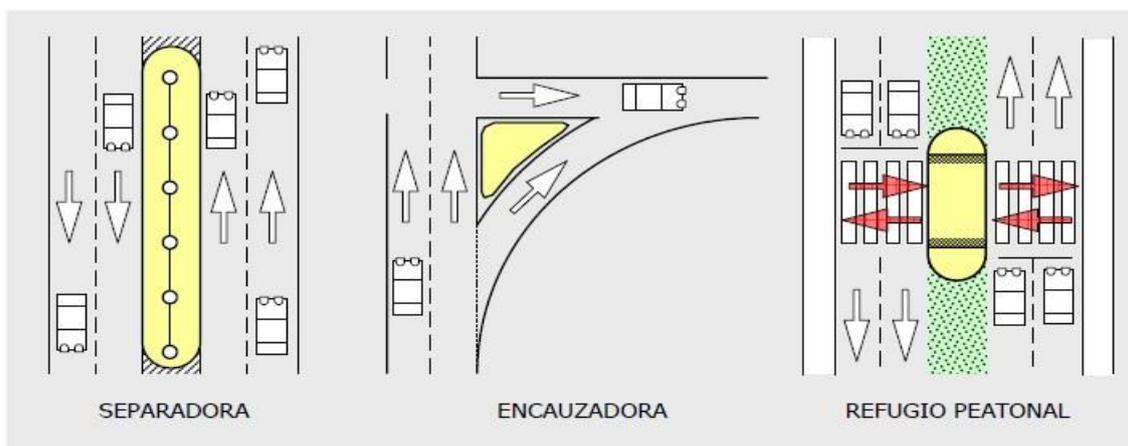


Figura 8. Tipos de isletas

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

A. *Semáforos*

Los semáforos son los elementos reguladores del tráfico por excelencia en las zonas urbanas, aunque su uso puede llegar a hacerse necesario en carreteras, especialmente intersecciones próximas núcleos de población. En cada uno de los accesos a la intersección se coloca al menos un semáforo, en cuya cabeza aparecen tres luces: roja, ámbar y verde que se encienden sucesiva y ordenadamente. Se definen dos conceptos consustanciales a las intersecciones semaforizadas. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

2.2.4.1.1.3. *Tipología de intersecciones a nivel.*

Una Intersección se clasifica principalmente en base a su composición (número de ramales que convergen a ella), topografía, definición de tránsito y el tipo de servicio requerido o impuesto. En la siguiente tabla, se presentan los tipos básicos de Intersección a nivel. (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

A. *Intersecciones según su composición:*

Los tipos de intersecciones generalmente están marcados por el número de ramas que esta tiene, es así que se tienen los siguientes tipos:

Variedad de tipos de intersección a nivel

ESPECIALES	DE CUATRO RAMALES				DE TRES RAMALES				
	INTERSECCION EN X		INTERSECCION EN +		EMPALME EN Y		EMPALME EN T		
	EN ESTRELLA		SIMPLE		SIMPLE		SIMPLE		SIMPLE
			ENSANCHADA		ENSANCHADA				ENSANCHADA
	VEASE FIGURA 501.01 ROTONDA		CANALIZADA		CANALIZADA		CANALIZADAS		CANALIZADAS
			CANALIZADA		CANALIZADA				

Figura 9. Tipos de intersecciones a nivel

Fuente: (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)



I. Intersecciones de 3 ramales

Este tipo de intersecciones se emplean para la resolución de encuentros entre carreteras principales y secundarias, quedando estas últimas absorbidas por las primeras. Por su disposición geométrica en planta, se diferencian claramente dos tipos:

Intersecciones en T: Los ramales concurren formando ángulos mayores de 60° , es decir, con direcciones sensiblemente perpendiculares.

Intersecciones en Y: Al menos uno de los ángulos formados entre los ramales es menor de 60° .

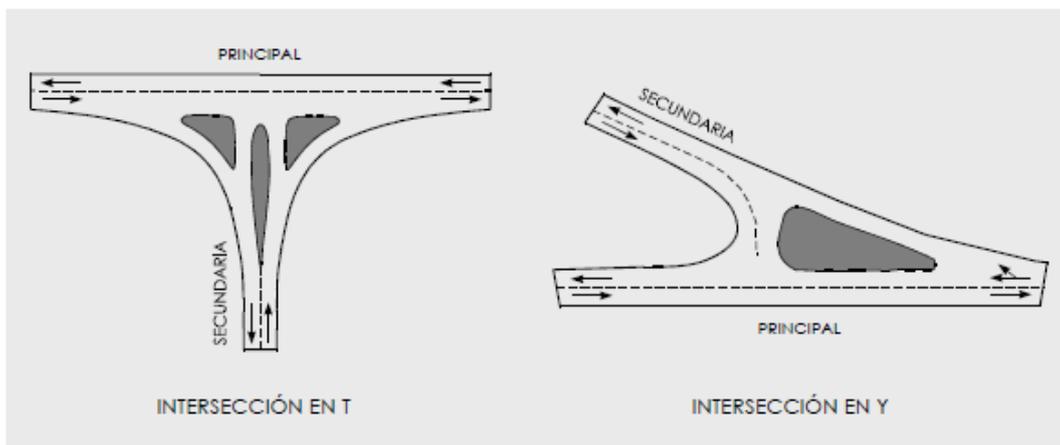


Figura 10. Intersecciones de tres ramales

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

II. Intersecciones de 4 ramales

En ellas se produce un cruce de dos vías cuatro ramales en total, generalmente de rango similar. Al igual que en las anteriores, se distinguen dos tipos:

Intersecciones en cruz: Los ramales concurren formando en cualquier caso ángulos mayores de 60° , con direcciones sensiblemente perpendiculares.

Intersecciones en X: Los ramales forman dos ángulos menores de 60° .

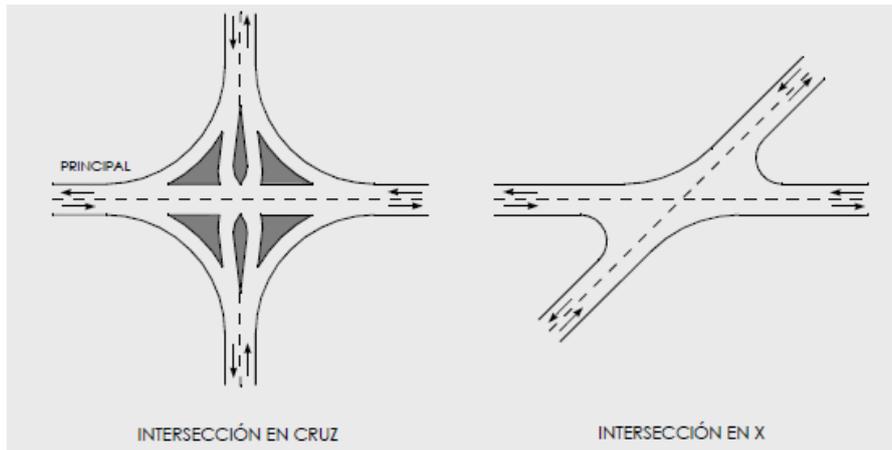


Figura 11. Intersecciones de cuatro ramales

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

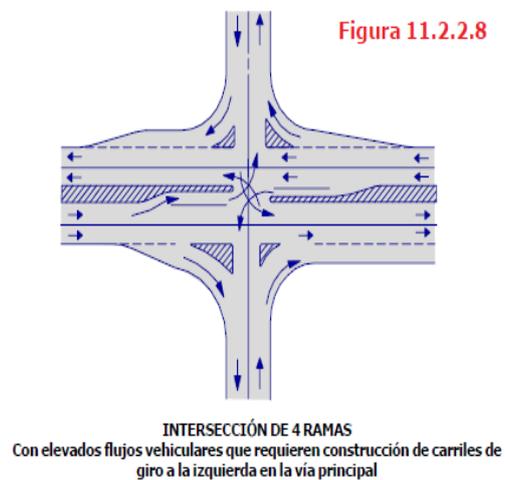


Figura 12. Intersección de 4 ramales con elevados flujos vehiculares

Fuente: (Ing. Victor Chavez Loaiza, 2005)

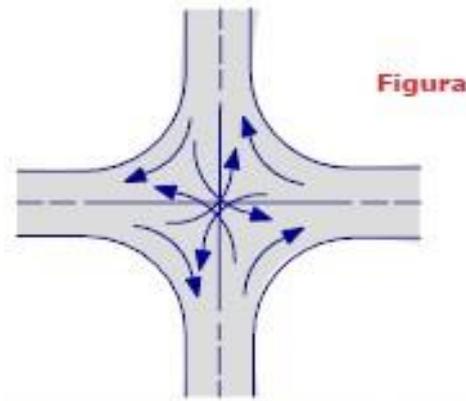


Figura 13. Intersección de 4 ramales con bajos flujos vehiculare

Fuente: (Ing. Victor Chavez Loaiza, 2005)

III. Intercesión con más de 4 ramales

Este tipo de intersecciones es difícil de tratar, por lo que es conveniente evitarlas en la medida de lo posible. Generalmente, la solución ideal es suprimir alguno de los ramales, empalmándolo fuera de la intersección. Otras veces, sin embargo, esto no es posible y hay que llegar a complejas soluciones o de tipo giratorio. En zonas urbanas, el establecimiento del sentido único en determinados ramales simplifica el funcionamiento de la intersección. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

IV. Intersecciones giratorias o glorieta

La glorieta o intersección giratoria se caracteriza por la confluencia de los ramales en un anillo de circulación rotatoria en sentido anti horario alrededor de una isleta central, teniendo prioridad de paso aquellos vehículos que circulan por ella. Este tipo de intersección surge como un intento de remediar los incipientes problemas de congestión y accidentalidad en las ciudades.

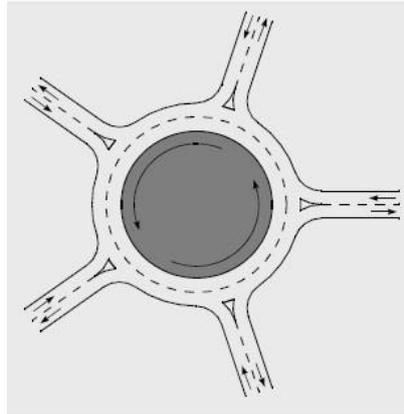


Figura 14. Esquema de una intersección giratoria o glorieta

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

a. Intersección semaforizada

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. En las intersecciones reguladas por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo.

Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimiento circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico.

La metodología presentada se aplica a la capacidad y al nivel del servicio de los accesos a la intersección. La capacidad se evalúa en términos de la relación entre intensidad de la demanda y la capacidad (relación I/c), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo (sg/v). (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

a.1. Semáforos

Los semáforos modernos otorgan el tiempo de muchas maneras, desde la modalidad más sencilla de tiempos prefijados (tiempo fijo) y dos fases hasta la más compleja de tipo multifase. Esta sección describe los varios tipos de operación semaforica y su impacto en la capacidad.

Generalmente se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semafóricas:

Ciclo: Cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.

Duración del ciclo: El tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C .

Fase: La parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tráfico que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

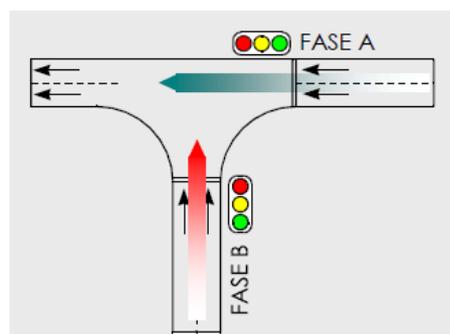


Figura 15. Esquema de fase en una intersección semaforizada

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

Intervalo: Un periodo de tiempo durante el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.

Tiempo de cambio: Los intervalos “amarillo” más el “todo rojo” que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha: se representa con el símbolo “ Y ”, y se mide en segundos.

Tiempo de verde: El tiempo, dentro de una fase dada, durante la cual la indicación “verde” está a la vista: expresado con el símbolo “ G_i ” (para la fase i) y en segundos.

Tiempo perdido: El tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento; estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros coches de la cola sufren retrasos en el arranque.



Tiempo de verde efectivo: El tiempo durante una fase dada que es efectivamente disponible para los movimientos permitidos, generalmente se considera como el tiempo verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase en cuestión; expresada en segundos y notada con el símbolo “ i ” (para la fase i).

Proporción de verde: La proporción de verde efectivo en relación a la duración del ciclo, notada con el símbolo g_i/C (para la fase i).

Rojo efectivo: El tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado o conjunto de movimientos; es la duración del ciclo menos el tiempo verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos y notado con el símbolo “ r_i ”. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

a.2. Tipos de movimiento

En una intersección regulada por semáforos la asignación del tiempo de verde no es lo único que influye de manera significativa en su capacidad; también debe tenerse en cuenta la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases. Pueden distinguirse cuatro tipos de movimientos: de paso, giro permitido, giro protegido y giro sin oposición.

- De paso: El vehículo continúa en la dirección que llevaba antes de atravesar la intersección. De todos los movimientos, es el de menor requerimiento por parte del sistema.
- Giro permitido: El vehículo que lo efectúa debe atravesar bien una corriente peatonal, bien un flujo vehicular en sentido opuesto. Por ejemplo, un movimiento de giro a la izquierda que se realice al mismo tiempo que el movimiento de tráfico en sentido opuesto se considera permitido. Asimismo, un movimiento de giro a la derecha simultáneo con un cruce de peatones también lo será. Este tipo de movimientos exigen un mayor consumo del tiempo de verde.
- Giro protegido: En este tipo de movimientos, el vehículo no presenta oposición vehicular o peatonal a la hora de realizar la maniobra. Sería el caso de giros a la izquierda realizados en una fase exclusiva para ellos – una flecha verde adicional en el semáforo- o de giros a la derecha con prohibición de cruce para los peatones durante esa fase.
- Giro sin oposición: A diferencia del caso anterior, esta clase de movimientos no necesita una regulación de fase exclusiva, ya que la configuración de la intersección hace imposible que se den conflictos o interferencias con el tráfico de

paso. Se dan sobre todo en calles de sentido único o en intersecciones en T que operen con dos fases separadas para cada dirección. (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

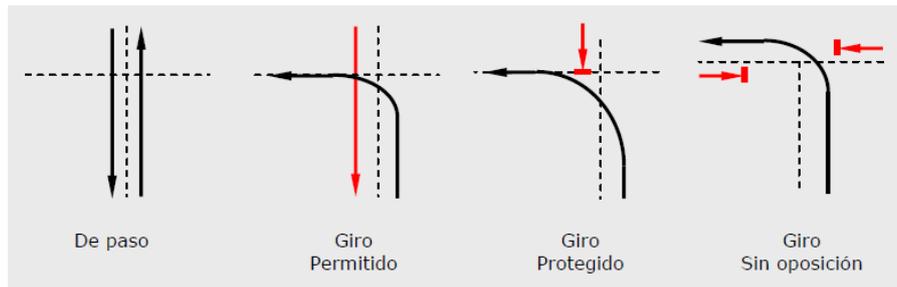


Figura 16. Tipos de movimientos en una intersección

Fuente: (Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F., 2000)

a.3. Modalidades básicas de operación

Los semáforos pueden operar en tres modalidades básicas dependiendo del tipo de equipo de control empleado:

Operación prefijada o de tiempos fijos:

La duración del ciclo, las fases, el tiempo de verde y los intervalos de cambio están todos prefijados. El semáforo rota por este ciclo definido de forma constante; cada ciclo es el mismo siendo la duración de ciclo y las fases constantes. Dependiendo del equipo disponible, se puede utilizar varios reglajes de tiempo prefijados, entrando cada uno de ellos automáticamente en funcionamiento en momentos determinados del día.

Operación semi accionada por el tráfico

En la operación semi accionada la calle principal en cuestión tiene una indicación “verde” durante todo el tiempo hasta que los detectores de la calle secundaria indiquen que un vehículo o vehículos han llegado a uno o ambos accesos secundarios. El semáforo muestra entonces una fase “verde” para la secundaria, después de un intervalo de cambio apropiado, que se mantenga hasta que todos los vehículos hayan pasado o hasta que el verde de la calle secundaria alcance tiempo preestablecido máximo.

Operación totalmente accionada

En la operación totalmente accionada todas las fases semafóricas están controladas por detectores. En general los tiempos de verde mínimos y máximos están especificados para cada



fase, así como la secuencia de fases. En esta forma de operación las duraciones del ciclo y los tiempos de verde pueden variar considerablemente según la demanda. Ciertas fases de ciclo pueden ser opcionales y pueden ser anuladas totalmente si los detectores registran demanda. (Highway Capacity Manual (HCM), 2000)

b. Intersecciones no semaforizadas

En intersecciones no semaforizadas cada conductor debe encontrar el momento preciso y seguro para ejecutar el movimiento deseado. Los cruces sin señales de control de tránsito, mejor conocidas como semáforos; dependen de la percepción de tiempo y espacio del usuario, ya que estos deben tomar una decisión con respecto a cuándo hacer el movimiento (tiempo) y decidir si es seguro hacerlo (espacio).

El conjunto de las rutas no previstas y la percepción del usuario resultan en zonas potenciales de puntos de conflicto con otros movimientos direccionales ampliamente distribuidas, lo cual afecta la probabilidad de que ocurran conflictos graves. (Depiante V. , 2011)

Primeramente, debe decirse que este tipo de intersecciones no es propio de zonas urbanas, sino más bien de vías interurbanas o situadas en la periferia de la ciudad. Otro aspecto a recalcar es la elección de la tipología de intersección más adecuada en función de las condiciones de tráfico.

2.2.5. Estudios de impacto vial (EIV)

2.2.5.1. Definición

Es un estudio de ingeniería de tránsito que determina el impacto potencial de tránsito de algún proyecto de Desarrollo comercial, industrial, residencial propuesto y cualquier otro proyecto de ingeniería.

El impacto vial se entiende como cualquier cambio, tanto positivo como negativo, que sea provocado sobre el tránsito como consecuencia directa o indirecta de modificaciones viales específicas o del desarrollo de actividades, proyectos, programas o emprendimientos. Entonces podemos definir al estudio de impacto vial (EIV) como aquel procedimiento técnico que tiende a identificar, interpretar y alertar sobre los efectos en el corto, mediano y largo plazo que las actividades, proyectos, programas o emprendimientos puedan causar en la infraestructura vial urbana, así como en los peatones o usuarios de la misma. Por esta razón,



un EIV es desarrollado para ser enviado a las autoridades públicas para su revisión y aprobación. (Sotelo, 2010).

2.2.5.2. Algunas consideraciones sobre los EIV

Los Estudios de Impacto Vial pueden responder a varios tipos de situaciones. Estas varían según el tipo de desarrollo, su localización, tránsito existente, condiciones ambientales en el área y las políticas locales de acuerdo a reglamentos municipales existentes.

Al inicio o durante la realización de un Estudio de Impacto Vial surgirán las siguientes preguntas:

- ¿Bajo qué condiciones necesito realizar un Estudio?
 - ¿Cuánta información necesito para realizar el Estudio?
 - ¿Qué área de influencia debo considerar?
 - ¿Si se está Planificando un desarrollo, en qué punto debo iniciar mi evaluación?
 - ¿Cuál debe ser mi horizonte para la proyección del tránsito?
 - ¿Qué horas pico debo analizar?
 - ¿Qué análisis técnicos necesito?
 - ¿Qué metodologías debo utilizar, para mis proyecciones, niveles de servicio, etc.?
 - ¿Cuál es la forma adecuada para determinar los impactos al sistema de transporte?
 - ¿Cuáles son las mejoras que deben identificarse?
 - ¿Debo proponer mejoras físicas, de control de tránsito, modo de transporte o cambios al desarrollo?
 - ¿Cómo debo presentar mis descubrimientos, conclusiones y recomendaciones?
- (RE-10 Reglamento Específico de Evaluaciones de Impacto Vial)



2.2.5.3. Procedimientos de un Estudio de Impacto Vial

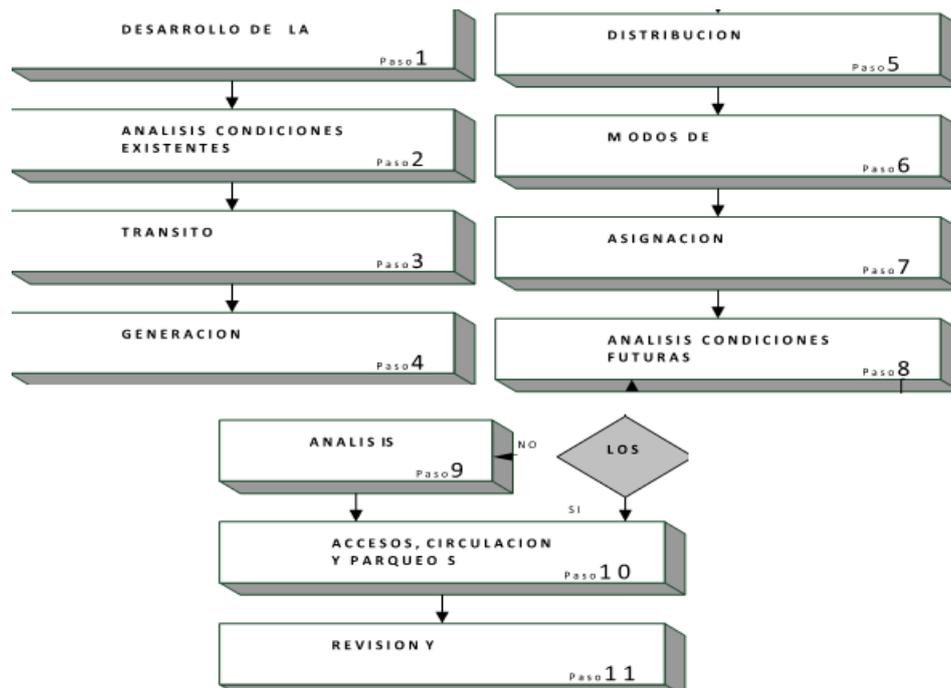


Figura 17. Esquema de los Pasos para un EIV.

Fuente: Institute of Transportation Engineers (ITE)

2.2.5.4. Requisitos de un EIV.

2.2.5.4.1. Datos de red vial.

Para el desarrollo de un EIV se deben tener en cuenta los datos de la red vial aledaña al proyecto. De esta manera, se requiere obtener las características de las vías ya sean vías primarias, secundarias y terciarias que comprenden el área de influencia del proyecto. Entre los datos de la red vial necesarios para el desarrollo de un EIV podemos señalar las características geométricas, los datos referentes a los volúmenes de tránsito y las características de operación de las vías. (ITE)

Datos de la geometría

Los datos de la geometría nos permiten tener una perspectiva espacial de los elementos que conforman la red vial en la zona de influencia del proyecto. Para estudiar la geometría se pueden tomar de planos existentes del área de estudio o basarse en estudios viales previos de proyectos circundantes. Sin embargo, los datos recolectados de esta manera no representan fidedignamente la situación actual. Este es el motivo por el cual es recomendable hacer un levantamiento en campo. (ITE)



Volúmenes de Tránsito

El estudio de los volúmenes de tránsito de la red vial urbana en la zona de influencia del proyecto antes de la construcción del mismo es necesario para el análisis de la situación actual de la zona de estudio. Además, la información recolectada puede servir de base para la estimación de los volúmenes de tránsito futuro. Esto a su vez permite la posibilidad de realizar medidas de planificación del transporte urbano considerando un año horizonte en el cual los volúmenes de tránsito puedan ser proyectados. (Quintero et al., 2008).

Características de Operación de la Red Vial

Para determinar las características de operación de la red vial se debe determinar la capacidad de las vías y sus niveles de servicio. Para lograrlo, se desarrollan modelos de simulación. Dichos modelos pueden ser utilizados mediante programas como: Highway Capacity Software, Synchro, Transy, Sidra y Vissim, entre otros. (HCM2000)

2.2.5.4.2. Capacidad de Tránsito.

La capacidad del tránsito de un sistema de transporte mide el número de pasajeros o la carga que puede transportar el mismo entre dos puntos en un intervalo de tiempo, sean horas o días. De esta manera, la capacidad de tránsito está en función del número de vehículos que transita una vía en un momento dado, de la capacidad de los vehículos de transporte y su velocidad. (Hay, 2009).

2.2.5.4.3. Niveles de Servicio

Los niveles de Servicio o Level of Service (LOS) miden la seguridad, la comodidad, las facilidades de maniobrar y la selección del tipo de velocidad en una vía. De esta 24 manera, los niveles de servicio son una medida cualitativa que caracteriza diversas situaciones referentes a la facilidad de maniobrar de los usuarios. (Highway Capacity Manual, 2000).

2.2.5.4.4. Accesos a propiedades adyacentes.

Se debe verificar si es permitido el acceso de forma directa al área del nuevo desarrollo. Es decir, se analizan las restricciones que puedan existir en las propiedades adyacentes, las cuales puedan impedir el acceso al desarrollo previsto. Estas restricciones pueden ser en el escenario actual o de acuerdo a los usos de suelo previstos de los terrenos aledaños. (Highway Capacity Manual, 2000).



2.2.5.4.5. *Sistemas de transporte público.*

Para el estudio del impacto vial de un proyecto previsto es importante el estudio de los sistemas de transporte público que se prevé utilizarán los usuarios del desarrollo. Para lograrlo, se debe realizar un inventario de los medios de transporte público que transitan por el área de estudio o por sus zonas aledañas. Las características básicas que deben tomarse en cuenta son: el número de rutas, la capacidad de las unidades ofertadas, la frecuencia del servicio, la ubicación y capacidad de las paradas, el espacio físico de las mismas, etc. Asimismo, se debe de averiguar ante el municipio competente si es que existen planes de implementación de nuevas rutas o nuevos sistemas de transporte.

2.2.5.4.6. *Generación, atracción y distribución de viajes.*

Generación de viajes

El estudio de generación de viajes es una rama de la ingeniería de transportes que se encarga de estudiar los flujos de viajes dentro de una localidad, entendiendo que estos son los responsables de la generación de tránsito en las vías urbanas.

Atracción de viajes

Se considera que para que se desarrolle un viaje, requiere tener un origen y un destino. De esta manera, por ejemplo, un proyecto inmobiliario usualmente genera viajes, pues el origen de los desplazamientos de los residentes es generalmente el proyecto mismo.

Distribución de viajes

La distribución de viajes permite identificar los flujos del tránsito dentro de la zona de estudio, es decir, permite identificar la dirección que toma un viaje al partir de su origen hasta llegar a su destino. (Yévenes, 2015)

2.2.6. Dispositivos para el Control del Tránsito

Se denomina dispositivos para el control de tránsito a las señales de tránsito, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloca sobre o adyacente a las calles y carreteras encargados por la autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de la misma.

La implementación de los dispositivos de control del tránsito, se realizará de acuerdo a los estudios de ingeniería vial que debe realizarse para cada caso, y que entre otros contemple,



el tipo de vía, el uso del suelo del sector adyacente, las características de diseño acorde al Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG vigente), características de operación, sus condiciones ambientales, y en concordancia con las normas de tránsito correspondientes. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2016)

2.2.6.1. Clasificación de dispositivos de control.

Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (preventivas), las limitaciones (reguladoras) y las informaciones (informativas). Los dispositivos para el control de tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

2.2.6.1.1. Señales verticales.

Las señales verticales son dispositivos instalados al costado o sobre el camino, y tienen por finalidad, reglamentar el tránsito, prevenir e informar a los usuarios mediante palabras o símbolos establecidos en este Manual.

Su implementación será de acuerdo al estudio de ingeniería vial anteriormente citado debiendo evitarse, por ejemplo, el uso excesivo de señales verticales en un tramo corto puesto que puede ocasionar contaminación visual y pérdida de su efectividad. Asimismo, es importante el uso frecuente de señales informativas de identificación y destino, a fin de que los usuarios de la vía conozcan oportunamente su ubicación y destino. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2016)

Clasificación de señales verticales:

- **Señales Reguladoras o de Reglamentación:** Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías, las prioridades, prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes, en el uso de las vías. Su incumplimiento constituye una falta que puede acarrear un delito.
- **Señales de Prevención:** Su propósito es advertir a los usuarios sobre la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal.
- **Señales de Información:** Tienen como propósito guiar a los usuarios y proporcionarles información para que puedan llegar a sus destinos en la forma más simple y directa posible. Además, proporcionan información relativa a



distancias a centros poblados y de servicios al usuario, kilometrajes de rutas, nombres de calles, lugares de interés turístico, y otros. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2016)

2.2.6.1.2. Señales horizontales.

Está conformada por marcas planas en el pavimento, tales como líneas horizontales y transversales, flechas, símbolos y letras, que se aplican o adhieren sobre el pavimento, sardineles, otras estructuras de la vía y zonas adyacentes.

Forma parte de esta señalización, los dispositivos elevados que se colocan sobre la superficie de rodadura, también denominadas marcas elevadas en el pavimento, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar restricciones.

Se emplean para regular o reglamentar la circulación, advertir y guiar a los usuarios de la vía, por lo que constituyen un elemento indispensable para la operación vehicular y seguridad vial. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2016)

2.2.7. Volumen de Transito Horario

Con base en la hora seleccionada se define los siguientes volúmenes de transito horario, dado en vehículos por hora.

2.2.7.1. Volumen horario de máxima demanda:

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular. (Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas, 2005)

2.2.7.2. Volumen Horario de Proyecto

Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la vialidad. Fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. (Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas, 2005).



2.2.8. Velocidad en General

En general, el término velocidad se define como 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 kilómetros por hora (km/h).

Para el caso de una velocidad constante, ésta se define como una función lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la fórmula:

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

v = Velocidad constante (Kilómetro por hora)

d = Distancia recorrida (kilómetros)

t = Tiempo de recorrido (horas). (Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas, 2005)

2.2.9. Capacidad Vial en Intersecciones Semaforizadas

La capacidad de intersecciones es definida para cada grupo de carriles. La capacidad del grupo de carriles es la máxima tasa de flujo para el grupo de carriles objeto que puede pasar a través de la intersección bajo el tráfico prevaleciente, la vía y las condiciones de semaforización. La tasa de flujo es generalmente medida o proyectada para periodos de 15 minutos, y la capacidad es establecida en vehículos por hora (vph).

- a. Condiciones de tráfico. Las condiciones de tráfico incluyen los volúmenes en cada aproximación, la distribución de vehículos por movimiento (izquierdo, de frente, derecha), la distribución del tipo de vehículos en cada movimiento, la localización y el uso de las paradas de ómnibus (transporte público) dentro del área de la intersección, flujo de peatones que cruzan y movimientos de estacionamiento dentro del área de la intersección.
- b. Condiciones de la vía (geométricas): Las condiciones de la vía incluyen la geometría básica de la intersección, incluyendo el número y ancho de vías, pendientes y asignación del uso de la vía incluyendo vías de parqueo.



- c. Condiciones de semaforización: Las condiciones de semaforización, incluyen una definición total de las fases de la señal, tiempos y tipo de control, y una evaluación de la progresión para cada grupo de vías. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.10. Nivel de Servicio

Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/ o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. (Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas, 2005)

El nivel de servicio de intersecciones semaforizadas es definido en términos de la demora, la cual es una medida de la disconformidad del conductor, frustración, consumo de combustible y el tiempo perdido de viaje.

La demora experimentada por el conductor es hecha sobre un número de factores que relacionan el control, la geometría, el tráfico y los incidentes. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

- Nivel de servicio A describe operaciones con un control de demoras de 10 s/veh o menos y una proporción volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando la proporción volumen-capacidad es baja y la progresión es excepcionalmente favorable o la duración del ciclo es muy corto. Si es debido a la favorable progresión, la mayoría de los vehículos llegan durante la indicación verde y viajan a través de la intersección sin parar.
- Nivel de servicio B describe operaciones con control demora entre 10 y 20 s/veh y una proporción volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando la proporción volumen-capacidad es baja y la progresión es altamente favorable o la duración del ciclo es corto. Más vehículos parados que con Nivel de servicio A.
- Nivel de servicio C describe operaciones con control demora entre 20 y 35 s/veh y una proporción volumen-capacidad no superior a 1.0. Este nivel se asigna normalmente cuando la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderada. Fallas de ciclo individual (es decir, uno o más vehículos en cola no son capaces de salir como resultado de la insuficiencia de la capacidad durante el



ciclo) pueden comenzar a aparecer en este nivel. El número de vehículos parando es importante, aunque muchos vehículos pasan a través de la intersección sin parar.

- Nivel de servicio D describe operaciones con control demora entre 35 y 55 s/veh y una proporción volumen-capacidad no superior a 1.0. Este nivel se asigna normalmente cuando la proporción volumen-capacidad es alta y la progresión es ineficaz o la duración del ciclo es largo. Muchos vehículos paran y las fallas ciclo individual son perceptibles.
- Nivel de servicio E describe operaciones con control demora entre 55 y 80 s/veh y una proporción volumen-capacidad no superior a 1,0. Este nivel se asigna normalmente cuando la proporción volumen-capacidad es alta, la progresión es desfavorable, y la duración del ciclo es larga. Las fallas Ciclo individual son frecuentes.
- Nivel de servicio F describe operaciones con control demora superior a 80 s/veh o una proporción volumen-capacidad superior a 1.0. Este nivel se asigna normalmente cuando la proporción volumen-capacidad es muy alta, la progresión es muy pobre, y la duración del ciclo es larga. La mayoría de los ciclos no permiten borrar la cola. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

Criterios del nivel de servicio	Control de demora (S/veh)	Niveles de servicio por la proporción volumen-capacidad	
	≤10		A
>10-20		B	F
>20-35		C	F
>35-55		D	F
>55-80		E	F
>80		F	F

^a Para evaluaciones basadas en aproximación en toda la intersección, los niveles de servicio se definen únicamente con el control de demora exclusivamente por retraso de control.

Figura 18. Criterios del nivel de servicio

Fuente: (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.11. Tasa de Demanda del Flujo

La tasa de demanda de flujo para una intersección a la circulación de tráfico se define como el número de vehículos que llegan a la intersección durante el período de análisis dividido por la duración del período de análisis. Se expresa como una tasa de flujo por horario, pero puede representar un período de análisis de menos de 1 h. La tasa de demanda



de flujo representa la tasa de flujo de vehículos que arriban a la intersección. Cuando se mide en el campo, esta tasa de flujo se basa en un recuento de tráfico adoptado antes de la cola asociada con la intersección. Esta distinción es importante para conocer los recuentos durante períodos congestionado porque el recuento de vehículos partiendo desde un enfoque congestionado producirá una tasa de demanda de flujo que es inferior a la tasa real. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.12. Factor Hora Punta de Intersección

Un factor de hora punta para toda la intersección se calcula con la siguiente ecuación:

$$PHF = \frac{n_{60}}{4 n_{15}}$$

Donde:

PHF : Factor de hora pico

n_{60} : Recuento de vehículos durante un período de 1 h (veh)

n_{15} : Recuento de vehículos durante el período de pico de 15 min (veh).

El recuento utilizado en el denominador de la ecuación debe tomarse durante un período de 15 minutos que se produce dentro del período de 1- h representado por la variable en el numerador. Ambas variables en esta ecuación representan el número total de vehículos que entran en la intersección durante sus respectivos períodos de tiempo. Como tal, un factor de hora punta se calcula para la intersección. Este factor se aplica individualmente a cada movimiento del tráfico. Los valores de este factor suelen oscilar entre 0,80 a 0,95.

El uso de un único factor de hora pico para toda la intersección está diseñado para evitar la probabilidad de crear escenarios de demanda conflictiva con volúmenes que no son proporcionales a los volúmenes reales durante el período de análisis de 15 minutos. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.13. Relación de pelotón

La relación de pelotón se utiliza para describir la calidad de la señal de progresión para el correspondiente grupo de movimiento. Se calcula como la tasa de flujo demanda durante la indicación verde dividido por el promedio de la tasa de flujo de demanda. Valores para la



relación de pelotón típicamente varían de 0,33 a 2,0. La tabla 6 proporciona una indicación de la calidad de

Tabla 4

La progresión asociados con determinados valores de la relación de pelotón.

Platoon Ratio	Arrival Type	Progression Quality
0.33	1	Very poor
0.67	2	Unfavorable
1.00	3	Random arrivals
1.33	4	Favorable
1.67	5	Highly favorable
2.00	6	Exceptionally favorable

Fuente: (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

La relación de pelotón para un grupo de movimiento puede ser estimada a partir de datos de campo con la siguiente ecuación:

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

R_p: Relación de pelotón,

P: La proporción de vehículos que lleguen durante la indicación verde (decimal),

g: Tiempo verde efectivo (s), y

C: Duración de ciclo (s).

La proporción de vehículos que lleguen durante la indicación verde" P se calcula como el número de vehículos que llegan durante la indicación verde dividido por el número de vehículos que llegan durante todo el ciclo de la señal. Es un valor promedio que representan condiciones durante el período de análisis.

2.2.13.1. Tipos de llegada:

La llegada del tipo 1 se caracteriza por un denso pelotón de más del 80% del movimiento de volumen de grupo llegan al inicio del intervalo rojo. Este tipo de llegada es a menudo asociada con los segmentos cortos con progresión muy pobre en el sentido de viaje (y posiblemente buena progresión para la otra dirección).



Llegada tipo 2 se caracteriza por un pelotón moderadamente denso llegando en el medio del intervalo rojo o un pelotón disperso que contienen del 40% al 80% del volumen de grupo de movimiento que llegan a lo largo de todo el intervalo de color rojo. Este tipo de llegada es a menudo asociada con segmentos de longitud media con progresión desfavorable en el sentido de viaje

Llegada tipo 3 describe una de las dos condiciones. Si las señales del segmento delimitador son coordinadas, luego de la llegada de este tipo se caracteriza por un pelotón que contengan menos del 40% del movimiento de volumen de grupo que llegan parcialmente durante el intervalo rojo y parcialmente durante el intervalo verde. Si las señales no son coordinadas, luego de la llegada de este tipo se caracteriza por pelotones que llegan a la intersección en diferentes momentos durante el transcurso del período de análisis, de modo que las llegadas son realmente aleatorias.

Llegada tipo 4 se caracteriza por un pelotón moderadamente denso llegando en el medio del intervalo verde o un pelotón disperso que contienen del 40% al 80% del volumen de grupo de movimiento que llegan a lo largo de todo el intervalo verde. Este tipo de llegada es a menudo asociada con segmentos de longitud media con una favorable evolución en el sentido de viaje.

Llegada tipo 5 se caracteriza por un denso pelotón de más del 80% del movimiento de volumen de grupo llegan al inicio del intervalo verde. Este tipo de llegada es a menudo asociada con los segmentos cortos con progresión muy favorable en el tema del sentido de la marcha y un número bajo a moderado de entradas de calle lateral.

Llegada de tipo 6 se caracteriza por un denso pelotón de más del 80% del movimiento de volumen de grupo llegando al inicio del intervalo verde. Este tipo de llegada se produce sólo en segmentos muy cortos con progresión excepcionalmente favorable en el sentido de viaje e insignificante calle lateral entrados. Es reservado para rutas en densas redes de señal, posiblemente con calles de una sola vía.

2.2.14. Cola inicial

La cola inicial representa la cola presente al inicio del período de análisis para el grupo de movimiento. Esta cola se crea cuando sobrecarga es sostenido por un tiempo prolongado. La cola inicial puede estimarse mediante el monitoreo de recuento de cola continuamente durante cada uno de los tres ciclos consecutivos que ocurren justo antes del



inicio del período de análisis. Los recuentos más pequeños observados durante cada ciclo se registran. La estimación inicial de la cola es igual a la media de los tres recuentos. En la estimación inicial de la cola no debe incluir los vehículos de la cola debidos al azar, ciclo-por-fluctuaciones del ciclo. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.15. Tasa de Flujo Peatonal

La tasa de flujo peatonal se basa en el número de peatones que circulan en el cruce peatonal que está cruzada por vehículos que girando a la derecha desde durante el período de análisis. Por ejemplo, la tasa de flujo peatonal para el enfoque hacia el oeste describe el flujo de peatones en el cruce peatonal en la pierna norte. Se toma un recuento independiente para cada sentido de la marcha en el cruce peatonal. Cada recuento está dividido por la duración del período de análisis para producir una tasa de flujo horario direccional. Estas tasas se agregan para obtener la tasa de flujo peatonal. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.16. Tasa de Flujo de Bicicletas

La tasa de Flujo de bicicletas se basa en el número de bicicletas cuyo recorrido es atravesado por vehículos, girando a la derecha desde durante el período de análisis. Estas bicicletas pueden viajar en el hombro o en un carril-bici. Cualquier tráfico de bicicletas que operan en el carril de la derecha con el tráfico automovilístico no deberían incluirse en este recuento. Esta interacción no es modelada por la metodología. El recuento es dividido por la duración del período de análisis para producir una tasa de flujo cada hora. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.17. Máximo Verde

El ajuste de máximo verde define la cantidad máxima de tiempo que una señal verde puede ser visualizada en la presencia de demanda de conflicto. Los típicos valores Máximos verdes para las fases de giro a la izquierda tienen rango de 15 a 30 s. Los valores típicos para servir por fases de la calle menor tienen rango de 20 a 40 s y los valores para servir las fases de la calle mayor los rangos oscilan de 30 a 60 s. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.18. Mínimo Verde

El ajuste de mínimo verde representa la mínima cantidad de tiempo que una señal verde puede ser visualizada cuando una señal de fase es activada. Su duración se basa en consideraciones del tiempo de reacción del conductor, el tamaño de la cola, y la expectativa del conductor.



Los típicos rangos de Verde mínimo normalmente oscilan entre 4 y 15 s, con valores más cortos en este rango utilizado para las fases sirviendo movimientos de giro y bajos volumen a través de movimientos. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.19. El Cambio de Color Amarillo y el Rojo

El cambio de color amarillo y el rojo son ajustes de holgura para cada entrada de fase de la señal. El intervalo de cambio de amarillo está destinado a alertar a un conductor a la inminente presentación de una indicación de color rojo. Oscila de

3 s a 6 s, con mayores valores en este rango usado con fases que sirven movimientos de alta velocidad. El intervalo de separación de color rojo puede usarse para permitir que un breve tiempo para transcurrir tras la indicación amarilla, durante el cual las señales mayores asociadas con la fase final y todas las fases conflictivas muestran una indicación de color rojo, Si se utiliza el intervalo de separación de color rojo es típicamente 1 o 2 s. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.19.1. Duración de Ciclo (Coordinado- Operación Actuada).

La duración del ciclo es el tiempo transcurrido entre la terminación de dos presentaciones secuenciales de un intervalo verde de fase coordinada. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.19.2. Fase dividida (Coordinado- Operación Actuada).

Cada fase no coordinada es siempre un "Split". Este tiempo representa la suma del verde, cambio amarillo e intervalos de despeje rojo para la fase.

El fundamento para determinar duración del intervalo verde varía entre organismos; sin embargo, a menudo se relaciona con la "óptima" duración de intervalo verde preestablecido.

(Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.20. Desplazamiento y Punto de Referencia de Desplazamiento (Coordinado- operación Actuada)

La fase de referencia se especifica que una de las dos fases coordinada (es decir, la fase 2 o 6). El desplazamiento introducido en el controlador representa el momento en que comienza la fase de referencia (o extremos) relativo al tiempo cero del sistema dominante.



El desplazamiento debe ser especificado como se hace referencia al principio o al final del intervalo verde de la fase de referencia. El punto de referencia de desplazamiento suele ser el mismo en todas las intersecciones en un determinado sistema de señal. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.21. Modo de Fuerza (Operación Coordinada- Actuada)

Este modo es una configuración específica del controlador. Se establece en "fijos" o "flotantes". El controlador calcula el punto de fuerza de la fase para cada fase no coordinada sobre la base modo forzado y fase dividida, Cuando está en el modo fijo, cada fase no coordinada tiene su punto de fuerza establecido en un tiempo fijo en el ciclo, relativo al tiempo cero en el sistema dominante. Esta operación permite no usar el tiempo dividido para volver a la siguiente fase. Cuando se establece el modo flotante, cada fase no coordinada tiene su punto de fuerza fijado en el tiempo dividido después de la primera fase que se activa. Esta operación permite no usar el tiempo dividido para volver a la fase coordinada (lo que se conoce como "un pronto retorno a verde"). (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22. Metodología del HCM

2.2.22.1. Paso 1: Determinar grupo de movimientos y grupo de Carriles

A. Grupo de carriles y grupo de movimientos

Un carril o grupo de carriles designados para separar el análisis se conoce como un grupo de carril. En general, un separado grupo de carril está establecido para (a) Cada carril (o combinación de carriles adyacentes), que sirve exclusivamente a un movimiento y (b) cada carril compartidos por dos o más movimientos.

El concepto de los grupos del movimiento también se establece para facilitar la entrada de datos. Un independiente grupo de movimiento está establecido para (a) Cada movimiento de giro con uno o más carriles de giro exclusivo y (b) a través del movimiento (incluyendo cualquier vuelta movimientos que comparten un carril). (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

b. Movimiento y Numeración de la fase

La figura 30 ilustra los movimientos de tráfico de vehículos y peatones en una intersección de cuatro piernas. Tres movimientos de tráfico vehicular y un movimiento de tráfico peatonal se muestran para cada intersección. Para facilitar la discusión, a cada



movimiento se le asigna un único número o un número y combinación de letras. La letra P denota un movimiento peatonal. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

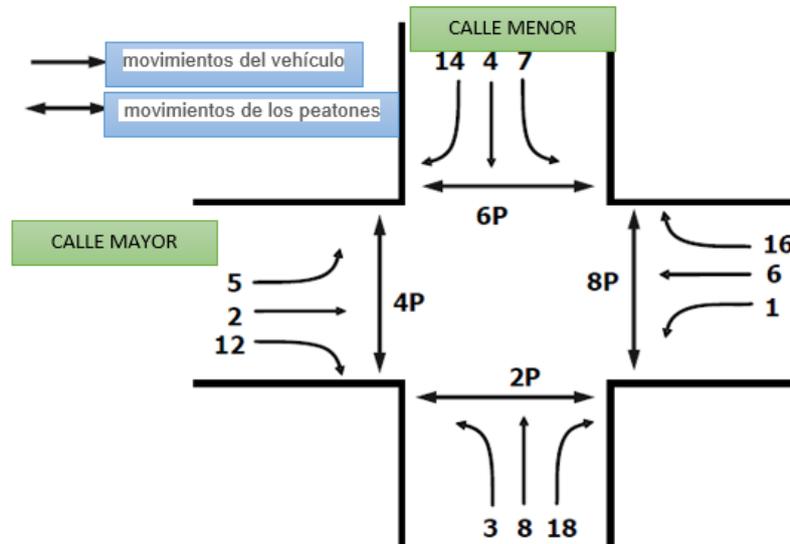


Figura 19. Movimiento de tráfico de vehículos y peatones

Fuente: Elaboración propia

2.2.22.2. *Determinar la tasa de flujo de Grupo de Movimientos.*

La tasa de flujo de cada grupo de movimiento es determinada en este paso. Si un movimiento de giro sirve para una o más carriles exclusivos y no carriles compartidos, entonces cada tasa de flujo de movimiento es asignada a un grupo de movimiento. Cualquiera de los flujos de enfoque que aún no se ha asignado para un grupo de movimiento es asignado a un grupo de movimiento.

2.2.22.3. *Determinar la tasa de Flujo de Grupo de Carriles.*

La tasa de flujo del grupo de carriles es determinada en este paso. Si no hay carriles compartidos en la intersección enfocada, o el enfoque tiene solo un carril, hay una correspondencia uno a uno entre los grupos de carriles y grupo de movimientos. En esta situación, la tasa de flujo del grupo de carril es igual a la tasa de flujo del grupo de movimiento.



2.2.22.4. *Determinar los Ajustes de la Tasa de Flujo de Saturación.*

El ajuste de la tasa de flujo de saturación para cada carril de cada grupo de carriles es calculado en este paso. La tasa de flujo de saturación base proporcionada como una variable de entrada es usada en este cálculo.

El cálculo del flujo de saturación es referido como el “ajuste” de tasa de flujo de saturación porque este refleja la aplicación de varios factores de ajuste a la tasa de flujo de saturación base a las condiciones específicas presentes en la intersección enfocada.

$$s = s_o f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

Donde

S = Ajuste de la tasa de flujo de saturación.

So = Tasa de flujo de saturación base. (pc/h/ln)

fw = Factor de Ajuste por ancho de carril

fHV = Factor de Ajuste por Vehículos Pesados:

fg = Factor de Ajuste por Pendiente:

fp = Factor de Ajuste para Estacionamiento

fbp = Factor de Ajuste para bloqueo de buses

fa = Factor de Ajuste por tipo de área

fLU = Factor de Ajuste por el carril utilizado

fLT = Factor de Ajuste por giros a la derecha

fRT = Factor de Ajuste por giros a la izquierda

fLpb = Factor de Ajuste para peatones

fRpb = Factor de Ajuste para bicicletas. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.1. *Flujo de Saturación Base.*

La Tasa de flujo de Saturación representa el máximo caudal de caudal de una vía de circulación, medida en la línea de parada durante la indicación verde. La tasa de flujo de



saturación de base representa la saturación del caudal para un carril de tráfico que es de 12 pies de ancho y no tiene vehículos pesados, grado plano, no hay estacionamiento, no hay autobuses que paran en la intersección, incluso la utilización de carril, y no hay giro de vehículos. Normalmente, una tasa base es seleccionado para representar a todas las intersecciones señalizadas en la jurisdicción (o de área), dentro del cual se encuentra la intersección.

Cuando la intersección se encuentre en un área metropolitana con 250.000 habitantes o más, la saturación base es de 1900 automóviles/carril/hora, y en otras ciudades 1750. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.2. Factor de Ajuste por ancho de carril.

Factor de Ajuste por ancho de carril f_w cuenta el impacto negativo del carril estrecho en la tasa de flujo de saturación y permite un incremento de tasa de flujo en carriles anchos.

Tabla 5

Factores de ajuste

Average Lane Width (ft)	Adjustment Factor (f_w)
<10.0 ^a	0.96
≥10.0–12.9	1.00
>12.9	1.04

Fuente: (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.3. Factor de Ajuste por Vehículos Pesados.

Un vehículo pesado se define como cualquier vehículo con más de cuatro neumáticos tocando el pavimento. Los autobuses locales que paran en el área de intersección no se incluyen en el recuento de vehículos pesados. El porcentaje de vehículos pesados representa el número de vehículos pesados que llegan durante el período de análisis, dividido por el número total de vehículos contados para el mismo período. Este porcentaje se proporciona para cada intersección a la circulación del tráfico; sin embargo, un valor representativo para todos los movimientos puede ser utilizado para un análisis de la planificación.

El factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV} cuenta es espacio adicional ocupado por los vehículos pesados y por la diferencia en su capacidad operativa, comparado con carros de pasajeros. Este. Este factor no se refiere a la parada de buses locales en el área de intersección.



$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$$

Donde

PHV: Porcentaje de vehículos pesados en el correspondiente grupo de movimiento.

ET: Equivale al número de autos para cada vehículo pesado. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.4. Factor de Ajuste por Pendiente.

El factor de ajuste por pendiente explica los efectos de la pendiente de aproximación en el rendimiento del vehículo.

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

Donde:

Pg.: es la pendiente de aproximación para el correspondiente grupo de movimiento. (%)

Este factor aplica para pendientes que va desde 6.0% to +10.0%. Una cuesta arriba tiene un valor positivo y una cuesta abajo tiene un valor negativo.

2.2.22.4.5. Factor de Ajuste para Estacionamiento.

El factor de ajuste de estacionamiento f_p tiene en cuenta el efecto friccionante de un carril de estacionamiento sobre el flujo del grupo de carriles adyacente al carril de estacionamiento. Esto también representa el bloqueo ocasional de un carril adyacente por los vehículos que circulan dentro y fuera de la zona de estacionamiento. Si el estacionamiento no está presente, entonces este factor tiene un valor de 1,00. Si el estacionamiento está presente, entonces el valor de este factor se calcula con la ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3,600}}{N} \geq 0.050$$

Donde:



Nm: tasa de maniobra de estacionamiento adyacente al grupo de carriles (maniobras/h)

N: número de carriles en un grupo de carriles (LN).

La tasa de maniobra de estacionamiento corresponde a las áreas de estacionamiento directamente adyacente al grupo de carriles y dentro de 250 pies antes de la línea de parada. Un límite práctico de 180 maniobras/h debe ser mantenido con la ecuación. Un valor mínimo de fp de esta ecuación es de 0,050. Cada maniobra (dentro o fuera) se asume para bloquear el tráfico en el carril adyacente a la maniobra de estacionamiento para un promedio de 18 s.

El factor sólo se aplica al grupo de carriles que es adyacente al estacionamiento. En una calle de un solo sentido con un solo carril de grupo de carriles, el número de maniobras utilizadas es el total de ambos lados de la pista. En una calle de un solo sentido con dos o más grupo de carriles, el factor se calcula por separado para cada grupo de carriles y se basa en el número de maniobras adyacente al grupo de carriles. Las Condiciones de estacionamiento con cero maniobras tienen un impacto diferente que el de una situación de no estacionamiento. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.6. Factor de Ajuste para bloqueo de buses.

El factor de ajuste de bloqueo de autobuses fbb tiene en cuenta el impacto de autobuses de tránsito local que paran para descargar o recoger pasajeros en una cercana o lejana parada de buses dentro de los 250 pies de la línea de parada (anterior o posterior). Los valores de este factor se calculan con la ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3,600}}{N} \geq 0.050$$

Donde

N: Es el número de carriles en un grupo de carriles (ln)

Nb: Es la tasa de parada de buses en el sujeto enfocado (buses/h).

Este factor debe usarse sólo cuando la parada de autobuses bloquea el flujo del tráfico en el grupo de carriles. Un límite práctico de 250 buses/h debe ser sustentado con la ecuación. Un mínimo valor de fbb de esta ecuación es de 0,050. El factor utilizado aquí asume un promedio de tiempo de bloqueo de 14,4 s durante una indicación verde.



2.2.22.4.7. Factor de Ajuste por tipo de área.

El factor de tipo de área se utiliza para indicar si la intersección está en un distrito central de negocios (CBD).

El factor de tipo de área f_a tiene en cuenta la ineficiencia de las intersecciones en CBDs (zonas comerciales) en comparación a aquellas situadas en otras ubicaciones. Cuando se utiliza, tiene un valor de 0,90.

El uso de este factor debe ser determinado en caso de base de casos. Este factor no es limitado para determinadas zonas CBD, tampoco es necesario utilizarse para todas las zonas CBD. En lugar de ello, este debería utilizarse en zonas donde el diseño geométrico y el tráfico o flujos peatonales, o ambos, son tales que los avances de los vehículos son significativamente incrementados.

2.2.22.4.8. Factor de Ajuste por el Carril Utilizado.

Factor de ajuste por la utilización del carril cuenta para la desigualdad en la distribución del tráfico entre los carriles de circulación en aquellos grupos con más de un carril exclusivo. Este factor proporciona un ajuste a la tasa de flujo de saturación base para la cuenta de uso desigual de los carriles. Esto no se utiliza a menos que un grupo de movimiento tenga más de un carril exclusivo. Se calcula con la ecuación:

$$f_{LU} = \frac{v_g}{N_e v_{g1}}$$

f_{LU} : Factor de ajuste por utilización de carril

v_g : Tasa de flujo de demanda para el grupo de movimiento (veh/h),

N_e : Tasa de flujo de demanda en el único carril exclusivo con la mayor tasa de flujo de todos los carriles exclusivos en el grupo de movimiento (veh/h/ln), y

v_{g1} : Número de carriles exclusivos en grupo de movimiento (LN).

Un factor de utilización de un carril de 1,0 se utiliza cuando una distribución del tráfico uniforme puede ser asumida en todos los carriles exclusivos en el grupo de movimiento o cuando un grupo de movimiento sólo tiene un carril. Los valores inferiores a 1,0 se aplican cuando el tráfico no está distribuido uniformemente. Enfoques como la



demanda de capacidad, el factor de utilización de carril es a menudo más cerca de 1.0 porque los conductores tienen menos oportunidad de seleccionar su carril. En algunas intersecciones, los conductores pueden elegir uno por encima de otro carril en anticipación del giro en una intersección posterior. Cuando este tipo de "pre posicionamiento" ocurre, una evaluación más precisa será obtenida cuando la actual tasa de flujo para cada carril enfocado es medida en el campo y siempre como una aportación a la metodología. El factor de ajuste de la utilización del carril de entrada se utiliza para estimar la tasa de flujo de saturación de un grupo de carriles con más de un carril exclusivo. Si el grupo de carriles tiene un carril compartido o uno exclusivo, este factor es de 1,0. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.9. *Factor de Ajuste por Giros a la Derecha.*

El factor de ajuste de giro derecha f_{RT} está destinado principalmente para reflejar el efecto de la geometría de la ruta de giro a la derecha en la tasa de flujo de la saturación. El valor de este factor de ajuste es calculado con la ecuación:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R}$$

Donde:

E_R : Es el equivalente al número de carros para un giro a la derecha protegida de vehículo (= 1.18).

Si el movimiento de giro a la derecha comparte un carril con otro movimiento o ha permitido la operación, entonces el procedimiento descrito en el capítulo 31 debe utilizarse para calcular el ajuste de tasa de flujo de saturación para el carril compartido del grupo de carriles. El efecto de peatones y bicicletas en la tasa de flujo de saturación de giro a la derecha es considerado en un factor de ajuste separado. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.4.10. *Factor de Ajuste por giros a la izquierda.*

El factor de ajuste de giro a la izquierda f_{LT} está destinado principalmente para reflejar el efecto de la geometría de la ruta de giro a la izquierda en la tasa de flujo de la saturación. El valor de este factor de ajuste es calculado con la ecuación 18-11.



$$f_{LT} = \frac{1}{E_L}$$

Donde:

EL: Es el equivalente al número de carros para un giro a la izquierda protegido de vehículo (= 1,05).

Si el movimiento de giro a la izquierda comparte un carril con otro movimiento o ha permitido la operación, entonces el procedimiento descrito en el capítulo 31 debe utilizarse para calcular el ajuste de tasa de flujo de saturación para el carril compartido del grupo de carriles. El efecto de los peatones en la tasa del flujo de saturación de giro a la izquierda es considerado en un factor de ajuste separado.

2.2.22.4.11. *Factor Ajuste para Peatones y Bicicletas.*

El procedimiento para determinar el factor de ajuste de giro a la izquierda de bicicletas y peatones f_{Lpb} y el factor de ajuste de giro a la derecha de bicicletas y peatones f_{Rpb} se basa en el concepto de ocupación de la zona de conflicto, el cual tiene en cuenta el conflicto entre el giro de vehículos, peatones y bicicletas. La ocupación correspondiente de la Zona de Conflicto toma en cuenta si el flujo vehicular oponente, también está en conflicto con el movimiento de giro a la izquierda. El porcentaje de tiempo en verde en el cual la zona de conflicto es ocupada se determina en función de la ocupación correspondiente y el número de carriles receptores del giro de vehículos.

2.2.22.5. *Paso 5: Determinar la Proporción que Llegan Durante el Verde.*

La demora de control y el tamaño de la cola en una intersección señalizada dependen en gran medida de la proporción de vehículos que llegan durante el verde y la indicación de señal rojo. La demora y el tamaño de la cola son menores cuando una larga proporción de vehículos llegan durante la indicación verde.

$$P = R_p(g/C)$$



Esta ecuación requiere conocimiento del tiempo efectivo en verde g y la duración del ciclo C . Estos valores son conocidos por la operación pre programado.

2.2.22.6. *Paso 6: Determinar la Duración de la Fase de Señal.*

La duración de la fase de señal depende del tipo de control que se utiliza en el tema de la intersección. Si la intersección tiene un control pre programado, entonces la duración de la fase es una entrada y este paso es omitido.

La duración de una fase activada está compuesta de cinco períodos de tiempo. El primer período representa el tiempo perdido mientras la cola reacciona al cambio de la señal de indicación a verde. El segundo intervalo representa el tiempo necesario para despejar la cola de vehículos. El tercer período representa el tiempo de indicación verde extendido por vehículos que ingresan al azar. Termina cuando existe una abertura en el tráfico (es decir, hueco) o el verde se extiende hasta el límite máximo (es decir, Max). El cuarto período representa el intervalo de cambio de color amarillo, y el quinto período representa el intervalo de separación de color rojo. La duración de una fase activada está definida por la ecuación:

$$D_p = l_1 + g_s + g_e + Y + R_c$$

Donde:

DP = duración de fase (s)

L1 = pérdida de tiempo de arranque = 2.0 (s)

GS = tiempo de servicio de cola (s)

Ge = tiempo de extensión verde (s)

Y= el intervalo de cambio Amarillo (s)

Rc = intervalo de separación rojo (s).

El Tiempo efectivo verde para la fase se calcula con la siguiente ecuación:

$$g = D_p - l_1 - l_2 = g_s + g_e + e$$

Donde:

L2 = tiempo perdido de despeje = Y + Rc - e (s)



e = extensión del verde efectivo e = 2.0 (s)

Y todas las demás variables están previamente definidas.

2.2.22.7. Paso 7: Determinar la capacidad y la relación de volumen y capacidad.

2.2.22.7.1. Relación de Volumen y capacidad del grupo de carriles.

La capacidad de un determinado grupo de carriles sirve a un movimiento de tráfico, y para los cuales no están permitidos movimientos de giro a la izquierda, es definido por la ecuación:

$$c = N s \frac{g}{C}$$

Donde C es la capacidad (veh/h) y las otras variables están previamente definidas. Esta ecuación no puede usarse para calcular la capacidad de un carril compartido de un grupo de carriles o un grupo de carriles con operación de giro a la izquierda permitido porque estos grupos de carriles tienen otros factores que afectan a su capacidad.

La relación de volumen y capacidad para un grupo de carriles es definida como el volumen del grupo de carriles sobre su capacidad. Se calcula mediante la ecuación:

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

Donde:

X = relación del volumen y capacidad

v = demanda del índice de flujo (veh/h),

c = capacidad (veh/h).

2.2.22.8. Paso 8: Determinar Demoras.

La demora calculada en este paso representa el control promedio de demoras experimentadas por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Incluye cualquier demora por estos vehículos que están todavía en la cola después de que finalice el



periodo de análisis. El control de demora para un determinado grupo de carriles se calcula utilizando la ecuación:

$$d = d_1 + d_2 + d_3$$

Donde:

d = control de demora (s/veh)

d1 = demora uniforme (s/veh) d2 = demora incremental (s/veh)

d3 = demora de cola inicial (S/veh). (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.8.1. Demora Uniforme.

La siguiente ecuación representa una forma para calcular la demora cuando las llegadas son asumidas aleatoriamente a lo largo de todo el ciclo. También asume un período verde efectivo durante el ciclo y una tasa de flujo de saturación durante este período. Esto se basa en el primer término de la ecuación de demora presentada en otro lugar (6).

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

Todas las variables están previamente definidas. El procedimiento de cálculo de demoras utilizado en esta metodología es consistente con la ecuación (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.2.22.8.2. Demora Incremental.

El término de demora incremental toma en cuenta la demora debido a la variación aleatoria en el número de llegadas en un ciclo por ciclo base. Esto también toma en cuenta la demora causada por exceso de demanda a la capacidad durante el período de análisis. La cantidad por la que la excede demanda a la capacidad durante el período de análisis se denomina aquí como demanda insatisfecha. La ecuación de demora incremental fue derivada mediante el uso de una hipótesis de una cola no inicial debido a la demanda insatisfecha en el anterior período de análisis. Ecuación de 18 a 45 años, con la ecuación 18-46, son usadas para calcular la demora incremental. (Higway Capacity Manual HCM, 2010)



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

$$X_A = v / c_A$$

Donde X_A es la relación de volumen y capacidad promedio y las otras variables están previamente definidas.

2.2.22.8.3. Demora de la Cola Inicial.

Si ningún grupo de carriles tiene una cola inicial, entonces la demora de la cola inicial d_3 es igual a 0.0 s/veh. Si una cola inicial está presente para cualquier grupo de carriles en la intersección, entonces la ecuación A mediante la ecuación B son usadas para calcular la demora de la cola inicial para cada grupo de carriles. (Highway Capacity Manual HCM, 2010)

$$d_3 = \frac{3,600}{v T} \left(t_A \frac{Q_b + Q_e - Q_{eo}}{2} + \frac{Q_e^2 - Q_{eo}^2}{2 c_A} - \frac{Q_b^2}{2 c_A} \right)$$

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

If $v \geq c_A$, then

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

$$t_A = T$$

If $v < c_A$, then

$$Q_{eo} = 0.0 \text{ veh}$$

$$t_A = Q_b / (c_A - v) \leq T$$

Donde

T_A = duración ajustada de la demanda insatisfecha en el periodo de análisis (h), Q_e = cola al final del período de análisis (veh),

Q_{eo} = cola al final del período de análisis cuando $v \geq c_A$ y



QB = 0.0 (veh), Y otras variables previamente definidas.

2.2.22.9. Paso 9. Determinar El Nivel de Servicio.

La tabla N°8 se utiliza para determinar el nivel de servicio para cada grupo de carriles, cada enfoque y la intersección como un todo. El Nivel de Servicio es una indicación de la aceptabilidad de los niveles de demora para automovilistas en la intersección. También puede indicar una operación sobresaturada inaceptable para grupos de carriles individuales.

Tabla 6

Niveles de servicio

Control Delay (s/veh)	LOS by Volume-to-Capacity Ratio ^a	
	≤1.0	>1.0
≤10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

Fuente: (Higway Capacity Manual HCM, 2010)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Es posible dar prioridad a la circulación vehicular priorizada en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico del Cusco para mejorar los niveles de servicio.

2.3.2. Sub hipótesis

Sub Hipótesis N°1: Es posible configurar la circulación vehicular como una prioridad de acuerdo a la demanda existente en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco.

Sub Hipótesis N°2: Es posible configurar la circulación vehicular con propuestas, de acuerdo a la geometría vial existente en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco

Sub Hipótesis N°3: Es posible configurar la circulación vehicular con los sistemas de control existentes en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad Cusco.



Sub Hipótesis N°4: La preferencia de la circulación influye significativamente en mejorar los niveles de servicio de la circulación vehicular en el sistema vial en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variable Independiente:

- Demanda
- Geometría Vial
- Sistemas de Control
- Preferencia de la Circulación

2.4.1.1. Indicadores de Variable Independiente.

- Niveles de servicio
- Flujo vehicular
- Composición vehicular
- Número de carriles
- Ancho de carriles
- Semáforos
- Señalización
- Flujo de ingreso/salida

2.4.2. Variables Dependientes

Circulación Vehicular Optimizada

Propuesta de Planificación

2.4.2.1. Indicadores de las variables dependientes.

- Niveles de Servicio.



2.5. Cuadro de Operacionalización de Variables (mandar después a las variables)

Tabla 7

Cuadro operacional de variables

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES			
VARIABLE	DESCRIPCION DE LA VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE			
X ₁ : Demanda	Es la cantidad de vehículos que van a circular por la infraestructura vial	Flujo Vehicular	FICHAS DE CAMPO
		Composición vehicular	FICHAS DE CAMPO
X ₂ : Geometría vial	Son las características geométricas de la visa en evaluación	Número de carriles	FICHAS DE CAMPO
		Ancho de carriles	
X ₃ : Sistemas de Control	Son los dispositivos de control del flujo vehicular y peatonal	Semáforos	FICHAS DE CAMPO
		Señalizaciones	
X ₄ : Preferencia de Circulación.	Es el concepto de ingresos y salidas bajo el cual se da preferencia a sentidos de circulación	Flujo de Ingreso/Salida	HCM 2010 SYNCHRO
VARIABLE DEPENDIENTE			
Y ₁ : Circulación vehicula Optimizada	Es la circulación vehicular que ha sido optimizada mediante la preferencia de ingresos y salidas.	Niveles de Servicio nuevos	HCM2010
			SYNCHRO 8.0
Y ₂ : Propuesta de Planificación	Es la propuesta de mejora en los niveles de servicio	Niveles de Servicio	HCM 2010
			SYNCHRO 8.0

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

Metodología

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Enfoque de la Investigación

La investigación que se utilizó, por naturaleza del objeto de estudio, es de tipo Cuantitativa. Ya que recogeremos y procesaremos los datos obtenidos del trabajo en campo para la determinación de flujos viales críticos, capacidad vial y nivel de servicio.

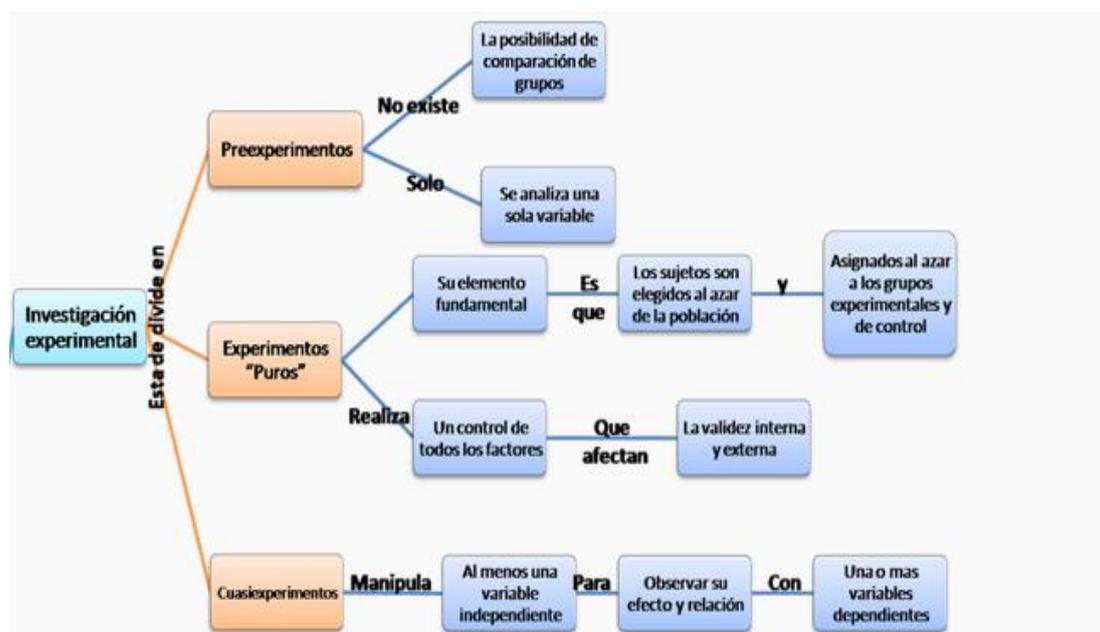


Figura 20. Investigación experimental

Fuente: Elaboración propia

La presente tesis presenta los siguientes métodos de investigación.

Método Deductivo

Es aquella orientación que va de lo general a lo específico; es decir que, de un enunciado general del que se va desentrañando partes o elementos específicos. (Caballero Romero, 2008).

Debido a que el tema de investigación se divide en varios puntos de estudio que se medirán de manera independiente para terminar con los objetivos específicos y así cumplir el objetivo general.



3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de estudio que se utilizó fue DESCRIPTIVO, ya que se describió situaciones y/o eventos como también se describió las propiedades importantes de la geometría de la vía, como anchos de carril, pendientes, sus características de funcionamiento, capacidad vial y nivel de servicio.

La investigación experimental será de tipo Cuasi-experimental ya que existirán variables intervinientes que no serán controladas a detalle y que serán parte del proceso de obtención de resultados o cálculos. Por ejemplo, las relaciones de volumen capacidad o ratio de saturación, es una variable parte del procedimiento de cálculo de los niveles de servicio.

La presentación tendrá un carácter que muestra en detalle el análisis operacional para evaluar la circulación vial existente, la consecuente descripción de alguna propuesta de mitigación como aporte. La investigación involucra la recolección de información de campo a nivel de aforos vehiculares, geometría de las vías y sistemas de control de tránsito para así describir y pronosticar las diferencias.

En una segunda fase será EXPERIMENTAL, por que mostrará los resultados del análisis para una situación modificada, en este caso se establecerá una relación entre los niveles de servicio o calidad del servicio y las variables dependientes que modifican o alteran este comportamiento.

3.1.3. Método de Investigación

En el presente estudio se empleó el método hipotético - deductivo, ya que se observó el fenómeno a estudiar en las intersecciones seleccionadas y se crearon hipótesis, las cuales fueron verificadas y comprobada en el transcurso de la investigación.

3.2. Diseño de la Investigación

3.2.1. Diseño Metodológico

El diseño de la investigación fue de tipo experimental debido a que no incluye la manipulación de la variable y se observa el fenómeno bajo condiciones reales.



3.2.2. Diseño de Ingeniería



Figura 21. Diseño de Ingeniería

Fuente: Elaboración propia

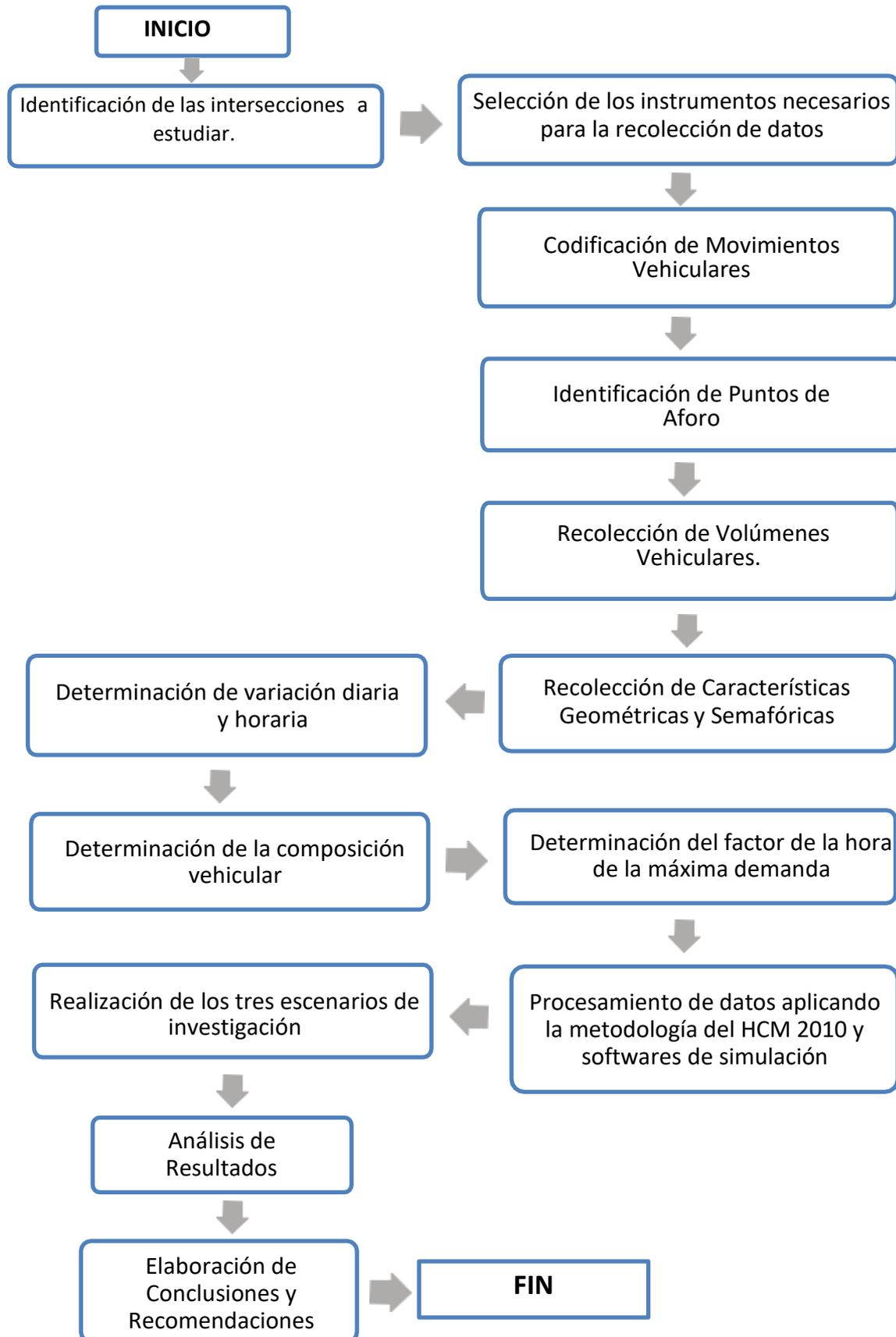


Figura 22. Detallado de actividades realizadas para el desarrollo de la investigación

Fuente: Elaboración propia



3.3.Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1.Descripción de la Población.

La población de esta investigación fueron las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas de alto tránsito vehicular, sectorizado por un polígono ubicado en el centro histórico de la ciudad del Cusco, las cuales por ser de gran importancia necesitan un mayor estudio y recolección de Características Geométricas.

3.3.1.2.Cuantificación de la población.

La población está compuesta por todas las intersecciones a lo largo del sistema vial en estudio. Las calles o segmentos de vía que conforman este universo y que se intersectan son:

1. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo-Av. El Sol-Regional.
2. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo – Garcilazo de la Vega.
3. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo- Plaza Limacpampa-Calle Zetas.
4. Intersección Av. Tullumayo-Calle Ruinas.
5. Intersección Calle Triunfo-Calle Santa Catalina Angosta.
6. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Calle Nueva.
7. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Calle Belén.
8. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Av. Grau.
9. Intersección Semaforizada Av. Grau-Calle Centenario.
10. Intersección Semaforizada Calle San Andrés-Calle Cuychipunco-Pardo.
11. Intersección Semaforizada Calle San Andrés-Ayacucho.
12. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Mantas.
13. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Afligidos-Ayacucho.
14. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Arrayan-Pte. Rosario
15. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Garcilazo
16. Intersección Semaforizada Calle Matara-Calle Ayacucho-Calle Belén
17. Intersección Semaforizada Calle Quera-Mesón de la Estrella-Calle Cruz Verde.
18. Intersección Semaforizada Calle Tecte-Calle Belén.
19. Intersección Pardo-Calle San Miguel
20. Intersección Centenario-San Miguel
21. Intersección Prolongacion Pera-Av. Grau



22. Intersección Calle Santa Clara-Cascaparo
23. Intersección SemafORIZADA Calle Santa Clara-Consevidayoc
24. Intersección SemafORIZADA Calle Santa Clara-Mezon de la Estrella
25. Intersección Calle Granda-Calle Garcilazo
26. Intersección Calle Garcilazo-Heladeros
27. Intersección Calle San Juan de Dios-Calle Granada
28. Intersección Calle Heladeros-Portal Espinar
29. Intersección Calle Siete Cuartones-Calle Santa Teresa
30. Intersección Calle Teatro-Siete Cuartones
31. Intersección Tambo de Montero-Calle Sapi
32. Intersección Calle Teatro-Calle San Juan de Dios
33. Intersección Arones-Nueva Baja
34. Intersección Calle Nueva Alta-Calle Cenizas
35. Intersección Calle Nueva Baja-Calle Cenizas
36. Intersección Calle Union-Calle Santa Clara
37. Intersección General Buen Dia-Av. Ejército
38. Intersección Calle Nueva-Av. Apuríac
39. Intersección Calle Lechugal-Tres Cruces de Oro

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

La muestra seleccionada para esta investigación fueron las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas con alto tránsito vehicular en el polígono sectorizado del centro histórico de la ciudad del Cusco. Es una muestra censal ya que la muestra coincide con la población. En este sentido Ramírez (1997) afirma “La muestra censal es aquella donde todas las unidades de investigación son consideradas como muestra”

En este caso específico la muestra será de tipo censal, ya que las mismas intersecciones que componen la población serán también la muestra a analizar y estudiar. De acuerdo a las implicancias de la siguiente investigación, la muestra a estudiar es determinada por:

Características de tránsito y la circulación: son todos los datos obtenidos del tránsito mediante aforos manuales durante 1 hora diaria, del sistema vial en estudio para determinar el volumen, velocidad, composición y distribución direccional del tránsito.



Características físicas: Datos obtenidos de los componentes referentes a pendientes, número de carriles, ancho de carriles, longitud y pendiente del tramo.

Características de los sistemas de control: son todas las características y configuración de los sistemas semafóricos que regulan la circulación vehicular y que serán modificados en la fase de propuesta.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.

La muestra de la investigación coincidió con la población anteriormente establecida. Diecinueve áreas de estudio, cada intersección semaforizada y no semaforizada se detallan a continuación:

1. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo-Av. El Sol-Regional.
2. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo – Garcilazo de la Vega.
3. Intersección Semaforizada Av. Tullumayo- Plaza Limacpampa-Calle Zetas.
4. Intersección Av. Tullumayo-Calle Ruinas.
5. Intersección Calle Triunfo-Calle Santa Catalina Angosta.
6. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Calle Nueva.
7. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Calle Belén.
8. Intersección Semaforizada Calle Tres Cruces de Oro-Av. Grau.
9. Intersección Semaforizada Av. Grau-Calle Centenario.
10. Intersección Semaforizada Calle San Andrés-Calle Cuychipunco-Pardo.
11. Intersección Semaforizada Calle San Andrés-Ayacucho.
12. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Mantas.
13. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Afligidos-Ayacucho.
14. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Arrayan-Pte. Rosario
15. Intersección Semaforizada Av. El Sol-Calle Garcilazo
16. Intersección Semaforizada Calle Matara-Calle Ayacucho-Calle Belén
17. Intersección Semaforizada Calle Quera-Mesón de la Estrella-Calle Cruz Verde.
18. Intersección Semaforizada Calle Tecte-Calle Belén.
19. Intersección Pardo-Calle San Miguel

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo utilizado en el presente estudio es el NO PROBABILÍSTICO. Según (Hernández Sampieri, 2014), las muestras no probabilísticas, también llamadas



muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización. Se utilizan en diversas investigaciones cuantitativas y cualitativas. Seleccionan individuos o casos “típicos” sin intentar que sean estadísticamente representativos de una población determinada.

Son un conjunto de propiedades y características cuyo cumplimiento identifica el SISTEMA VIAL ANALISADO. Su objetivo es delimitar la población y muestra de la investigación. Los criterios a considerar son:

- Se delimitó el sistema vial como el conjunto de intersecciones a estudiar que están ubicadas en el centro histórico de la ciudad del cusco.
- Se tomaron los datos de vehículos que se encontraban en movimiento.
- Se tomaron datos de las características físicas de todo el tramo de vía contenido entre las intersecciones citadas.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

Se evaluaron las diecinueve intersecciones mediante los criterios expuestos por, Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010):

- Determinación de las características geométricas.
- Determinación de las características del tránsito.
- Determinación de las características semafóricas.

3.3.3. Criterios de Inclusión

Los criterios que determinamos para la inclusión son:

- Intersecciones viales que estén dentro de la tipología de intersecciones semaforizadas.
- Intersecciones viales que enlacen los sistemas viales más importantes de la ciudad del Cusco.
- Intersecciones viales con gran flujo vehicular (demanda).
- Intersecciones viales que ofrezcan mayor infraestructura vial (oferta).

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

3.4.1.1. Ficha de aforo vehicular.



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

Tabla 8

Formato de conteo

FORMATO DE CONTEO VEHICULAR											
UNICACIÓN		SENTIDO		DIA		TURNO		PERSONA QUE AFORO			
Av. Tulumayo - Calle Ruinas		SUR - NOROCC		MAYNAND		MAYNAND		CARLOS MIGUEL VEREBO PHIMD			
HORA	Auto movil	Station Wagon	Camio Pickup	Camio Rural	Micro	Omnibus		Camion	Moto	Moto	Moto
						2E LIGERO	2E PESADO				
7:00	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
7:15	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Δm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7:15	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
7:30	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Δm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TOTAL											

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2. Ficha de características geométricas.

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

Tabla 9

Formato de ficha de características geométricas de la vía



CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE CIRCULACION						
ACCESO HACIA EL	NUMERO DE CARRIL	ANCHO CARRIL (m)	V. PESADOS (veh)	GIROS IZQ. (veh)	LONGITUD DE COLA (VEH.)	TIPO DE LLEGADA
NORTE						
SUR						
ESTE						
OESTE						
ACCESO HACIA EL	PENDIENTE (%)	ESTACIONAMIENTO		PARADEROS		FLUJO PEATONAL
		S o N	Nm	S o N	Autobuses	
NORTE						
SUR						
ESTE						
OESTE						

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Ficha de características semafóricas de la vía.

Nos permitió realizar inventario vial semafórico para obtención de datos referentes a la señalización tanto horizontal como vertical.

Tabla 10

Formato de ficha de características semafóricas de la vía

ACCESO HACIA EL	MOV.	CICLO SEMAFÓRICO				
		VERDE	AMBAR	ALL RED	PERMITIDO	EXCLUSIV
NORTE						
SUR						
ESTE						
OESTE						

Fuente: Elaboración propia



3.4.2. Instrumentos de Ingeniería:

3.4.2.1. Cámara Filmadora, Cámara Fotográfica, Cinta métrica, Eclímetro.

Este instrumento se usó para registrar los flujos vehiculares y peatonales, fue necesario instalar una cámara filmadora con su respectivo trípode estratégicamente con la finalidad de registrar los movimientos vehiculares en hora pico.



Figura 23. Cámara



Figura 24. Gopro Hero4



Figura 25. Instrumento de Recolección de Datos: Cinta métrica

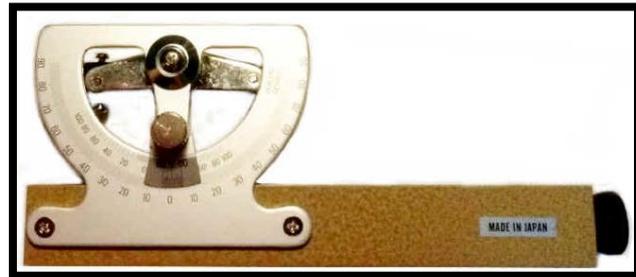


Figura 26. Instrumento de Recolección de Datos: Eclímetro

Fuente: Google – Imágenes

3.4.2.2. Synchro 8 Educativa.

Synchro es un software Trafficware que permite modelar, optimizar, gestionar y simular los tiempos de semáforos en intersecciones y arterias viales a un nivel macroscópico.



Para el cálculo de la relación volumen-capacidad (v/c), Synchro incorpora todos los ajustes y estimaciones del Highway Capacity Manual 2010, pero adicionalmente provee un método alternativo denominado ICU (Intersection Capacity Utilization).

3.4.2.3. Software de apoyo: AutoCAD.

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

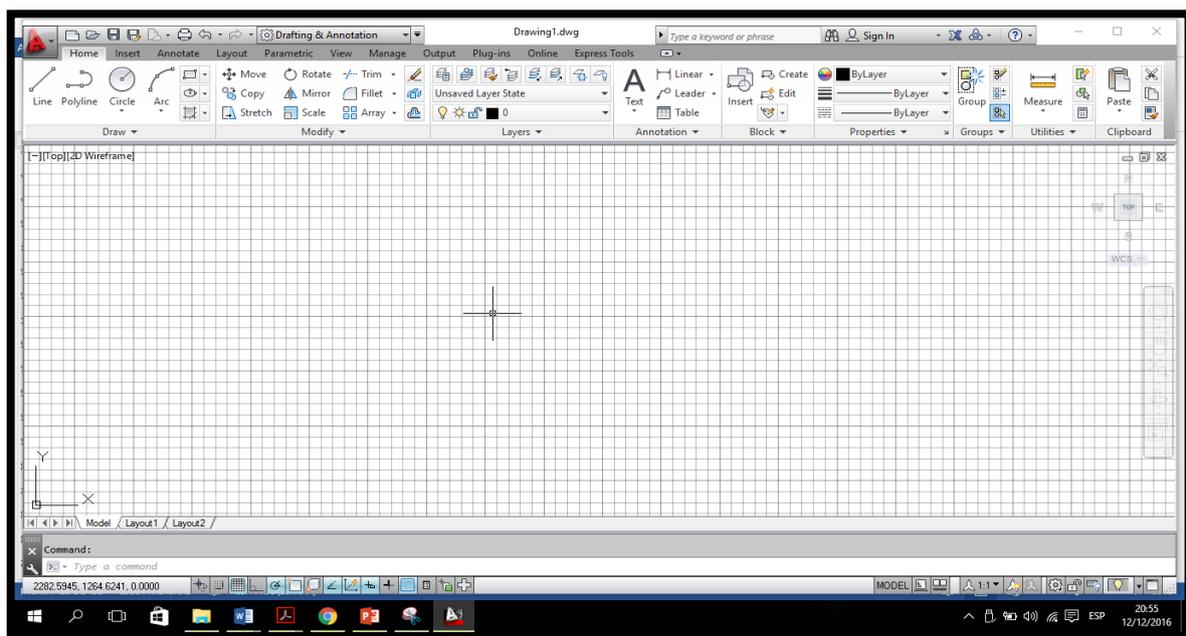


Figura 27. Toma de pantalla del Software AutoCAD

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1. Codificación de Movimientos Vehiculares

En las intersecciones de estudio se identificaron los sentidos de circulación con el fin de unificar los movimientos vehiculares y codificar los ramales de ingreso a cada intersección, esto facilitó el procesamiento de datos. La nomenclatura utilizada se observa en los siguientes gráficos.

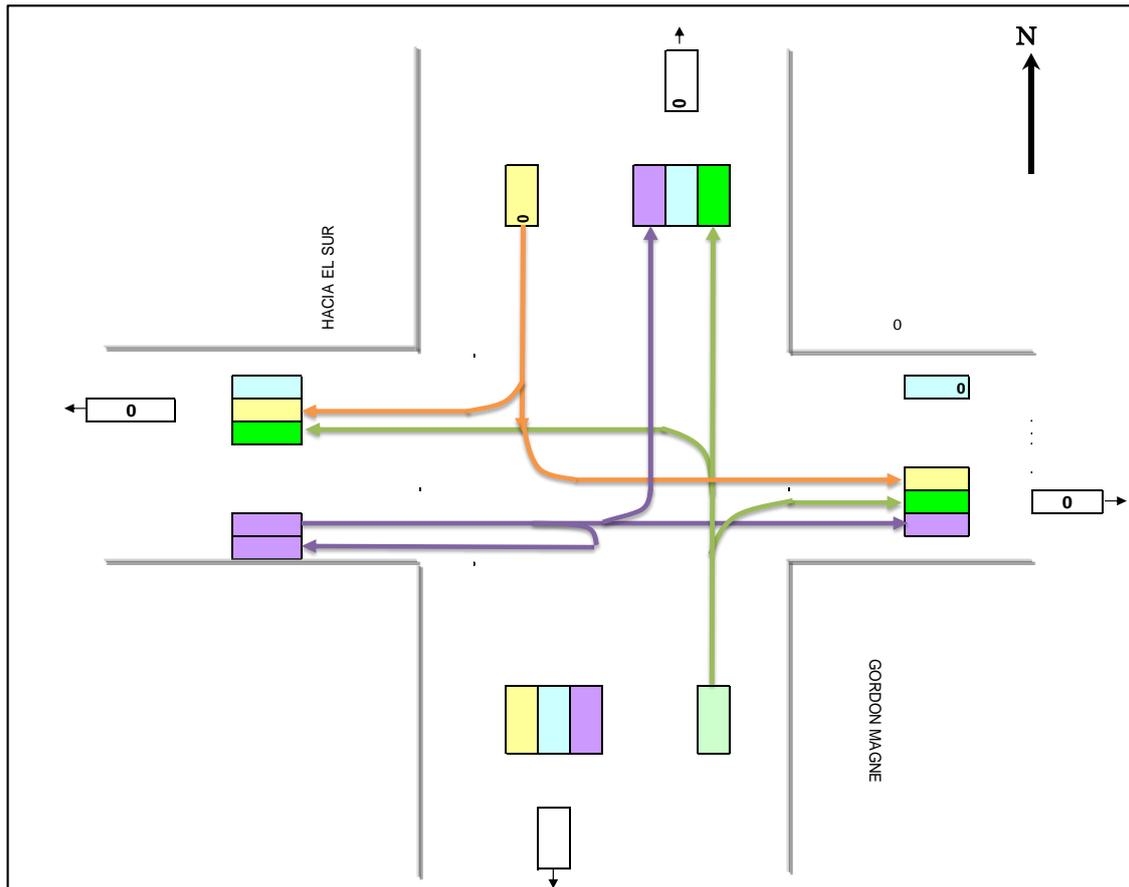


Figura 28. Codificación de movimientos vehiculares

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Registro Fílmico

A efectos de obtener una muestra adecuada se consideró realizar el aforo vehicular durante los siete días de la semana de manera tal que se pudo estudiar el comportamiento del flujo vehicular en cada intersección y así poder determinar el día considerado como representativo.

Se realizó los registros fílmicos en los periodos de: 7:00 am – 8:00 am. Se buscó tener información detallada de diferentes horas del día para corroborar las horas punta y así obtener información de primera mano de la vía y sus condiciones de mayor flujo vehicular.

Cabe mencionar que los aforos vehiculares y peatonales se realizaron en el mes de junio del 2019.



Con el registro fílmico se procedió a evaluar cada movimiento vehicular y peatonal para registrarlos en las fichas de aforo.

3.5.3. Recolección de volúmenes vehiculares.

La finalidad de los aforos de los volúmenes vehiculares fue establecer la capacidad vial y el nivel de servicio que presentan las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas del sistema vial del Centro Histórico de la ciudad del Cusco y sus vías aledañas; por medio de estos aforos se obtuvo:

- Clasificación vehicular (livianos, pesados).
- Puntos de conflicto
- Movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas en intervalos de tiempo.
- Volúmenes vehiculares.
- El ensayo de volúmenes vehiculares estuvo orientado a la obtención de los siguientes objetivos:

...” Cuantificación de la demanda de tránsito vehicular que circula por una sección transversal de una vía, durante un periodo determinado.”

Tabla 11

Recolección de volúmenes vehiculares.

CONTEO VEHICULAR DÍA													
UBICACIÓN		AV.Tulumayo - Av.Sol - Regional						SENTIDO		De Sur - Norte			
PUNTO DE CONFLICTO		Interseccion Semaforizada de AV.Tulumayo Regional						DIA					
PERSONA QUE AFORO		Carlos Miguel Vereao Palma						TURNO		MAÑANA			
HORA	Auto movil	Station Wagon	Cmta Pickup	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camion			Moto		
						2E LIGERO	2E PESADO	2E Liviano	3E	4E		5E	6E
07:00 - 07:15	115	95	30	25	24	0	0	4	0	0	0	0	7
07:15 - 07:30	109	88	31	21	22	0	0	5	0	0	0	0	6
07:30 - 07:45	102	72	29	21	21	0	0	4	0	0	0	0	5
07:45 - 08:00	100	68	28	19	19	0	0	6	0	0	0	0	4
SUB TOTAL	426	323	118	86	86	0	0	19	0	0	0	0	22
CONTEO VEHICULAR DÍA													
UBICACIÓN		AV.Tulumayo - Av.Sol - Regional						SENTIDO		De Sur - Norte			
PUNTO DE CONFLICTO		Interseccion Semaforizada de AV.Tulumayo Regional						DIA					
PERSONA QUE AFORO		Carlos Miguel Vereao Palma						TURNO		MAÑANA			
HORA	Auto movil	Station Wagon	Cmta Pickup	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camion			Moto		
						2E LIGERO	2E PESADO	2E Liviano	3E	4E		5E	6E
07:00 - 07:15	14	13	9	6	7	0	0	4	0	0	0	0	3
07:15 - 07:30	12	10	6	5	6	0	0	3	0	0	0	0	2
07:30 - 07:45	10	9	7	3	5	0	0	1	0	0	0	0	3
07:45 - 08:00	12	11	5	3	6	0	0	3	0	0	0	0	1
SUB TOTAL	48	43	27	17	24	0	0	11	0	0	0	0	9
CONTEO VEHICULAR DÍA													
UBICACIÓN		AV.Tulumayo - Av.Sol - Regional						SENTIDO		De Sur - Norte			
PUNTO DE CONFLICTO		Interseccion Semaforizada de AV.Tulumayo Regional						DIA					
PERSONA QUE AFORO		Carlos Miguel Vereao Palma						TURNO		MAÑANA			
HORA	Auto movil	Station Wagon	Cmta Pickup	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camion			Moto		
						2E LIGERO	2E PESADO	2E Liviano	3E	4E		5E	6E
07:00 - 07:15	64	53	19	9	19	0	0	5	0	0	0	0	4
07:15 - 07:30	56	46	17	7	16	0	0	3	0	0	0	0	3
07:30 - 07:45	43	37	12	5	14	0	0	4	0	0	0	0	4
07:45 - 08:00	41	29	17	8	15	0	0	2	0	0	0	0	2
SUB TOTAL	204	165	71	29	64	0	0	14	0	0	0	0	13



3.5.4. Recolección de características geométricas y semafóricas de la vía.

Para poder obtener los datos reales de la infraestructura vial se realizó un inventario vial de campo, como también de igual forma se obtuvo los tiempos en verde, ámbar y rojo en cada semáforo considerando una serie de características las cuales fueron:

- Sentido de circulación
- Ancho de calzada
- Pendiente de calzada (%)
- N° de carriles
- Ancho de carriles

Los datos obtenidos fueron introducidos a la ficha correspondiente de características geométricas:

Tabla 12

Características geométricas y semafóricas, Intersección N° 01

UNIVERSIDAD/FACULTAD	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	FECHA		CONDICIONES GEOMETRICAS Y DE CIRCULACION						
INTERSECCION	Av. Tullumayo/Av. Sol/Av. Regional	AREA	CBD	ACCESO HACIA EL	NUMERO DE CARRIL	ANCHO CARRIL (m)	V. PESADOS (veh)	GIROS IZQ. (veh)	LONGITUD DE COLA (VEH.)	TIPO DE LLEGADA
PROYECTO	"ANALISIS DE LA CIRCULACION Y PROPUESTA DE PLANIFICACION VIAL EN LAS PRINCIPALES INTERSECCIONES UBICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DEL CUSCO"			ACCESO HACIA EL	PENDIENTE (%)	ESTACIONAMIENTO		PARADEROS		FLUJO PEATONAL
	NORTE	1	3.55	NO				179		
	NORTE	2	3.55	NO						
	SUR	5	3	NO						
	SUR	6	3	NO						
	ESTE	3	3	NO			248			
	ESTE	4	3	NO						
	OESTE	7					145			
	OESTE	8								
	NORTE	3.00%	N	0	NO					
	SUR	4.00%	N	0	NO					
	ESTE	2.00%	N	0	NO					
	OESTE	3.00%	N	0	NO					
	NORTE	2	35	3	56					
	SUR	5	20	3	71					
	ESTE	7	25	3	67					
	OESTE	4	40	3	20					



3.6. Procedimientos de Análisis de Datos

3.6.1. Determinación de la variación diaria y Horaria

3.6.1.1. Variación Diaria.

En la que se registra la distribución diaria de los volúmenes vehiculares, para determinación del día con mayor demanda.

Variación diaria de la Intersección No SemafORIZADA de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco:



Figura 29. Variación diaria de la intersección de las calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.

Fuente: Análisis del impacto vial por el cierre de la Plaza San Francisco – Ruben Barazorda.

Como se puede apreciar en la figura el día de mayor demanda vehicular es el día MARTES.

3.6.1.2. Variación Horaria.

En la que se registra la distribución horaria de los volúmenes vehiculares, para determinación de la hora de con mayor demanda.

Variación horaria de la Intersección No SemafORIZADA de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco:



Tabla 13

Volúmenes Horarios de la Intersección N° 05 de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.

VOLUMENES DIARIOS	7:00-	8:00-	9:00-	12:00-	1:00-	2:00-	4:00-	5:00-	6:00-
	8:00	9:00	10:00	1:00	2:00	3:00	5:00	6:00	7:00
	490	463	530	615	569	561	572	595	601

Fuente: Análisis del impacto vial por el cierre de la Plaza San Francisco – Ruben Barazorda.

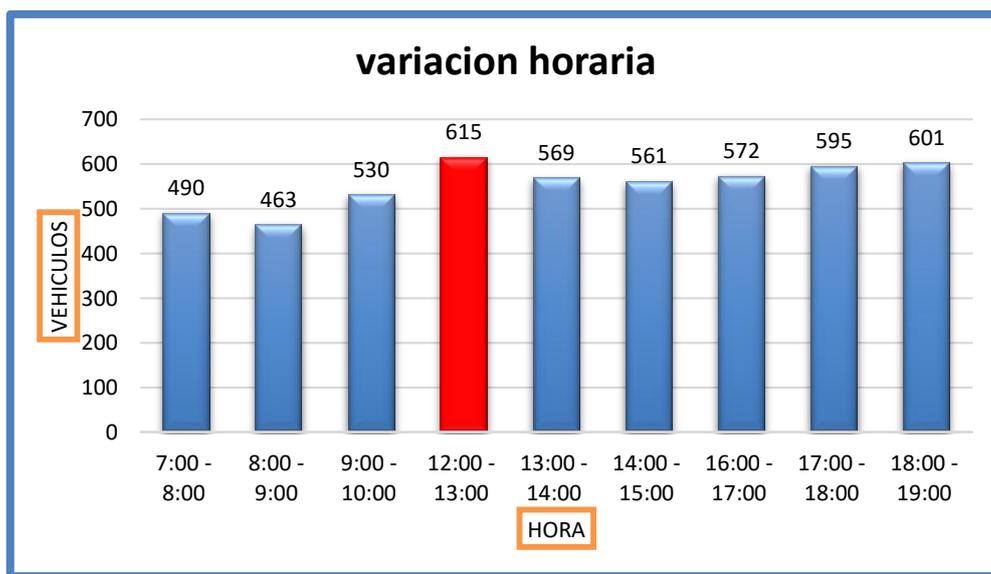


Figura 30. Variación horaria de la Intersección N° 05 de las Calles Mesón de la Estrella – Calle Marquez – Plaza San Francisco.

Fuente: Análisis del impacto vial por el cierre de la Plaza San Francisco – Ruben Barazorda.

Como se puede apreciar en la figura la hora de mayor demanda vehicular es de 12:00 – 13:00 PM.

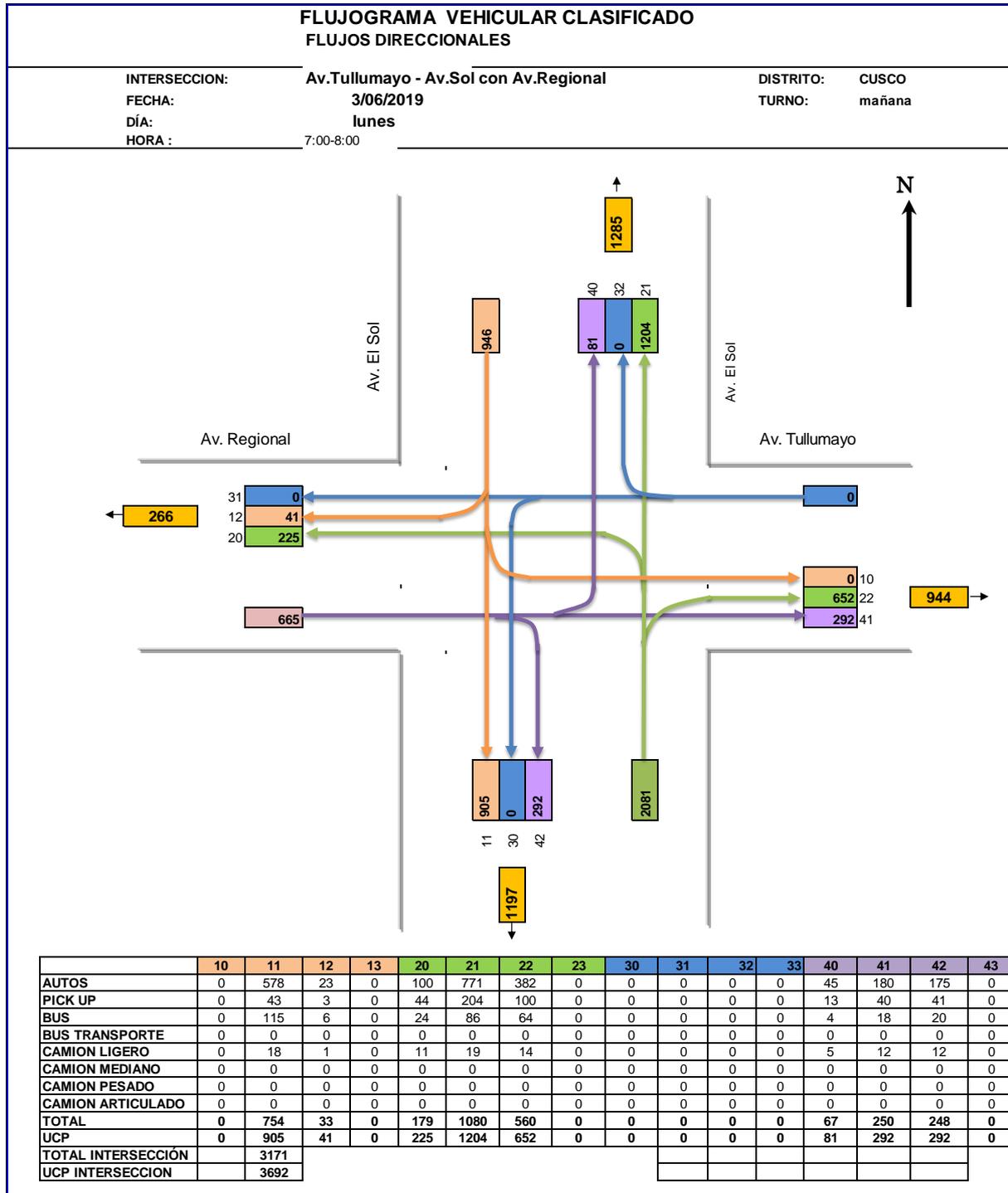


3.6.2. Determinación De Volúmenes Vehiculares por Sentido:

Tabla 14

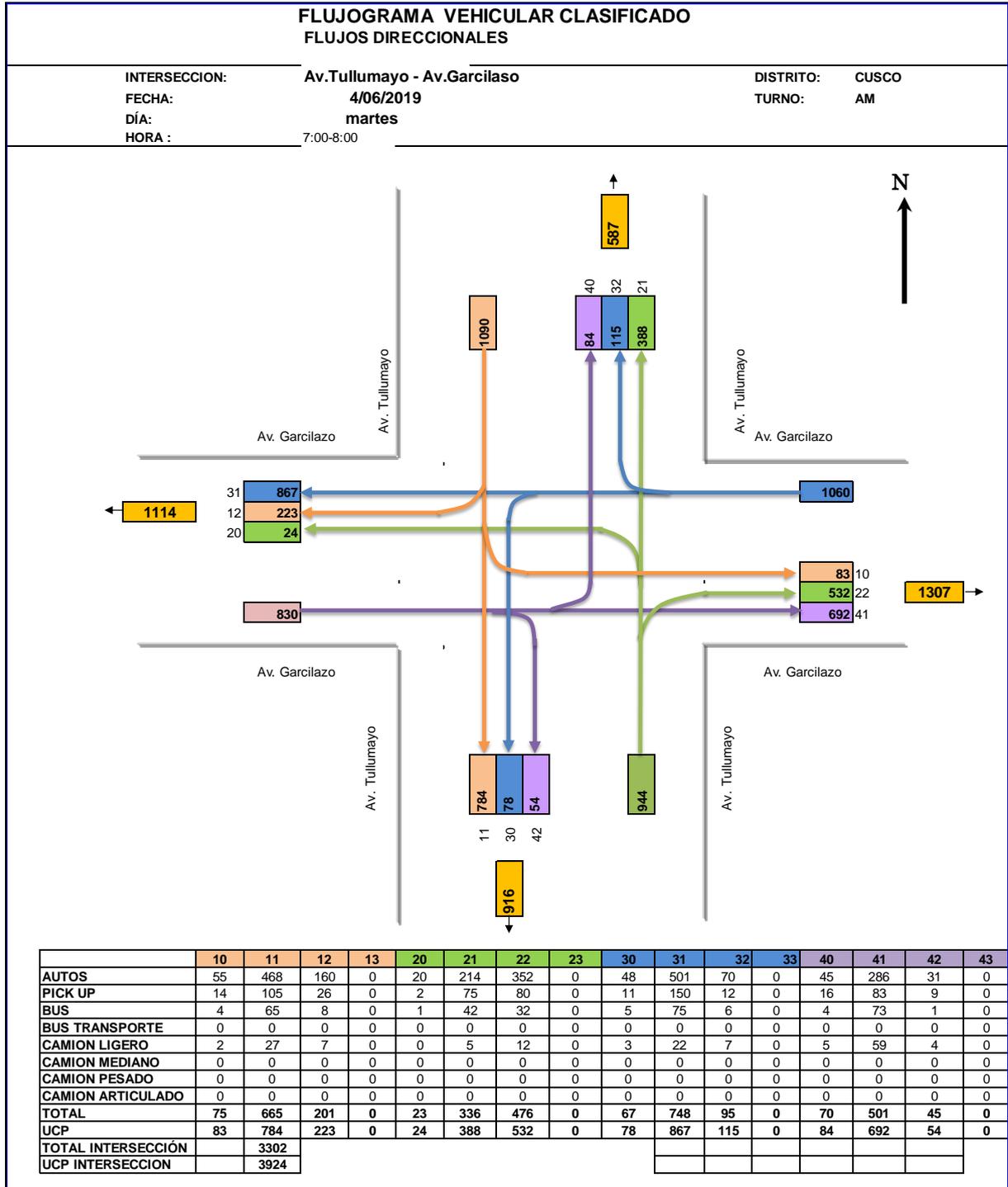
Volúmenes Vehiculares de la Intersección

1. Av. Tullumayo – Av. El Sol – Av. Regional



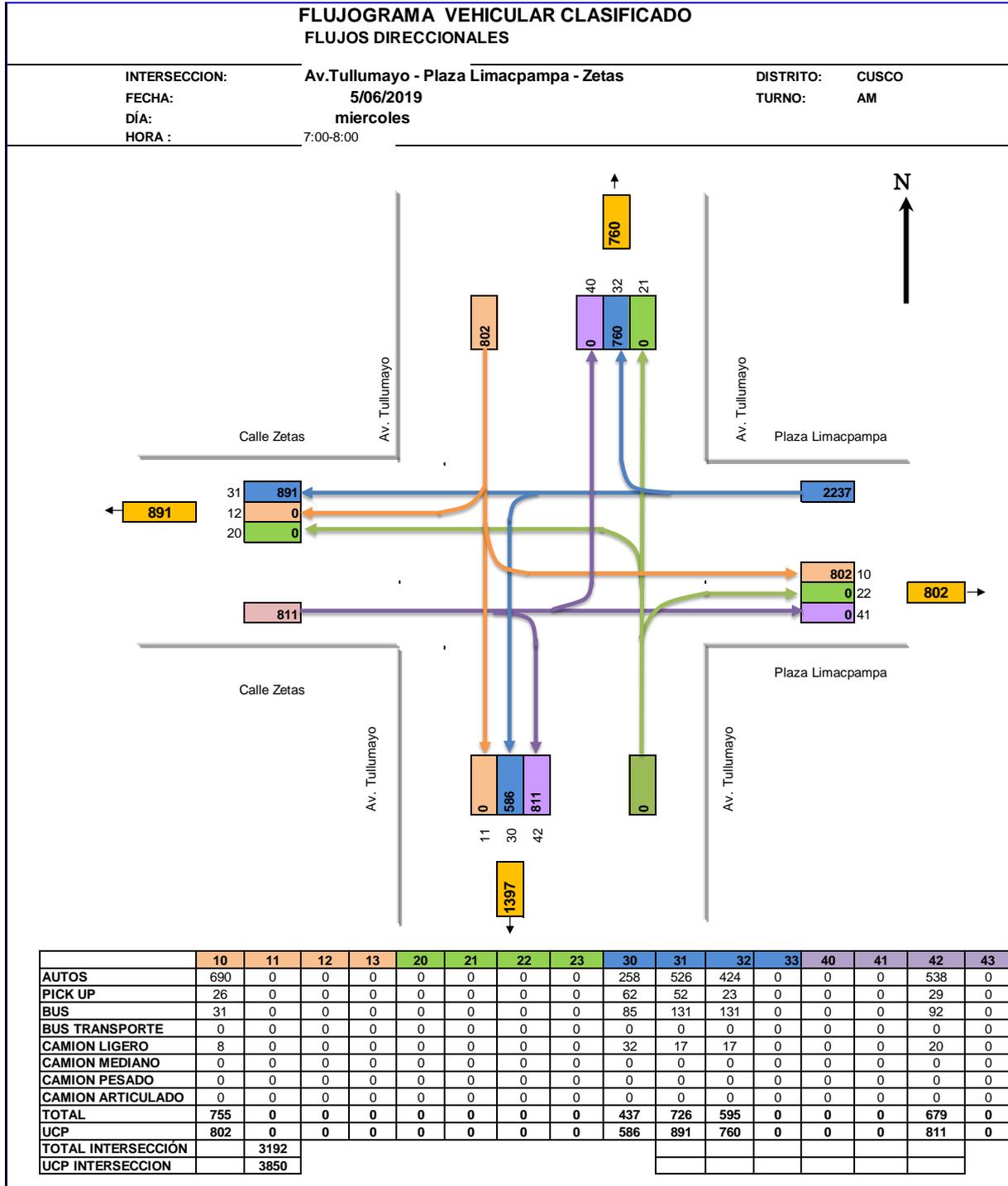


2. Av. Tullumayo – Av. Garcilazo



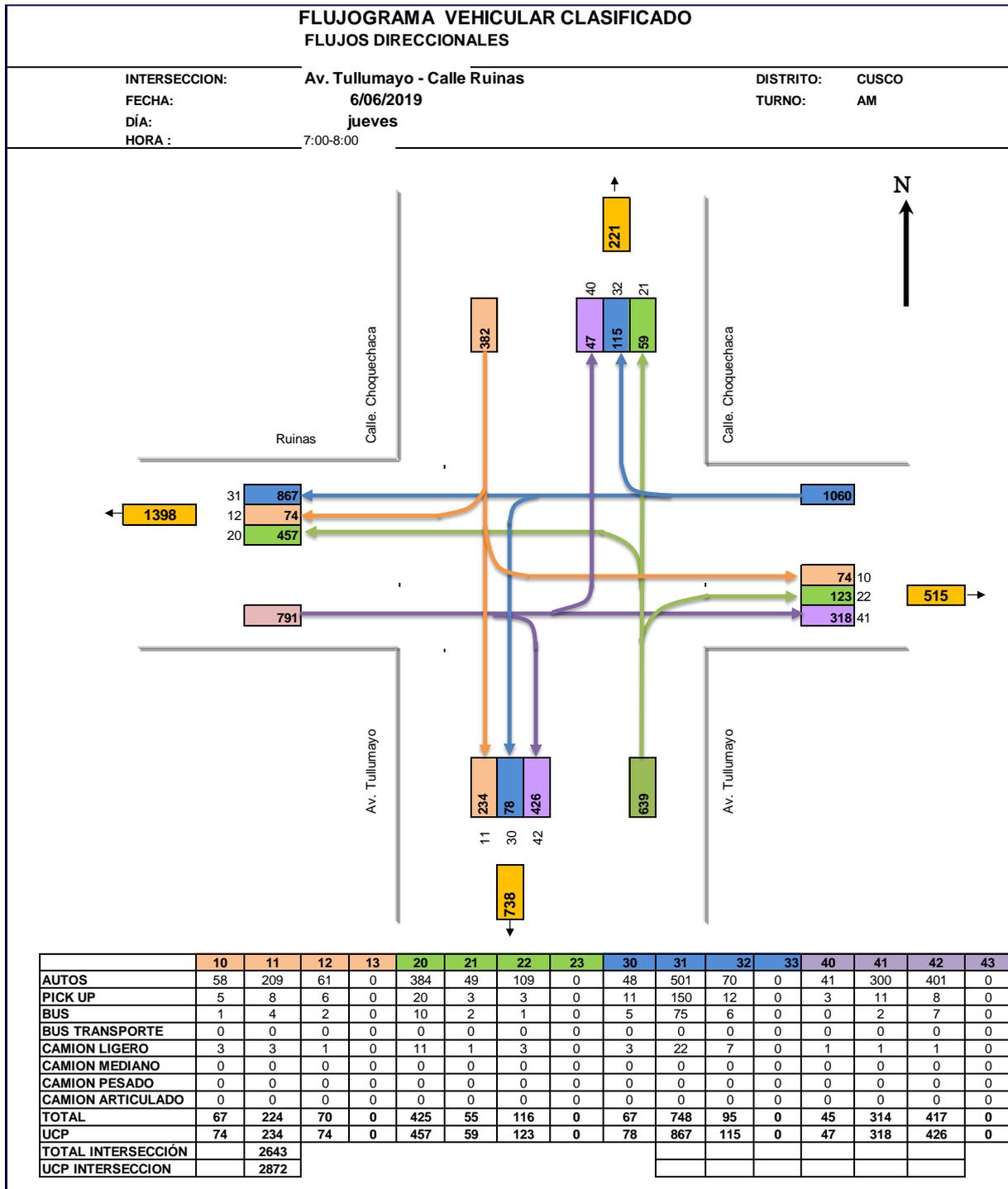


3. Av. Tulumayo – Plaza Limacpampa – Calle Zetas



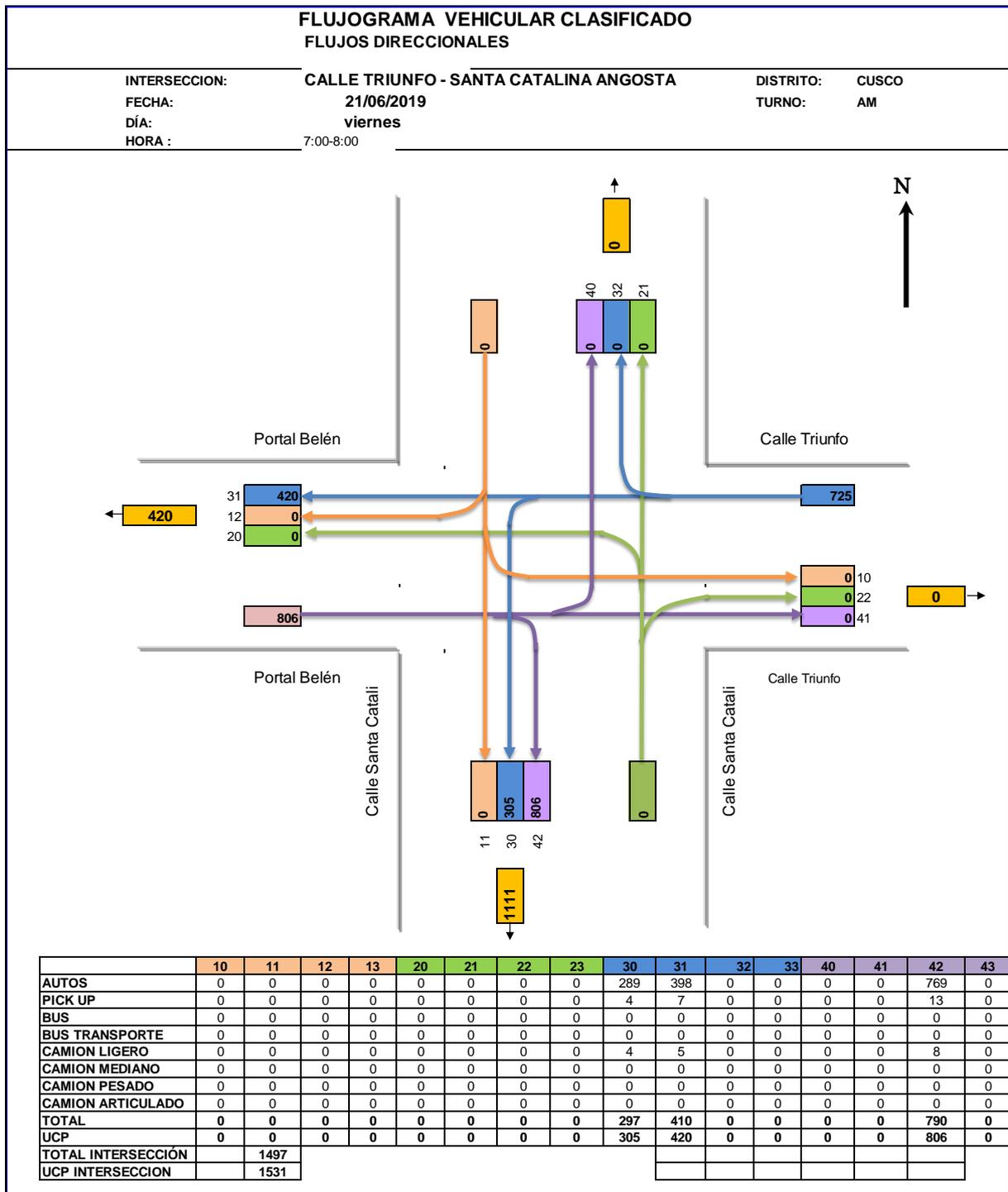


4. Av. Tullumayo – Calle Ruinas



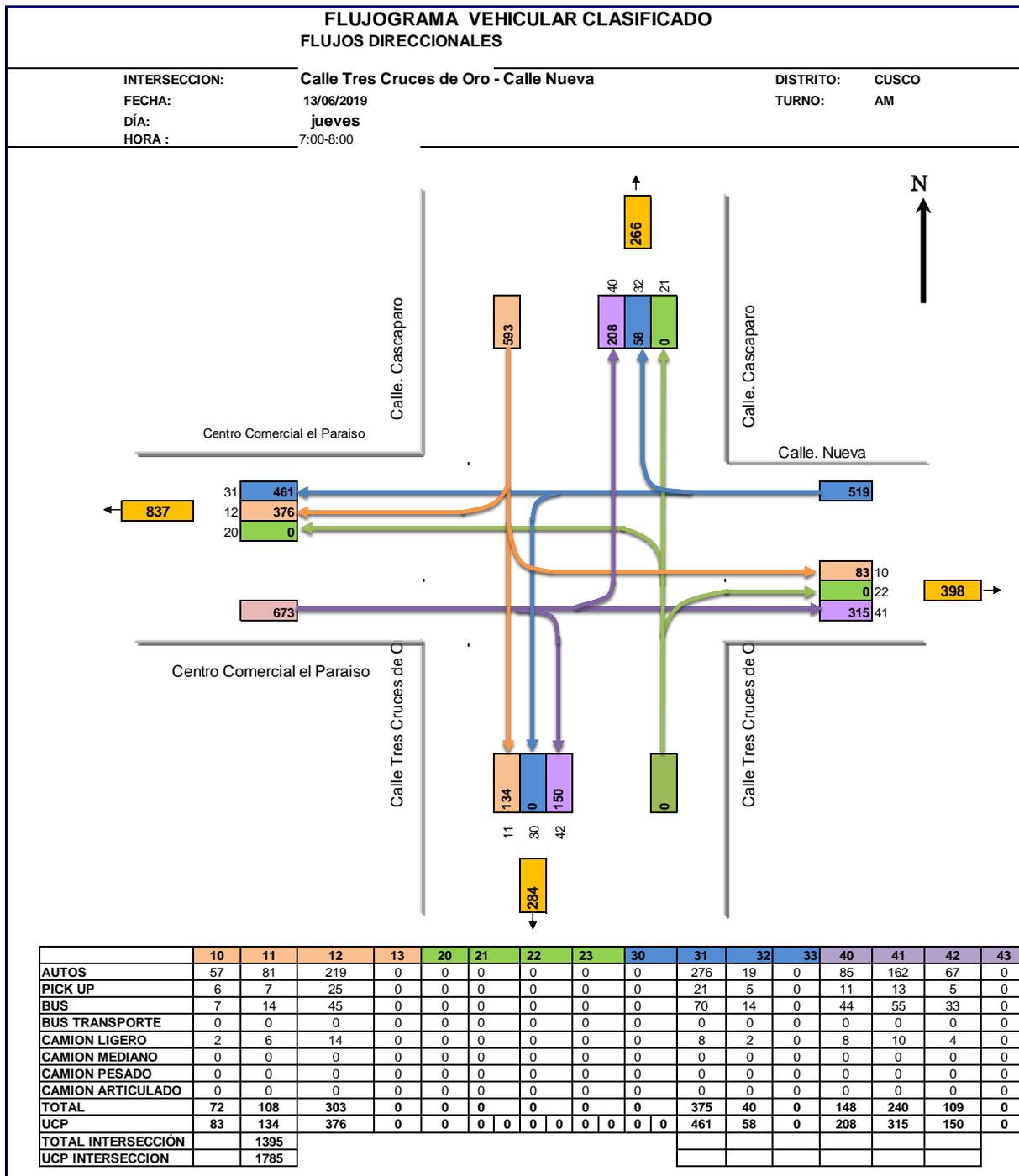


5. Calle Triunfo – Calle Santa Catalina



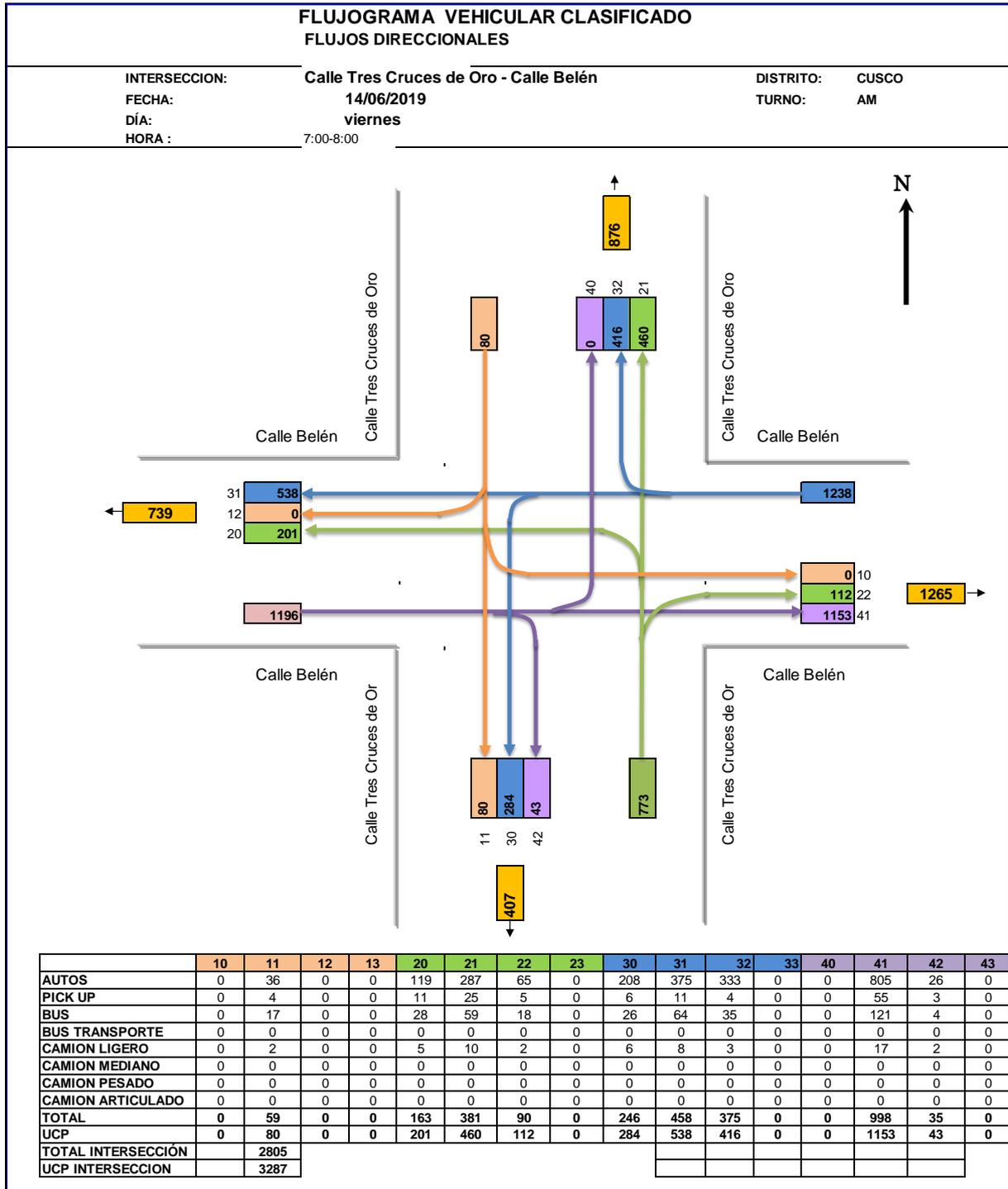


6. Calle Tres de Oro – Calle Nueva



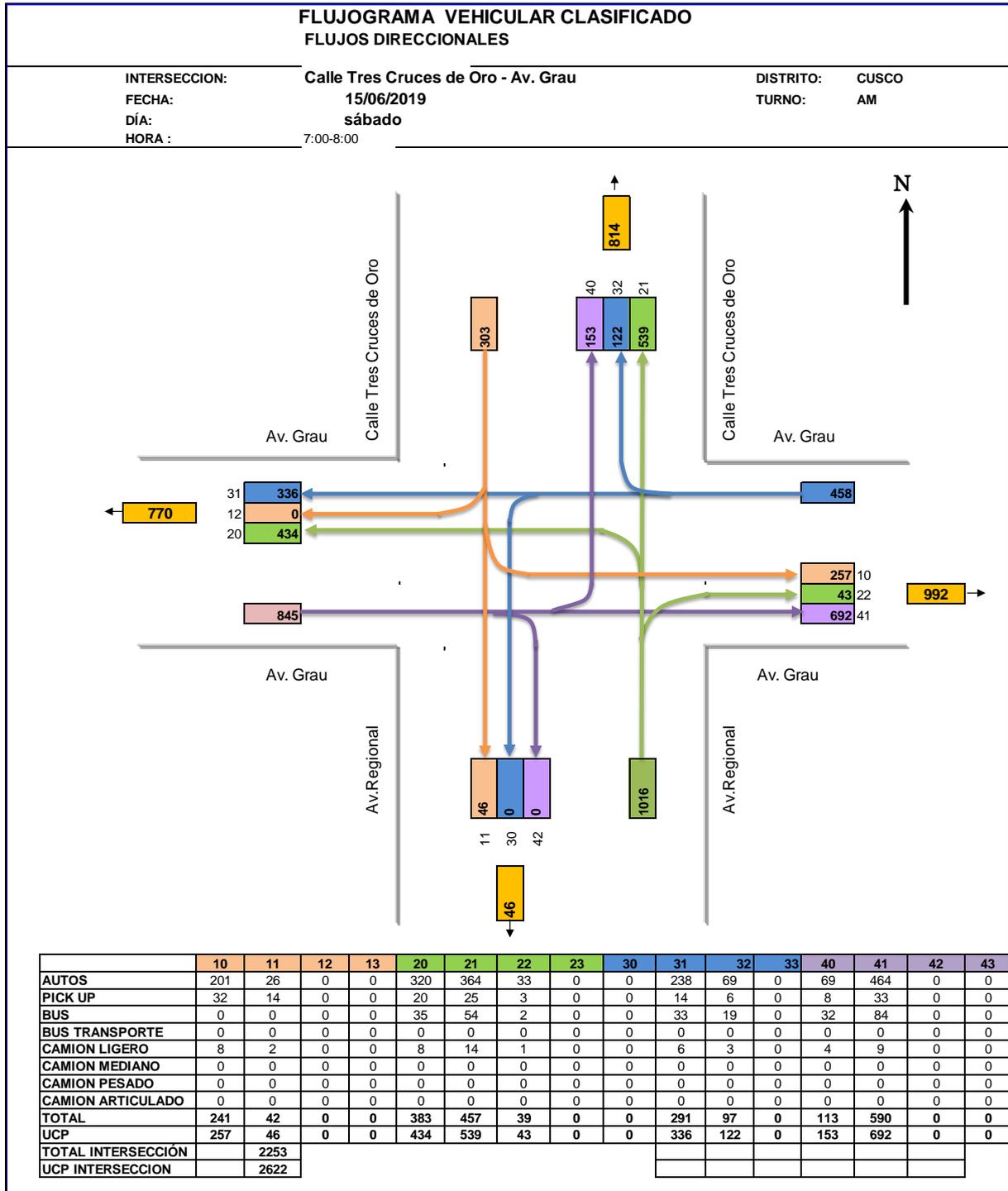


7. Calle Tres Cruces de Oro – Calle Belén



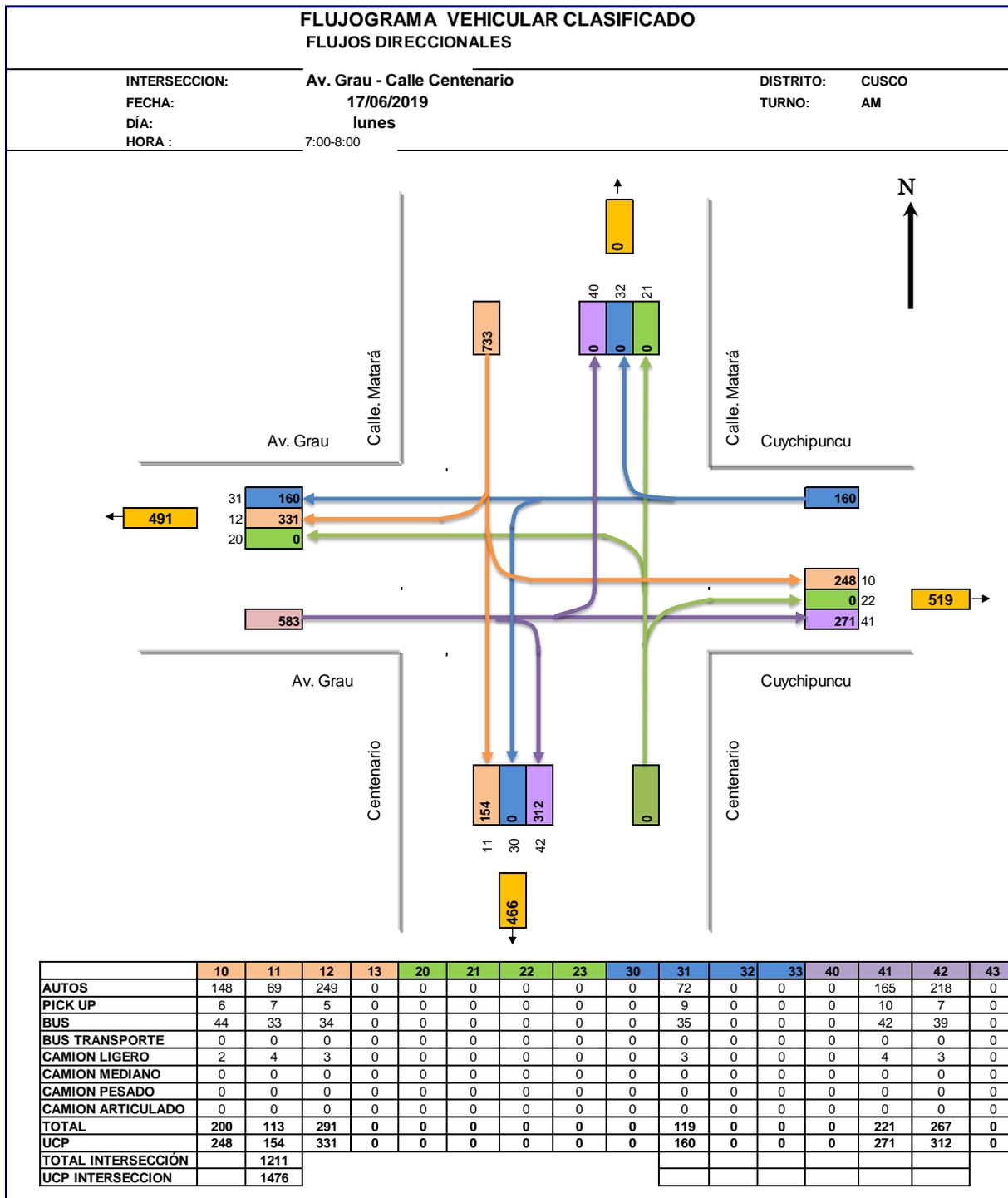


8. Calle Tres Cruces de Oro – Av. Grau



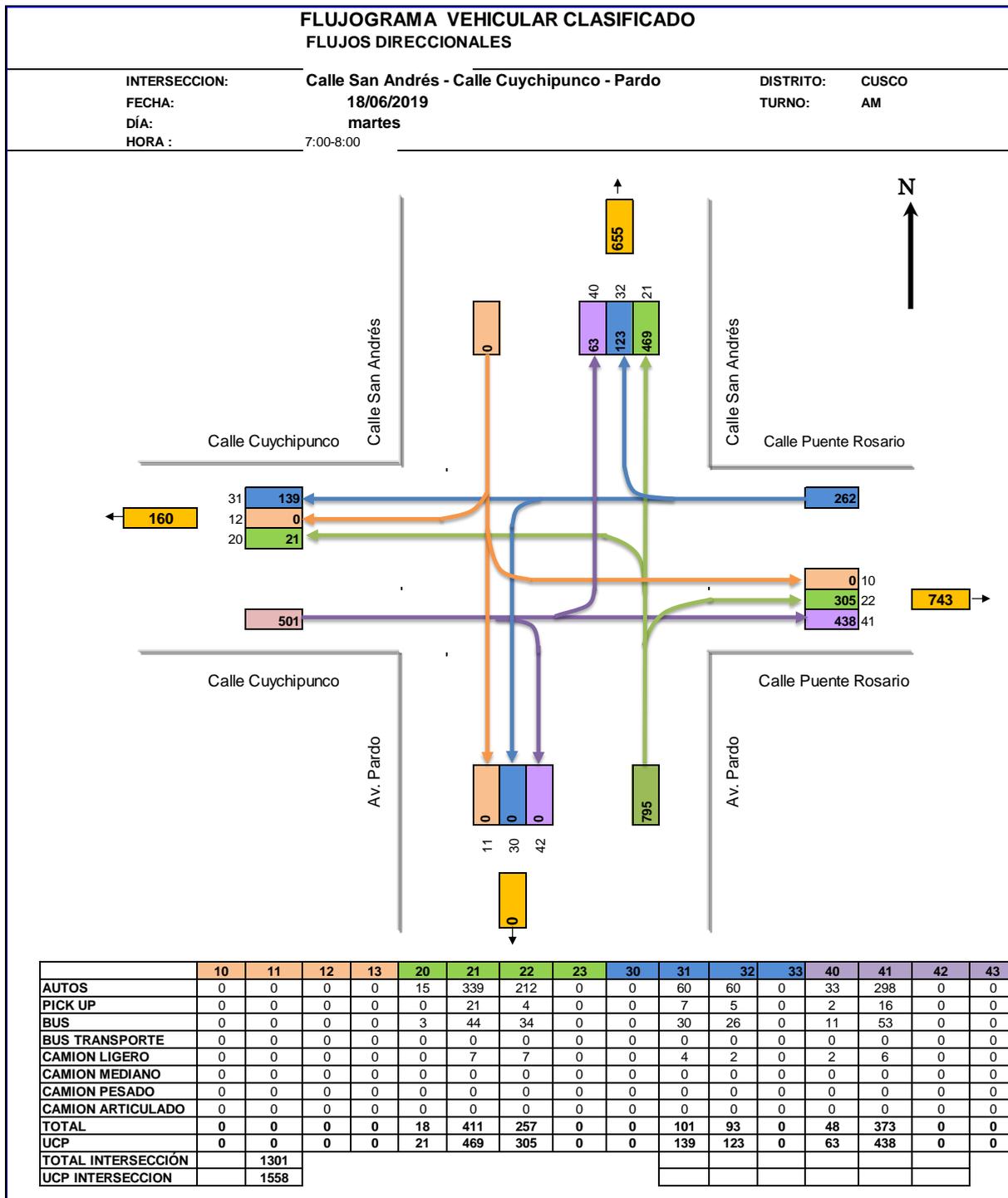


9. Av. Grau – Calle Centenario



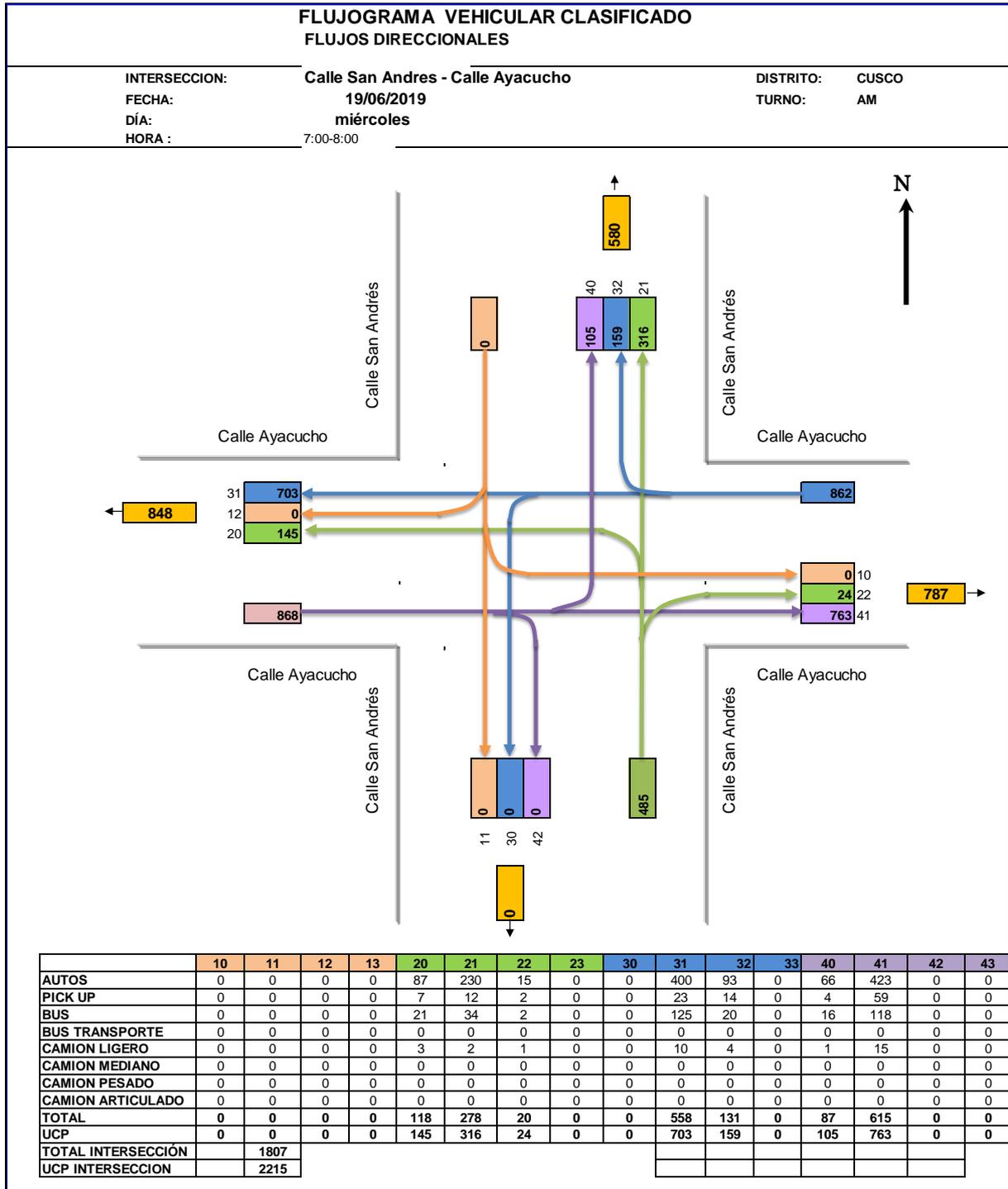


10. Calle San Andrés – Calle Cuychipunco – Av. Pardo



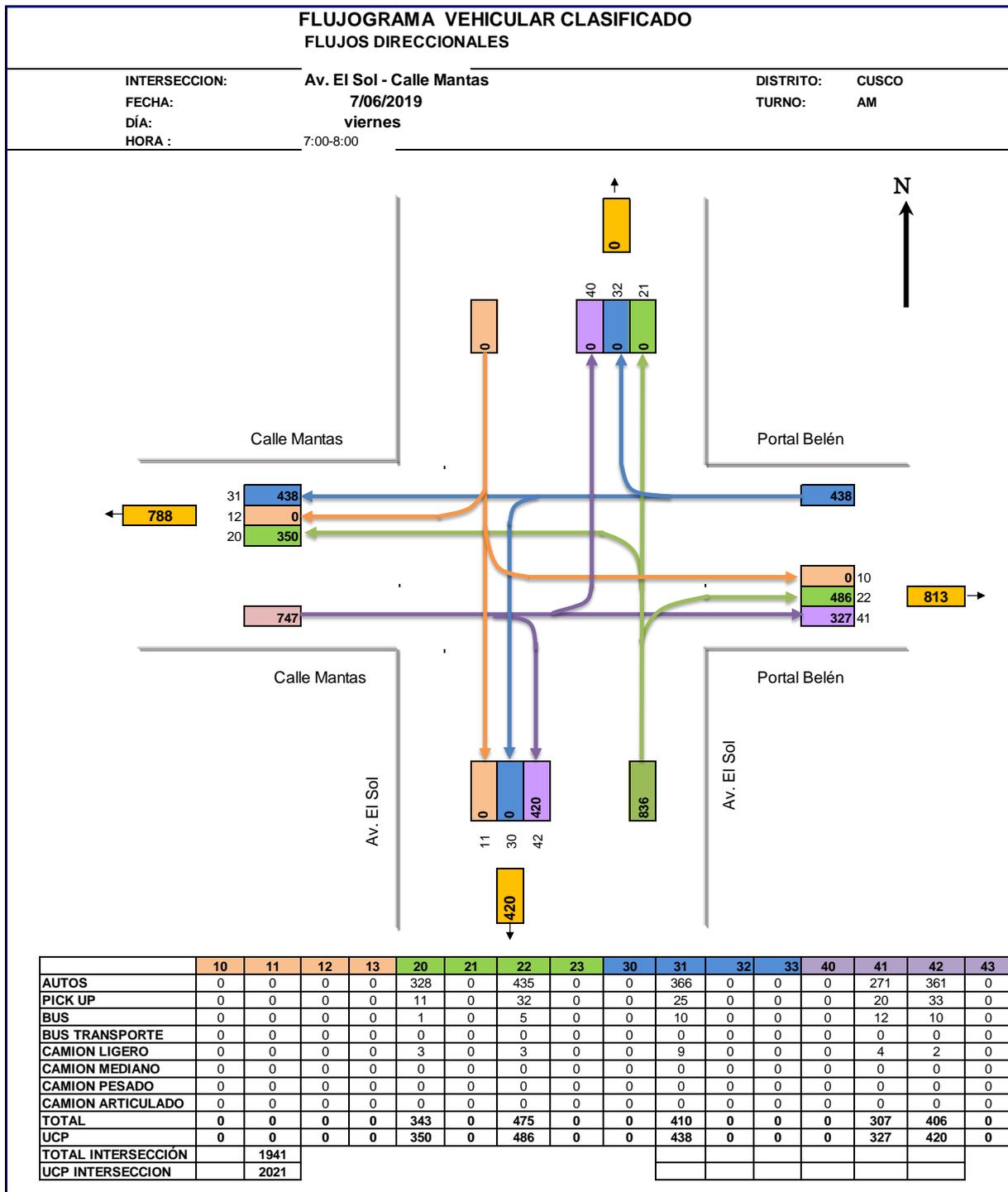


11. Calle San Andrés – Calle Ayacucho



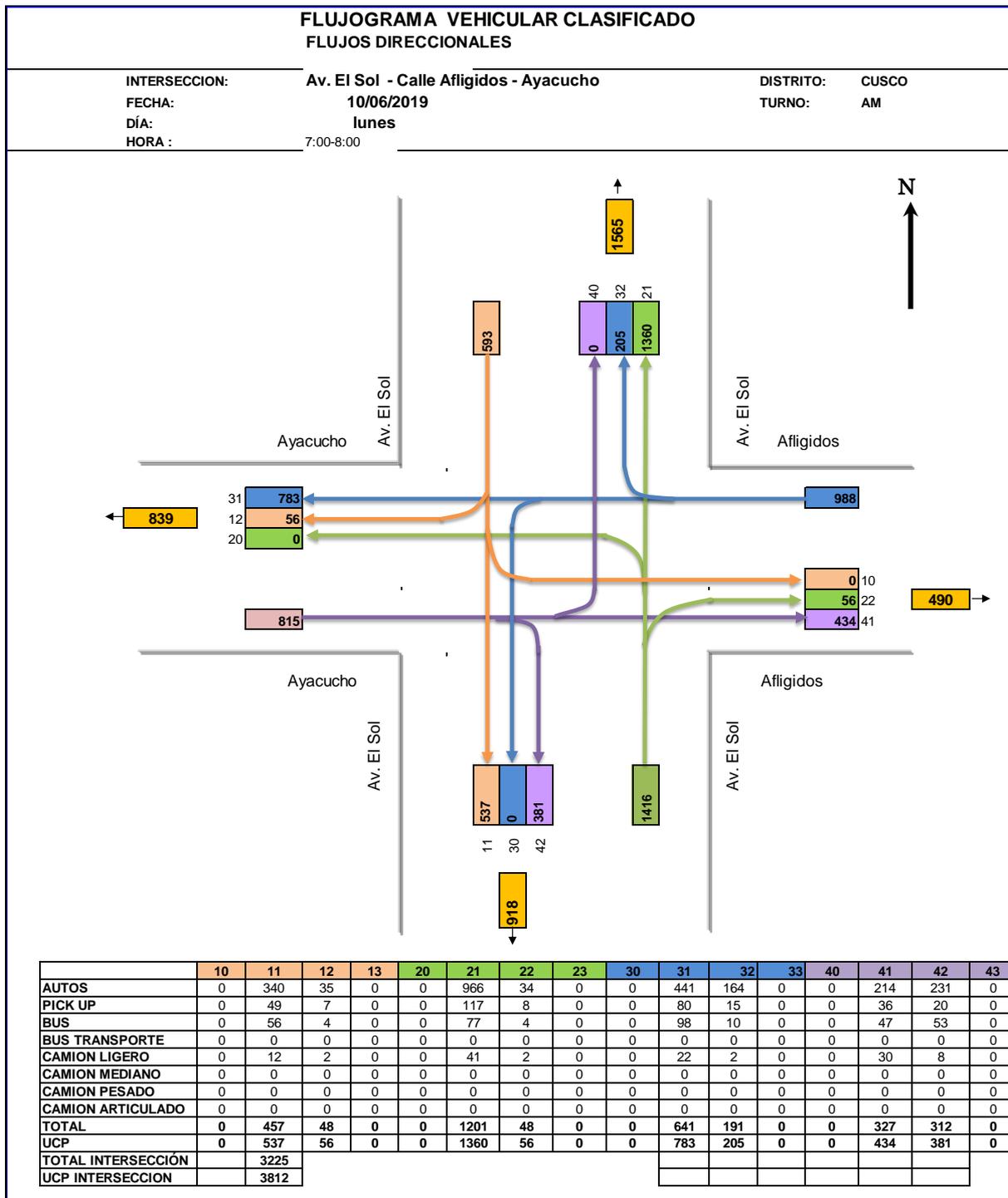


12. Av. El Sol – Calle Mantas



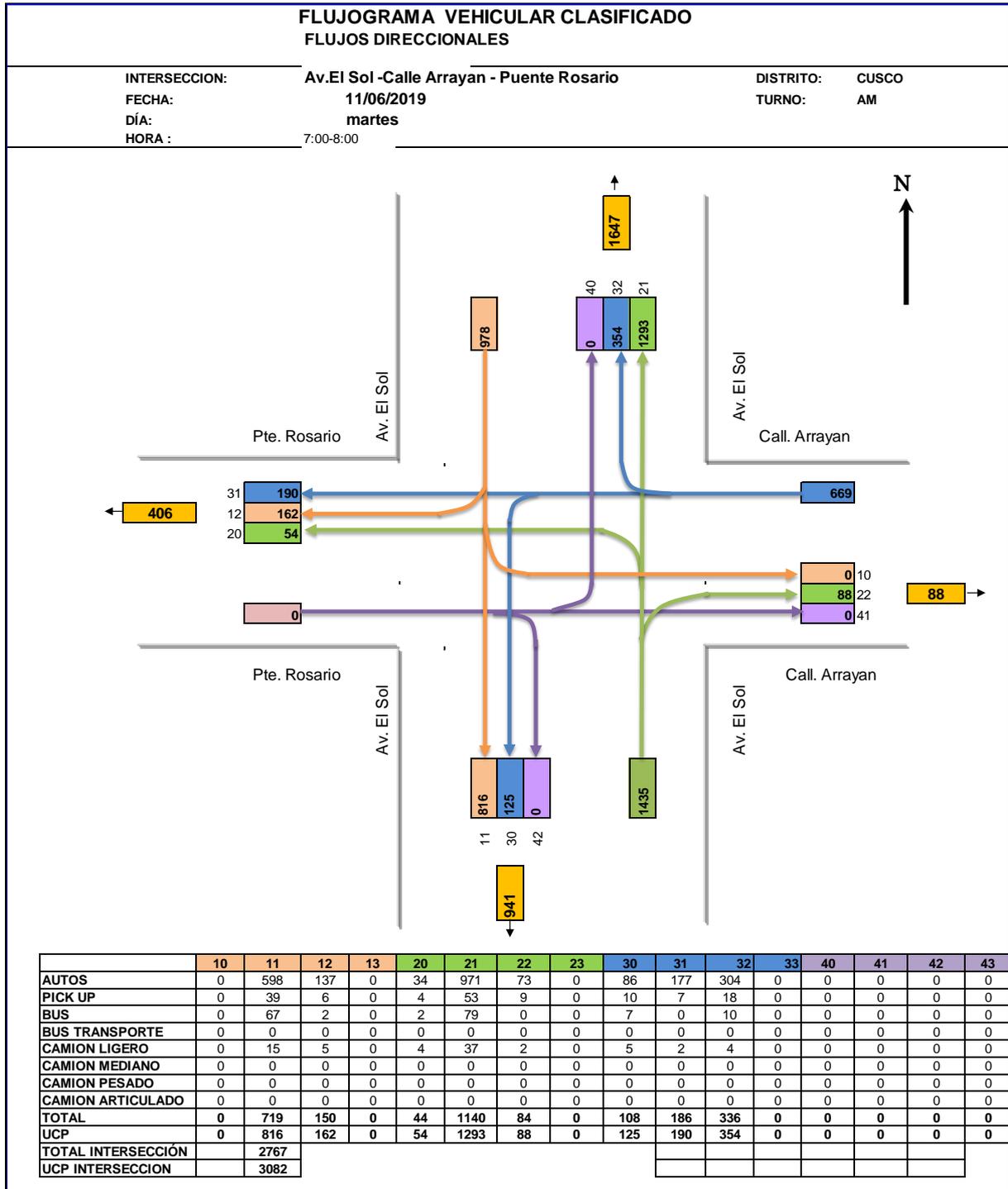


13. Av. El Sol – Calle Afligidos - Ayacucho



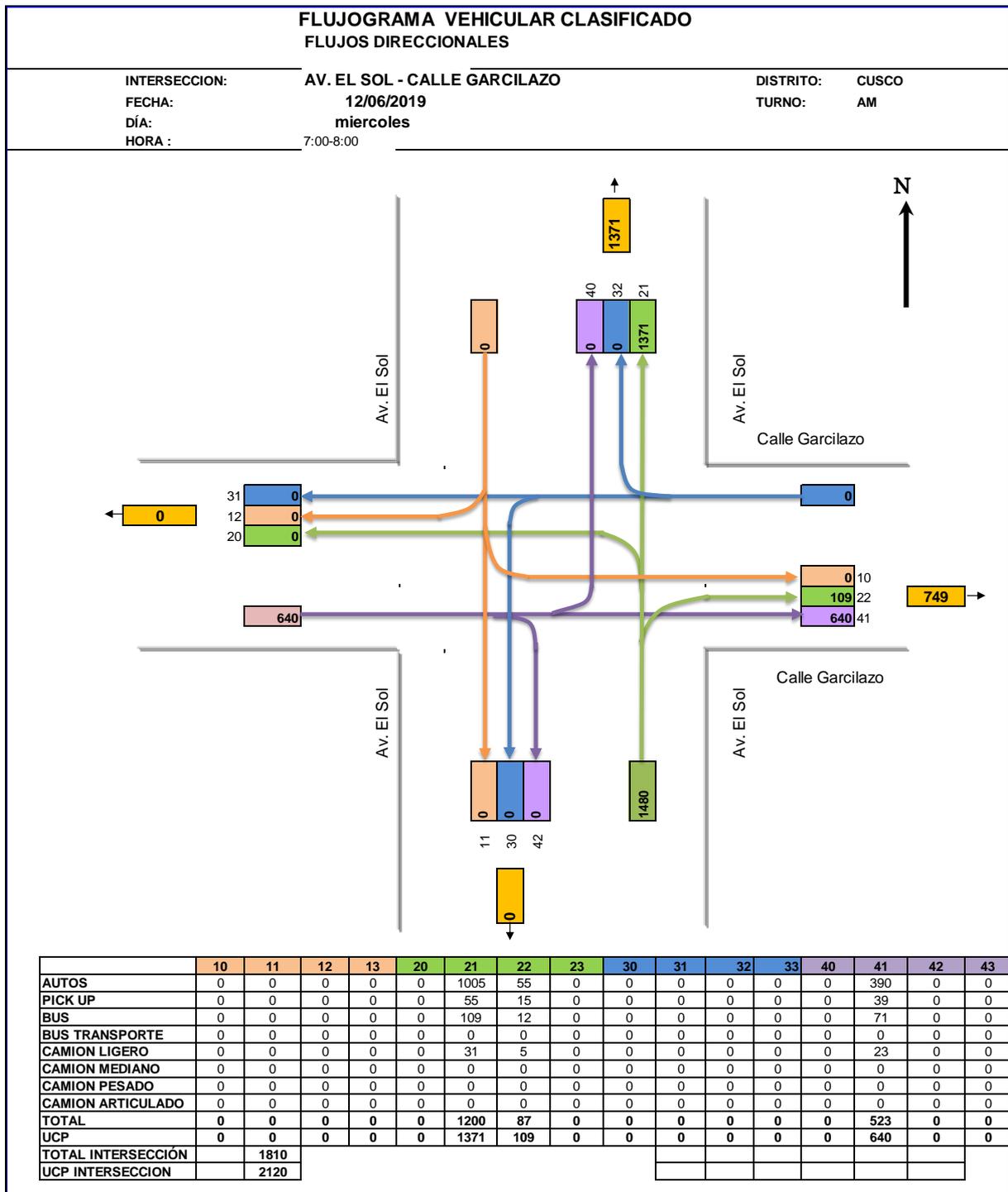


14. Av. El Sol – Calle Arrayan – Puente Rosario



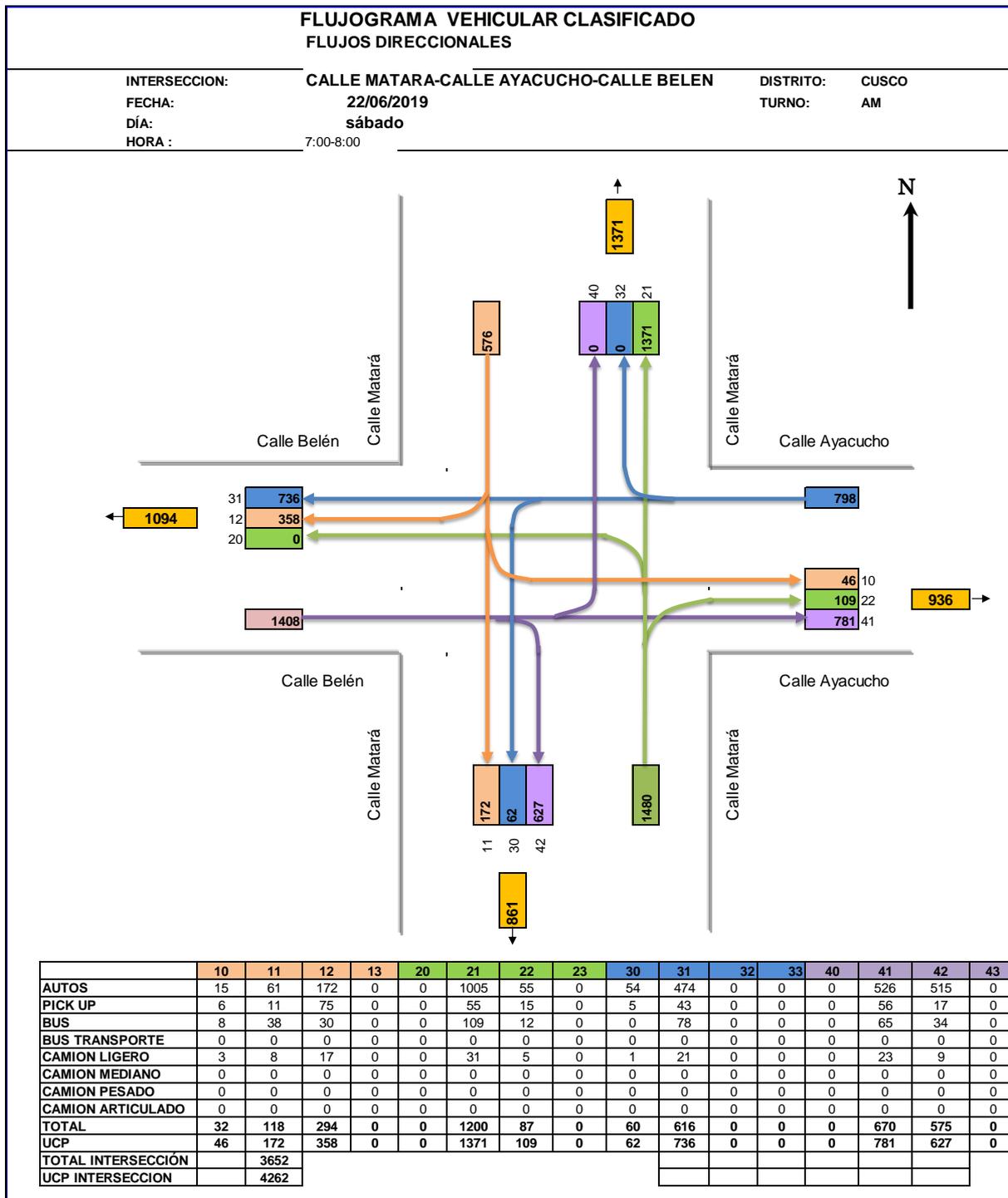


15. Av. El Sol - Calle Garcilazo



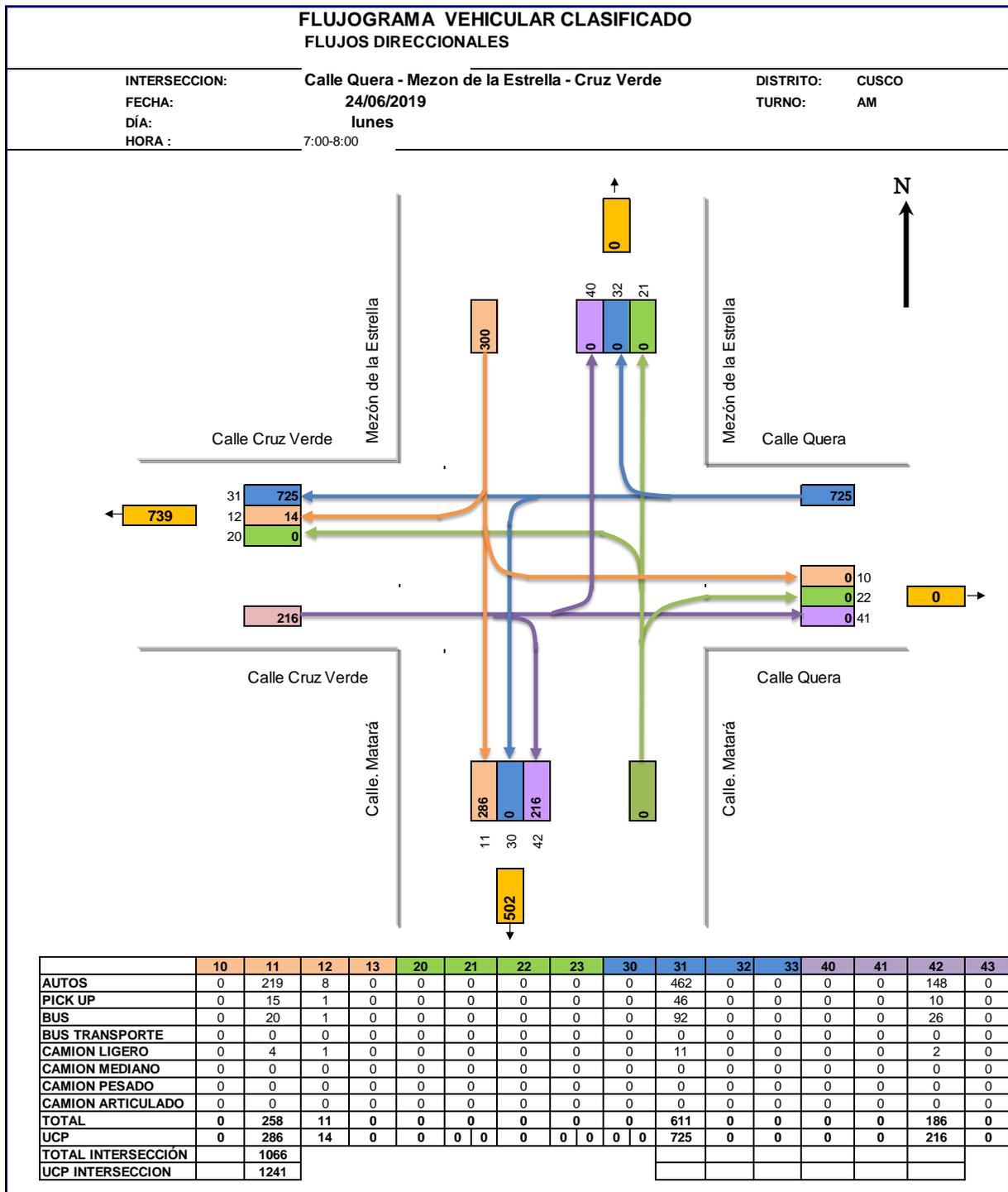


16. Calle Matará – Calle Ayacucho – Calle Belén



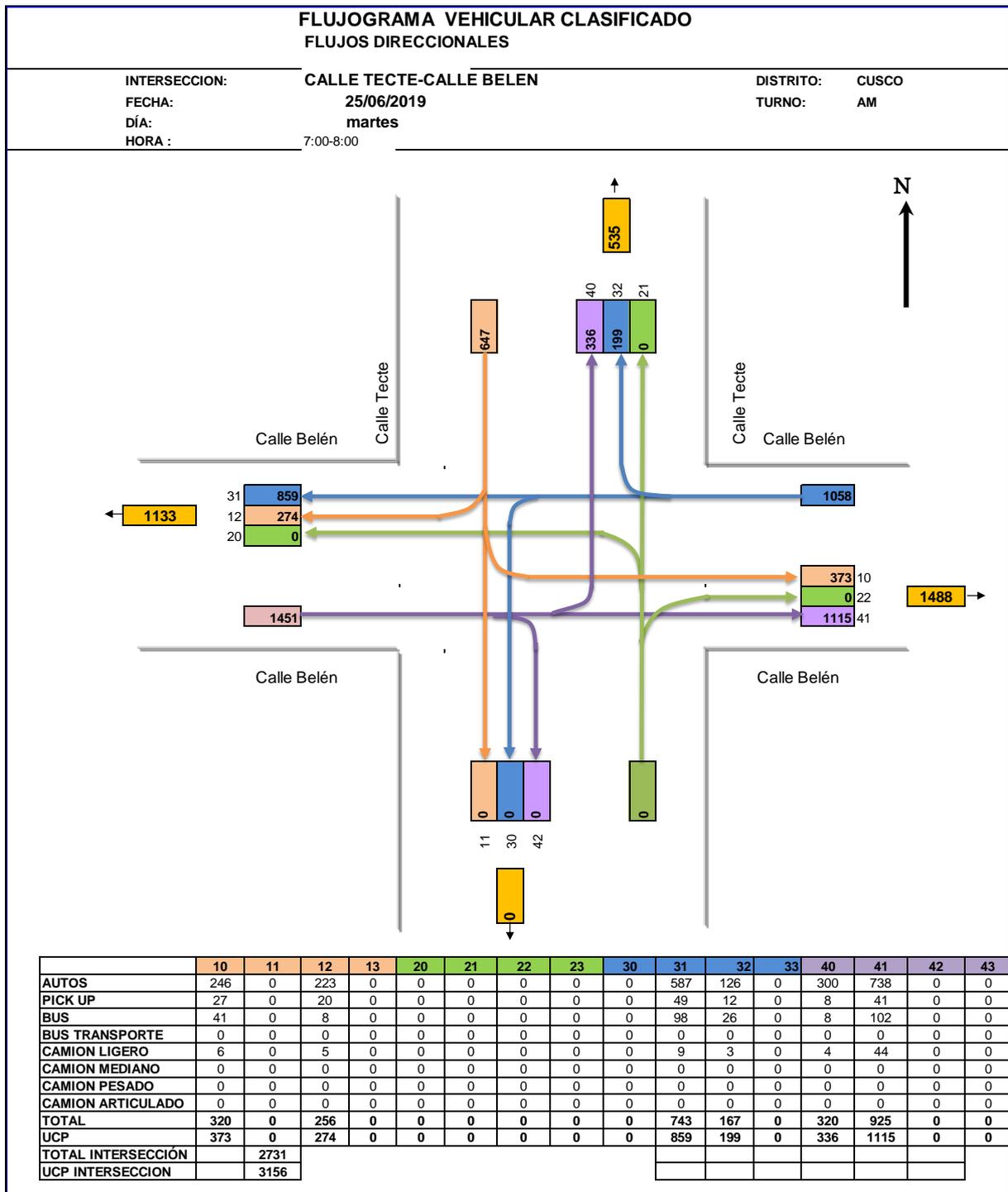


17. Calle Quera – Mezón de la Estrella – Cruz Verde



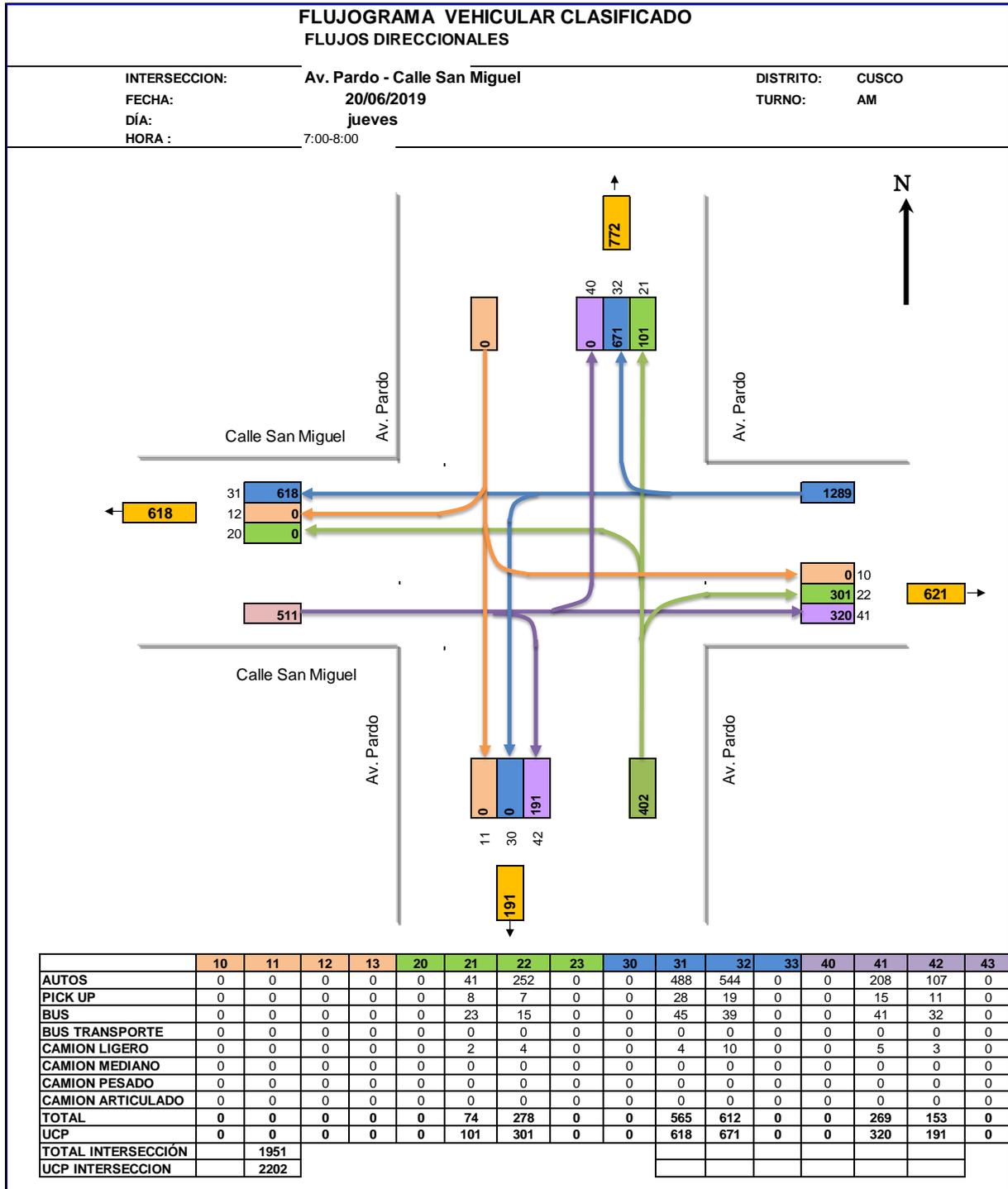


18. Calle Tecte – Calle Belén





19. Av. Pardo – Calle San Miguel



3.6.3. Procesamiento de datos aplicando la metodología del HCM 2010 y software de simulación (Synchro 8.0)

A continuación, se analiza las intersecciones en su situación actual con el software de simulación (Synchro 8.0).

3.6.3.1. Determinación de La capacidad vial y Nivel de Servicio.

Paso 1: Primero se define el fondo con una foto satelital en planta de la zona del análisis tomada desde Google Earth, luego pasamos a definir la ubicación y dirección de las Calles.

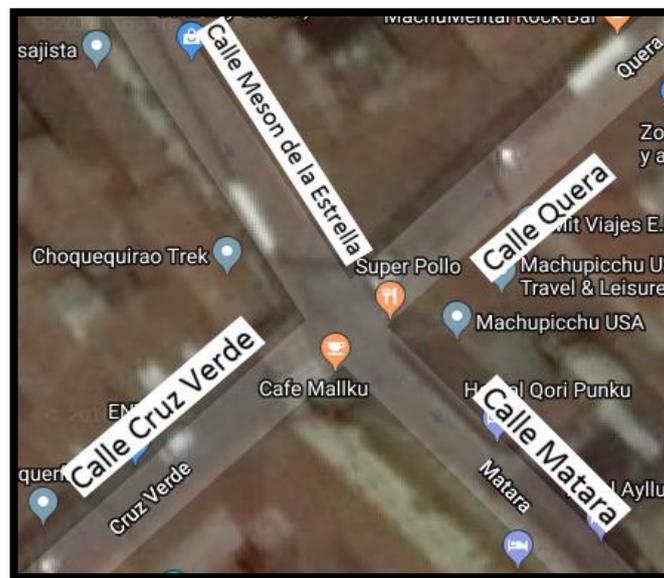


Figura 31. Vista en planta de la Intersección

Fuente: Synchro 8



Figura 32. Codificación de la intersección en el programa

Fuente: Synchro 8



Paso 2: Se definieron los siguientes datos de entrada a partir de los datos del análisis de tránsito con que se ha estado trabajando. Se identificó los movimientos de carriles.

Seguidamente se determinó la distribución del grupo de carriles para cada dirección, los volúmenes vehiculares ya son definidos anteriormente. No existen maniobras de parqueo. Al definir todos estos valores de entrada el software calcula por si solo la tasa de flujo por hora.

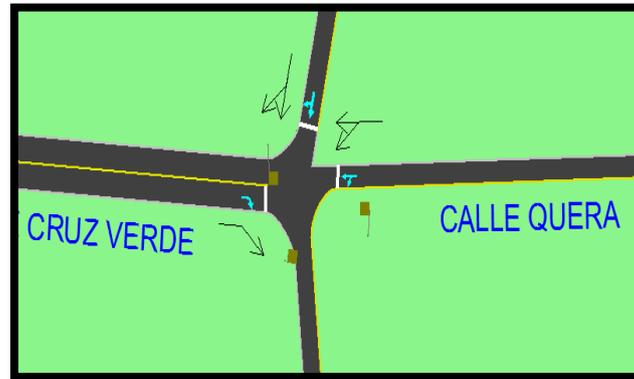


Figura 33. Movimientos de carriles

Fuente: Synchro 8

Paso 3: Los anchos de carriles y grado de pendiente están definidos anteriormente. El tipo de área es definido como urbana CBD (zona comercial, central de negocios), Con todo esto definido el programa calcula los factores y el flujo de saturación del grupo de carriles como se ve en la siguiente figura.



Figura 34. Volúmenes por sentido de circulación

Fuente: Synchro 8

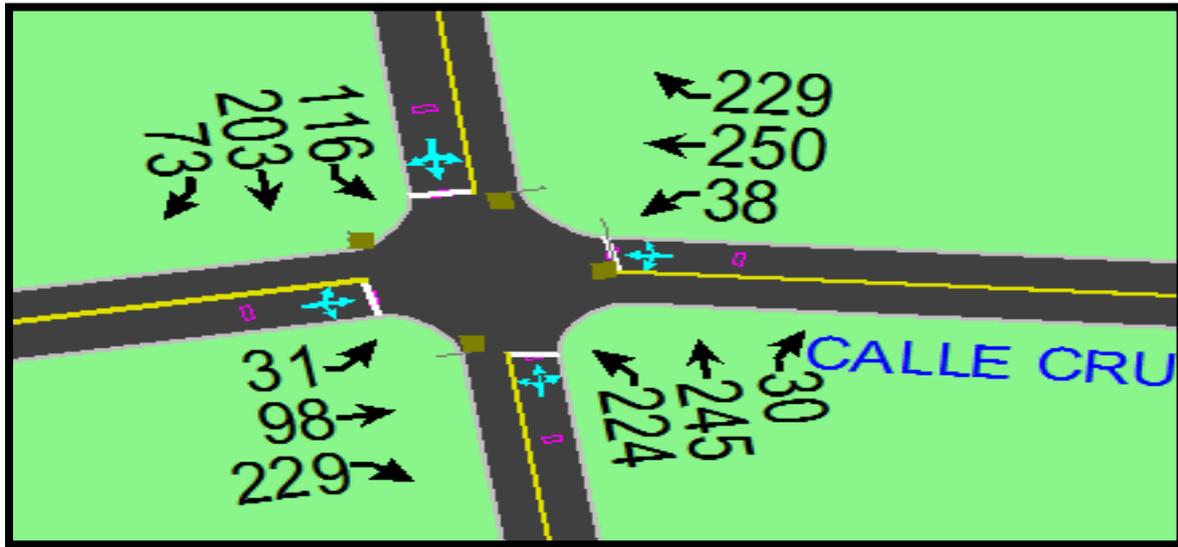


Figura 35. Volúmenes por sentido de circulación

Fuente: Synchro 8

Paso 4: Se introdujeron los datos del tipo de semáforos, fases, así como sus respectivos tiempos de luz verde, ámbar y roja. De esta forma el software por medio de la metodología del HCM, determina la tasa de flujo de saturación ajustada, la capacidad, la relación volumen/capacidad, tiempos de demora y nivel de servicio según los datos ingresados para cada carril por separado. De igual forma en el cuadro marrón se aprecia el nivel de servicio, y tiempo de demora que se calculó para toda la intersección.

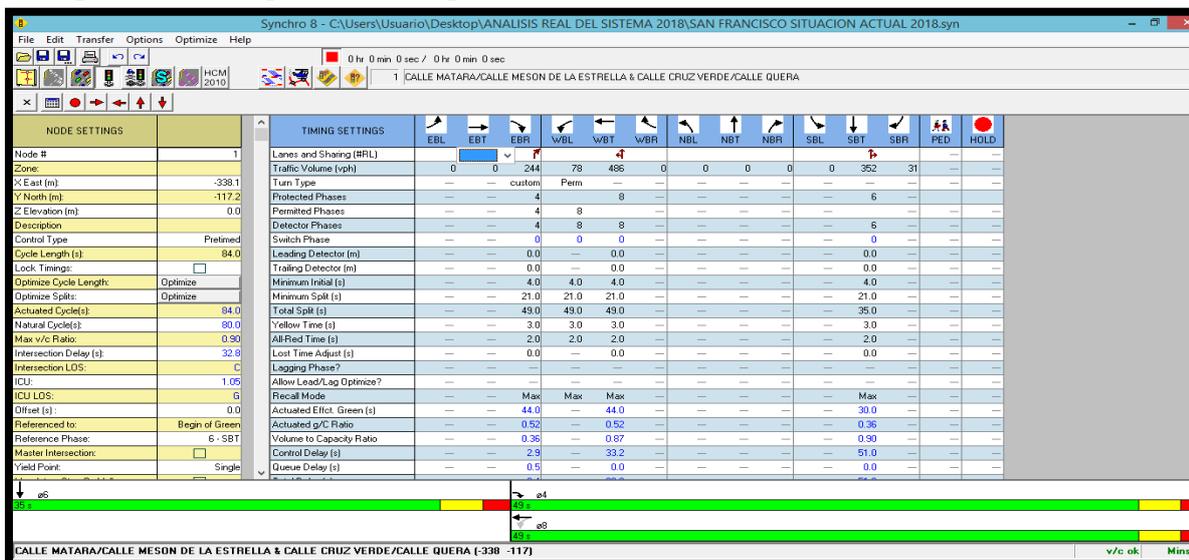


Figura 36. Ventana de Ajuste de metodología HCM de la Intersección

Fuente: Synchro 8



Paso 5: En esta parte se le da clic el botón que nos lleva al SimTraffic 8.0. y exportar automáticamente el trabajo al otro software y presionando a continuación el botón de “play” se simula el movimiento visto desde arriba de la intersección.

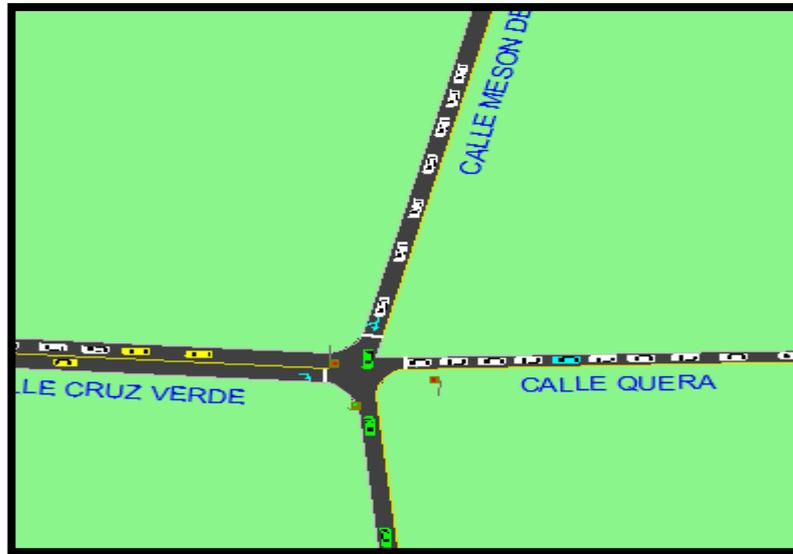


Figura 37. Simulación de la Intersección

Fuente: Synchro 8



CAPÍTULO IV

Resultados

4.1.Resultados del análisis del sistema vial actual

Tabla 15

Resumen de niveles de servicio y demoras para las principales intersecciones.

MODELACIÓN RESULTADOS (NDS)		ESTADO ACTUAL 2019		
NODO	INTERSECCIÓN	DEMORA S (seg)	V/C	NDS
1	Av. Tullumayo con Av. Sol/Av. Regional	245	1.81	F
2	Av. Tullumayo con Av. Garcilaso	49.5	1.14	D
3	Av. Tullumayo con Plaza Limacpampa/zetas	176.5	1.65	F
4	Av. Tullumayo con Ca. Ruinas	163.8	1.5	F
5	Ca. Triunfo con Ca. Santa Catalina Angosta	51.7	1.02	F
6	Ca. Tres Cruce con Ca. Nueva	135	1.63	F
7	Ca. Tres Cruce con Ca. Belen	335	2.71	F
8	Ca. Tres Cruce con Av. Grau	45.2	1.16	D
9	Av. Grau con Ca. Centenario	44.7	1.07	D
10	Ca. San Andres/Pardo con Ca. Cuychipunco	60.6	1.14	E
11	Ca. San Andres con Ca. Ayacucho	178.1	1.66	F
12	Av. Sol con Ca. Mantas	72.4	0.92	F
13	Av. Sol con Ca. Afligidos/Ayacucho	96.4	0.91	F
14	Av. Sol con Ca. Arryan-Puente Rosario	88.7	1.2	F
15	Av. Sol con Ca. Garcilaso	73.9	1.27	E
16	Ca. Matará con Ca. Ayacucho/Belen	67.3	1.17	E
17	Ca. Qera/meson de estrellac con Ca. Cruz Verde	74.3	1.34	E
18	Ca. Teqte con Ca. Belen	195	2.97	E
19	Av. Pardo con Ca. San Miguel	113.4	1.47	F



Tabla 16

Cuadro del estado actual y estado optimizado de circulación

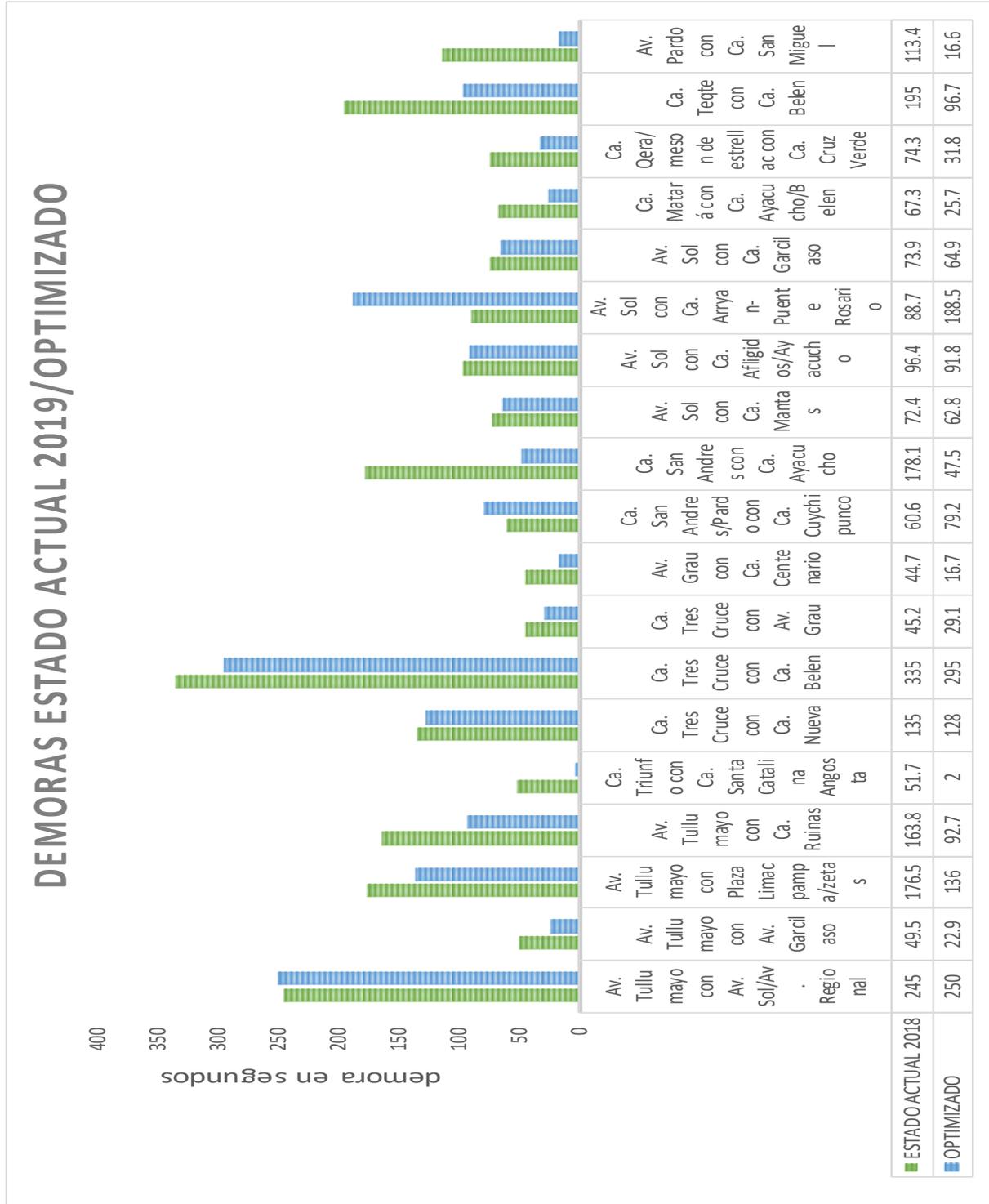
MODELACIÓN RESULTADOS (NDS)		ESTADO ACTUAL 2019			OPTIMIZADO		
NODO	INTERSECCIÓN	DEMORA S (seg)	V/C	NDS	DEMORAS (seg)	V/C	NDS
1	Av. Tullumayo con Av. Sol/Av. Regional	245	1.81	F	250	1.92	F
2	Av. Tullumayo con Av. Garcilaso	49.5	1.14	D	22.9	0.8	C
3	Av. Tullumayo con Plaza Limacpampa/zetas	176.5	1.65	F	136	1.25	F
4	Av. Tullumayo con Ca. Ruinas	163.8	1.5	F	92.7	1.25	F
5	Ca. Triunfo con Ca. Santa Catalina Angosta	51.7	1.02	F	2	0.52	F
6	Ca. Tres Cruce con Ca. Nueva	135	1.63	F	128	1.59	F
7	Ca. Tres Cruce con Ca. Belen	335	2.71	F	295	2.33	F
8	Ca. Tres Cruce con Av. Grau	45.2	1.16	D	29.1	0.92	C
9	Av. Grau con Ca. Centenario	44.7	1.07	D	16.7	0.68	B
10	Ca. San Andres/Pardo con Ca. Cuychipunco	60.6	1.14	E	79.2	0.96	F
11	Ca. San Andres con Ca. Ayacucho	178.1	1.66	F	47.5	1.05	D
12	Av. Sol con Ca. Mantas	72.4	0.92	F	62.8	0.89	D
13	Av. Sol con Ca. Afligidos/Ayacucho	96.4	0.91	F	91.8	1.48	F
14	Av. Sol con Ca. Arryan-Puente Rosario	88.7	1.2	F	188.5	2.65	F
15	Av. Sol con Ca. Garcilaso	73.9	1.27	E	64.9	0.98	E
16	Ca. Matará con Ca. Ayacucho/Belen	67.3	1.17	E	25.7	0.78	B
17	Ca. Qera/meson de estrellac con Ca. Cruz Verde	74.3	1.34	E	31.8	0.96	C
18	Ca. Teqte con Ca. Belen	195	2.97	E	96.7	1.71	F
19	Av. Pardo con Ca. San Miguel	113.4	1.47	F	16.6	0.91	B

Fuente: Elaboración propia



Tabla 17

Grafico del estado actual y estado optimizado de circulación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Cuadro porcentual comparativo de los análisis efectuados en los dos casos de análisis.

MODELACIÓN RESULTADOS (NDS)		ESTADO ACTUAL 2018			OPTIMIZADO			VARIACION (DEMORAS)	
		DEMORA S (seg)	V/C	NDS	DEMORAS (seg)	V/C	NDS	DEMORAS (seg)	DEMORAS (seg)
NODO	INTERSECCIÓN								
1	Av. Tullumayo con Av. Sol/Av. Regional	245	1.81	F	250	1.92	F	2%	
2	Av. Tullumayo con Av. Garcilaso	49.5	1.14	D	22.9	0.8	C	-116%	
3	Av. Tullumayo con Plaza Limacpampa/zetas	176.5	1.65	F	136	1.25	F	-30%	
4	Av. Tullumayo con Ca. Ruinas	163.8	1.5	F	92.7	1.25	F	-77%	
5	Ca. Triunfo con Ca. Santa Catalina Angosta	51.7	1.02	F	2	0.52	F	-2485%	
6	Ca. Tres Cruce con Ca. Nueva	135	1.63	F	128	1.59	F	-5%	
7	Ca. Tres Cruce con Ca. Belen	335	2.71	F	295	2.33	F	-14%	
8	Ca. Tres Cruce con Av. Grau	45.2	1.16	D	29.1	0.92	C	-55%	
9	Av. Grau con Ca. Centenario	44.7	1.07	D	16.7	0.68	B	-168%	
10	Ca. San Andres/Pardo con Ca. Cuychipunco	60.6	1.14	E	79.2	0.96	F	23%	
11	Ca. San Andres con Ca. Ayacucho	178.1	1.66	F	47.5	1.05	D	-275%	
12	Av. Sol con Ca. Mantas	72.4	0.92	F	62.8	0.89	D	-15%	
13	Av. Sol con Ca. Afligidos/Ayacucho	96.4	0.91	F	91.8	1.48	F	-5%	
14	Av. Sol con Ca. Arryan-Puente Rosario	88.7	1.2	F	188.5	2.65	F	53%	
15	Av. Sol con Ca. Garcilaso	73.9	1.27	E	64.9	0.98	E	-14%	
16	Ca. Matará con Ca. Ayacucho/Belen	67.3	1.17	E	25.7	0.78	B	-162%	
17	Ca. Qera/meson de estrellac con Ca. Cruz Verde	74.3	1.34	E	31.8	0.96	C	-134%	
18	Ca. Teqte con Ca. Belen	195	2.97	E	96.7	1.71	F	-102%	
19	Av. Pardo con Ca. San Miguel	113.4	1.47	F	16.6	0.91	B	-583%	

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO V

5.1. Discusión

Discusión 1:

¿La reconfiguración geométrica de las intersecciones influye en el cálculo de los niveles de servicio?

Si, Las características de la vía son todas aquellas características físicas propias del diseño geométrico, que tienen influencia directa en la capacidad y niveles de servicio.

Los resultados de la presente investigación reflejan la influencia de la infraestructura vial, ya que, al cambiar la forma y disposición de las intersecciones, carriles y sentido de vías, se generan variaciones en la calidad de los niveles de servicio.

Discusión 2:

¿Es posible la adecuación de los métodos y aplicación de la metodología del HCM (Highway Capacity Manual) en el Perú?

Si, pese a que el Highway Capacity Manual es un manual norteamericano, y en nuestro país no contamos con un manual específico para el análisis de la capacidad y nivel de servicio vial, este es utilizado en nuestro país, como se puede apreciar en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras que se refiere explícitamente en su anexo 01: “Capacidades y Niveles de Servicio” a la teoría de capacidad desarrollada por el TBR, de acuerdo a metodología descrita en el HCM. Al utilizar la metodología, esta se alimenta de valores locales de geometría, demanda vehicular y condiciones semafóricas propias de la zona de estudio.

Discusión 3:

¿Para los procesos de cálculos, análisis y evaluación de las intersecciones de estudio, es factible el uso del programa especializado SYNCHRO 8.0?

Si es factible, ya que SYNCHRO 8.0 es un software desarrollado por Trafficware, que realiza el cálculo del flujo de saturación, capacidad, relación volumen – capacidad (v/c), niveles de servicio, incorporando a este cálculo todos los ajustes y metodología del Highway Capacity Manual 2010.



Discusión 4:

¿Porque cada uno de los accesos a la intersección de estudio posee diferente capacidad y nivel de servicio?

La metodología del Highway Capacity Manual 2010 aplicada en la tesis de investigación, considera las características geométricas, características semafóricas, volúmenes vehiculares y peatonales que contiene cada grupo de carril, lo que hace que cada acceso a la intersección sea único y por ende tenga diferente capacidad y nivel de servicio.



GLOSARIO

Acceso

Carril o grupo de carriles por el cual transita un flujo vehicular que colinda con otros accesos generando una intersección.

Calzada

Parte de la carretera destinada a la circulación de Vehículos. Se compone de un cierto número de carriles

Capacidad vial

Máximo número de vehículos que tiene razonables probabilidades de pasar por una sección dada de una calzada o un carril durante un periodo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la carretera y tránsito.

Carril:

Franja longitudinal en que está dividida la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales.

Ciclo o longitud de ciclo

Tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones del semáforo

Conductor

Aquel sujeto que maneja el mecanismo de dirección o va al mando de un vehículo.

Infraestructura vial

Es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma comfortable, segura y eficiente desde un punto a otro en un sistema vial.

Intersecciones viales

Las intersecciones son áreas comunes a dos o más vías que se cruzan al mismo nivel o a desnivel.

Nivel de servicio:

Medida cualitativa descriptiva de las condiciones de circulación de una corriente de tráfico.



Pendiente

Inclinación de una rasante en el sentido de avance RAMAL

Es un acceso a la intersección. SEMAFOROS

Los semáforos son los elementos reguladores del tráfico por excelencia en las zonas urbanas

Transito:

Fenómeno ocasionado por la presencia de vehículos, personas y demás que circulan por una avenida, calle o autopista.

Vehículo

Es el nexo entre el conductor que lo maneja y la vía que lo contiene VELOCIDAD

Se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo.



CONCLUSIONES

Conclusión N°1:

Se logró el objetivo general y se demostró la hipótesis general parcialmente, ya que si es posible dar prioridad a la circulación vehicular en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico del Cusco para mejorar los niveles de servicio. Las vías principales de salida han tenido la prioridad en la reformulación del presente sistema y los tiempos se redujeron parcialmente como se muestra en la tabla n°16

Conclusión N°2:

Se logró el objetivito específico N°1 y se demostró la hipótesis específica N°1, ya que Si es posible configurar la circulación vehicular, a través de los resultados de la modelación en el software Synchro 8.0 que se reflejan en la tabla n° 16, como una prioridad de acuerdo a la demanda existente en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco. Las vías fueron priorizadas de acuerdo a su demanda existente, en especial en sentido de salida del CCHH.

Conclusión N°3

Se logró el objetivito específico N°2 y se demostró la hipótesis específica N°2, ya que, si es posible configurar la circulación vehicular con propuestas, de acuerdo a la geometría vial existente en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad del Cusco.

Conclusión N°4:

Se logró el objetivito específico N°3 y se demostró la hipótesis específica N°3, ya que si es posible configurar la circulación vehicular con los sistemas de control existentes y con los niveles de servicio que se refleja en la tabla n° 14, en las principales intersecciones ubicadas en el centro histórico de la ciudad Cusco. Las características semafóricas para dar preferencia a la salida de vehículos y restringir el ingreso reduciendo los tiempos de verde efectivo.

Conclusión N°5:

Se logró el objetivito específico N°4 y se demostró la hipótesis específica N°4, ya que la preferencia de la circulación influye significativamente en mejorar los niveles de servicio de la circulación vehicular en el sistema vial en las principales intersecciones ubicadas en el



centro histórico de la ciudad del Cusco. Se ha determinado que los flujos de ingreso y salida tienen preferencia sobre los flujos transversales, mientras que los flujos de salida tienen mejores niveles de servicio.

RECOMENDACIONES

Recomendación N°1

La metodología aplicada a la presente tesis de investigación, si bien es aceptada por la normativa peruana debería adaptarse a la realidad de nuestro país para una mayor precisión, ya que el comportamiento vial es distinto en los Estados Unidos. Para lo cual se recomienda tomar datos de campo para valores como la tasa de saturación base usada.

Recomendación N°2

Se recomienda la acción de tomar en cuenta los conflictos peatonales en las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas del sistema vial en el centro histórico de la ciudad del cusco debido a que se trata de una zona de máxima circulación, teniendo en consideración la solución estudiada en la presente investigación.

Recomendación N°3

Se recomienda la optimización de los ciclos de los dispositivos de control de las intersecciones semaforizadas y el resto de vías para lograr una progresión o continuidad en el flujo.

Recomendación N°4

Se recomienda realizar futuras investigaciones que comparen costos de implementación entre los tipos de infraestructura vial analizada en nuestro estudio. Así mismo profundizar en el análisis peatonal de todo el centro histórico.



REFERENCIAS

- &SIECA, C. (2011). Manual Centroamericano de normas para el Diseño Geométrico de carreteras.
- Bañon Blázquez & Beivá Garcia José F., B. (2000). Manual de carreteras. Bañon Blázquez Luis & Beivá Garcia José F. (2000). Manual de carreteras. CAL Y MAYOR & ASOCIADOS. (1998). Ingeniería de Transito.
- Comunicaciones, M. d. (2008). Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Perú.
- Depiante V. & (2011). (2011). Capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas. Cordoba argentina.
- Higway Capacity Manual HCM. (2010). WASHINGTON.
- Ing. Victor Chavez Loaiza. (2005). Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas. LIMA: MDGVU.
- Instituto Nacional de Estadística e informática - INEI. (s.f.).
- Instituto Nacional de estadística e informática - INEI, I. (s.f.). Producto Bruto interno.
- Ministerio de Economía y Finanzas, M. (2015). Guía metodológica para PIP de vialidad urbana, a nivel de perfil.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras Diseño geométrico DG 2014,
- Ministerio de transportes y comunicaciones, M. (2016). Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras.
- National Transportation Research Board, N. (200



ANEXOS