

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**MEDICIÓN DE PARÁMETROS FUNDAMENTALES PARA DETERMINAR LA
LONGITUD MÁXIMA DE COLA EN INTERSECCIONES DE LA CIUDAD DE
LIMA.**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Valeria Alessandra Delgadillo Anco

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, mayo 2020

RESUMEN

El incremento de la demanda vehicular durante los últimos años ha generado la saturación de las vías y, por lo tanto, se genera mayor tráfico. En Lima, es usual que entre las 7:00 am - 8:00 am o entre las 6:00 pm – 7 pm no se quiera transitar por las vías principales debido a la cantidad de vehículos que las utilizan. Por lo que, los conductores eligen vías secundarias como parte de sus rutas para dirigirse a su destino. La capacidad de las vías secundarias es menor y, por lo tanto, se saturan más rápido. Por ello, considero su estudio igual de importante.

Las colas generadas en las intersecciones son definidas como parámetros de eficiencia de las vías. Por lo tanto, deben ser analizadas para poder identificar las causas de su origen y brindar soluciones a la problemática. El presente estudio evalúa la cantidad de vehículos que forman parte de la cola obtenidos en el campo con los obtenidos mediante la función transformada de Whiting.

Durante la etapa de marco teórico se definen todos los conceptos que son utilizados como parte de la investigación. Definiciones como capacidad, demanda, flujo de saturación, grado de saturación y la metodología del High Capacity Manual (2010) son necesarios para la correcta comprensión.

Se utiliza una metodología cuantitativa para la comparación de resultados y se evalúa la semejanza entre los resultados de campo y los resultados obtenidos mediante la función transformada de Whiting. La toma de datos se desarrolló por medio de filmaciones durante cuatro horas en las que existía presencia de tráfico y en una intersección con vías que no son consideradas principales.

Finalmente, el estudio concluye que no es posible poder describir el comportamiento de la longitud máxima de cola mediante la función transformada de Whiting.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el ingeniero Félix Cabrera, por su guía, tiempo y consejos.

A mis padres, mis cómplices incondicionales. Gracias por la educación que me brindaron y por ser la motivación de mi vida; siempre han sido el soporte para cumplir cada uno de los objetivos que me he propuesto.

A Dios, por la vida, salud y sabiduría.



TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMEN | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| TABLA DE CONTENIDOS | iii |
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABLAS | vii |
| LISTA DE ECUACIONES | viii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | ix |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 3 |
| 1.3. HIPÓTESIS DEL PROYECTO | 3 |
| 1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PROYECTO | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO: | 5 |
| 2.1 INTERSECCIONES | 5 |
| 2.1.1 Tipos de intersecciones | 6 |
| 2.1.2 Intersecciones semaforizadas | 7 |
| 2.2 GRADO DE SATURACIÓN | 11 |
| 2.2.1 Capacidad | 12 |
| 2.2.2 Verde efectivo | 20 |
| 2.2.3 Demanda | 21 |
| 2.3 COLAS | 22 |
| 2.3.1 Colas en intersecciones semaforizadas | 22 |
| 2.3.2 Longitud máxima de cola | 24 |
| 2.3.3 Cola excedente | 24 |
| 2.4 MODELOS PREVIOS DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA | 27 |
| 2.4.1 Modelo propuesto por F. V. Webster | 27 |
| 2.4.2 Modelo de longitud máxima de cola propuesto por R. Akcelik | 29 |
| 2.4.3 Modelo propuesto por Nagui Roupail | 32 |
| 2.4.4 Modelo propuesto por Donald Mc Neil | 34 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. METOLOGÍA..... | 36 |
| 3.1 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO..... | 36 |
| 3.2 GEOMETRÍA DE LA INTERSECCIÓN..... | 37 |
| 3.3 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA..... | 39 |
| 3.3.1 Cola excedente de la intersección..... | 40 |
| 3.4 DEMANDA EN LA INTERSECCIÓN..... | 41 |
| 3.5 CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN..... | 43 |
| 3.6 GRADO DE SATURACIÓN DE LA INTERSECCIÓN..... | 45 |
| 3.7 PARÁMETRO DEL SEMÁFORO..... | 45 |
| 3.7.1 Ciclo del semáforo..... | 45 |
| 3.7.2 Verde efectivo..... | 45 |
| 3.7.3 Rojo efectivo..... | 45 |
| 3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 45 |
| 4. RESULTADOS..... | 47 |
| 4.1 DEMANDA DE LA INTERSECCIÓN..... | 47 |
| 4.2 CAPACIDAD DE LOS ACCESOS DE LA INTERSECCIÓN..... | 48 |
| 4.3 FLUJO DE SATURACIÓN DE LOS ACCESOS DE LA INTERSECCIÓN..... | 52 |
| 4.4 PARÁMETROS SEMAFÓRICOS..... | 53 |
| 4.5 GRADO DE SATURACIÓN..... | 56 |
| 4.6 LONGITUD MÁXIMA DE COLA OBTENIDA EN CAMPO..... | 58 |
| 4.7 LONGITUD MÁXIMA DE COLA OBTENIDA MEDIANTE LA FUNCIÓN TRANSFORMADA DE WHITING..... | 60 |
| 4.8 COMPARACIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA..... | 62 |
| 4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA..... | 63 |
| 4.10 LONGITUD DE COLA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE VERDE..... | 65 |
| 4.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VERDE..... | 66 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 6. FUENTES CITADAS..... | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 2.1.1: Puntos de conflicto en los movimientos de las intersecciones. | 5 |
| FIGURA 2.1.2: Intersecciones en "T" o "Y". | 6 |
| FIGURA 2.1.3: Intersecciones en cruz. | 7 |
| FIGURA 2.1.4: Movimientos en una intersección. | 8 |
| FIGURA 2.1.5: Fases en una intersección con semáforos. | 9 |
| FIGURA 2.1.6: Ciclo del semáforo y fases en una intersección. | 10 |
| FIGURA 2.1.7: Fases del semáforo de acuerdo al grupo de carriles. | 10 |
| FIGURA 2.2.1: Tiempo de demora según el grado de saturación. | 12 |
| FIGURA 2.2.2: Diagrama del tiempo de verde del semáforo. | 21 |
| FIGURA 2.2.3: Oferta y demanda vehicular. | 22 |
| FIGURA 2.3.1: Aumento del tiempo de demora a partir del aumento de la demanda. | 23 |
| FIGURA 2.3.2: Presencia de efectos aleatorios en las colas. | 25 |
| FIGURA 2.4.1 Comportamiento de la cola debido al componente aleatorio. | 32 |
| FIGURA 2.4.2: Comportamiento de la cola durante un ciclo del semáforo. | 34 |
| FIGURA 3.1.1: Ubicación de la intersección en estudio. | 37 |
| FIGURA 3.2.1: Ancho de los carriles de las vías del estudio. | 38 |
| FIGURA 3.2.2: Eclímetro utilizado para obtener la pendiente de las vías. | 39 |
| FIGURA 3.7.1: Cola formada en la Av. Lima. | 40 |
| FIGURA 3.7.2: Cola formada en el Jiron Bolognesi. | 41 |
| FIGURA 3.3.1: Transito en la Av. Lima. | 42 |
| FIGURA 3.3.2: Transito en Jiron Bolognesi. | 42 |
| FIGURA 3.4.1: Pasos a seguir para el desarrollo del software SYNCHRO 8.0. | 44 |
| FIGURA 4.1.1: Demanda del periodo máximo de la intersección de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi obtenida mediante el software SYNCHRO el día lunes. | 48 |
| FIGURA 4.2.1: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes. | 49 |
| FIGURA 4.2.2: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes. | 50 |
| FIGURA 4.2.3: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes. | 50 |
| FIGURA 4.2.4: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes. | 51 |
| FIGURA 4.4.1: Diagrama de fases de la Avenida. | 55 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4.5.1: Grado de saturación de la intersección de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi obtenida mediante el software SYNCHRO. | 57 |
| FIGURA 4.6.1: Gráfico comparativo de las longitudes máximas de cola (vehículos) de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi. | 59 |
| FIGURA 4.9.1: Análisis estadístico para la Avenida Lima según la longitud máxima de cola obtenida mediante el campo y el cálculo en función a los parámetros de Webster..... | 64 |
| FIGURA 4.9.2: Análisis estadístico para el Jirón Bolognesi según la longitud máxima de cola obtenida mediante el campo y el cálculo en función a los parámetros de Webster..... | 64 |
| FIGURA 4.11.1: Análisis estadístico para la Avenida Lima según la longitud máxima de cola obtenida mediante el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo. | 67 |
| FIGURA 4.11.2: Análisis estadístico para el Jirón Bolognesi según la longitud máxima de cola obtenida mediante el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo. ... | 67 |



LISTA DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.2.1: Parámetros para obtener la cola excedente | 15 |
| Tabla 2.4.1: Parámetros para obtener la cola excedente | 33 |
| Tabla 4.1.1: Demanda registrada por periodos en la Avenida Lima..... | 47 |
| Tabla 4.1.2: Demanda registrada por periodos en el Jirón Bolognesi | 47 |
| Tabla 4.2.1: Capacidad obtenida en la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi. | 52 |
| Tabla 4.3.1: Flujo de saturación de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi. | 53 |
| Tabla 4.4.1: Parámetros promedio del ciclo del semáforo de la Avenida Lima. | 53 |
| Tabla 4.4.2: Parámetros del ciclo del semáforo de la Avenida Lima..... | 54 |
| Tabla 4.4.3: Parámetros promedio del ciclo del semáforo del Jirón Bolognesi..... | 54 |
| Tabla 4.4.4: Parámetros del ciclo del semáforo del Jirón Bolognesi | 55 |
| Tabla 4.5.1: Grado de saturación de la Avenida Lima y Jirón Bolognesi..... | 56 |
| Tabla 4.6.1: Longitud máxima de cola de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi medida en campo. | 58 |
| Tabla 4.6.2: Longitud máxima de cola (vehículos) en la Avenida Lima. | 60 |
| Tabla 4.7.3: Longitud máxima de cola (vehículos) en el Jirón Bolognesi..... | 61 |
| Tabla 4.8.1: Comparación de la longitud máxima de cola (vehículos) en la Avenida Lima. | 62 |
| Tabla 4.8.2: Comparación de la longitud máxima de cola (vehículos) en el Jirón Bolognesi. .. | 63 |
| Tabla 4.10.1: Longitud máxima de cola en la Avenida Lima utilizando el verde efectivo..... | 65 |
| Tabla 4.10.2: Longitud máxima de cola en el Jirón Bolognesi utilizando el verde efectivo. | 66 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ciclo del semáforo ... (2.1.1) | 9 |
| Grado de saturación ... (2.2.1) | 11 |
| Capacidad ... (2.2.2)..... | 12 |
| Flujo de saturación ... (2.2.3)..... | 13 |
| Factor de ajuste por ancho de carril ... (2.2.4) | 15 |
| Factor de ajuste por vehículos pesados ... (2.2.5) | 15 |
| Factor de ajuste por pendiente del acceso ... (2.2.6)..... | 16 |
| Factor de ajuste por estacionamientos... (2.2.7)..... | 16 |
| Factor de ajuste por efecto de la parada de buses ... (2.2.8)..... | 17 |
| Factor de ajuste por tipo de área ... (2.2.9) | 17 |
| Factor de ajuste por uso de carril... (2.2.10) | 17 |
| Factor de ajuste por giro a la izquierda ... (2.2.11)..... | 18 |
| Factor de ajuste por giro a la derecha ... (2.2.12)..... | 19 |
| Factor de ajuste por giro a la derecha ... (2.2.13) | 19 |
| Factor de ajuste por movimiento a la izquierda de peatones y ciclistas ... (2.2.14)..... | 19 |
| Factor de ajuste por movimiento a la derecha de peatones y ciclistas... (2.2.15) | 19 |
| Verde efectivo ... (2.2.16)..... | 20 |
| Longitud máxima de cola... (2.3.1)..... | 24 |
| Longitud de cola excedente ... (2.3.2)..... | 25 |
| Rojo efectivo ... (2.3.3)..... | 26 |
| Longitud máxima de cola modelo de Webster... (2.4.1)..... | 27 |
| Longitud máxima de cola modelo de Webster. ... (2.4.2)..... | 27 |
| Longitud máxima de cola modelo de Webster. ... (2.4.3)..... | 28 |
| Longitud de cola excedente modelo de Webster ... (2.4.4)..... | 29 |
| Longitud máxima de cola modelo de Akcelik ... (2.4.5)..... | 30 |
| Longitud de cola excedente modelo de Akcelik ... (2.4.6) | 31 |
| Grado de saturación que considera efectos aleatorios... (2.4.7)..... | 31 |
| Longitud de cola excedente modelo de Roupail ... (2.4.8)..... | 33 |
| Longitud de cola excedente modelo de Mc Neil ... (2.4.9)..... | 35 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| a | = Número de carriles |
| A_i | = Tiempo de ámbar de la fase i |
| A_{pbT} | = Ajuste de fase permitido |
| c | = Ciclo del semáforo |
| C | = Capacidad |
| d | = Retraso promedio por vehículo |
| ET | = 2.0 pv/HV |
| f_a | = Factor de ajuste por tipo de área |
| f_{bb} | = Factor de ajuste por efecto de la parada de buses |
| f_s | = Factor de ajuste por pendiente del acceso |
| f_{HV} | = Factor de ajuste por vehículos pesados |
| f_{Lpb} | = Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas |
| f_{LT} | = Factor de ajuste por giro a la izquierda |
| f_{LU} | = Factor de ajuste por uso de carril |
| f_p | = Factor de ajuste por estacionamientos |
| f_{Rbp} | = Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas |
| f_{RT} | = Factor de ajuste por giro a la derecha |
| f_w | = Factor de ajuste por ancho de carriles |
| G | = Porcentaje de grado del grupo de carril |
| HV | = Porcentaje de vehículos pesados |
| I_u | = Relación de varianza a media de la llegada por ciclo |
| j | = Espacio promedio entre los vehículos de la cola |
| k | = Parámetro calibrado |
| N | = Número de carriles |
| N_b | = Número de paradas de autobuses |
| N_m | = Numero de maniobras de estacionamiento por hora |

| | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No | = Cola excedente |
| P_{LT} | = Proporción de LT en el grupo de carriles |
| P_{LTA} | = Proporción de RT en el grupo de carriles |
| P_{RT} | = Proporción de RT en el grupo de carriles |
| q | = Demanda |
| q | = Tasa de llegada |
| Q | = Capacidad |
| r_e | = Tiempo de rojo efectivo |
| S | = Flujo de saturación |
| s_i | = Flujo de saturación del grupo de carriles i |
| s_o | = Flujo de saturación ideal por carril |
| t | = Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes |
| TR_i | = Periodo todo rojo I |
| v | = Velocidad de circulación libre del tráfico |
| v | = Verde real |
| v_e | = Verde efectivo |
| v_g | = Tasa de flujo de demanda no ajustada para los carriles |
| v_{gI} | = Tasa de flujo de demanda no ajustada en el carril único en el grupo de carril con el mayor volumen |
| v_i | = Tiempo de verde de la fase i |
| w | = Ancho de carril |
| x | = Grado de saturación |
| x_o | = Grado de saturación que considera efectos aleatorios |
| γ_1 | = Tiempo perdido |
| γ_2 | = Tiempo de ganancia |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente, la ciudad de Lima tiene como uno de sus principales problemas la congestión vehicular, que se define como la cantidad excesiva de vehículos que no permiten su circulación.

Thomson y Bull señalan lo siguiente:

Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión (Thomson y Bull, 2002, p. 8).

La congestión vehicular es un problema que afecta directamente a los ciudadanos y genera que pasen gran parte de su día en un vehículo para trasladarse a su centro de estudios o trabajo.

Al respecto, Bull comentó:

La consecuencia más evidente de la congestión es el incremento de los tiempos de viaje, especialmente en las horas punta, que alcanza en algunas ciudades niveles bastante superiores a los considerados aceptables. Además, la lentitud de desplazamiento exagera los ánimos y fomenta el comportamiento agresivo de los conductores (Bull, 2003, p.19).

La congestión vehicular afecta ámbitos como la salud, el medio ambiente y el sector económico. Según las estadísticas presentadas por la Universidad del Pacífico, para el 55% de los ciudadanos, el tráfico vehicular les genera estrés y el 37% considera que le quita la calidad de vida (Perú 21, 2017). Las partículas contaminantes que se arrojan al aire provenientes de los

motores de los vehículos, especialmente de los motores diésel que, según el Centro Superior de Investigaciones Científicas de España, contaminan cuatro veces más que la gasolina, contribuyen a la contaminación del aire y afectan el medio ambiente y la salud de los ciudadanos (Gonzales, 2019). Asimismo, los ciudadanos de Lima gastan aproximadamente entre 50 y 238 nuevos soles en transporte semanalmente lo que genera un gran impacto en su economía (Publimetro, 2017).

Una de las causas que contribuyen drásticamente al incremento de esta problemática es el exceso de demanda de vehículos que se presentan en las intersecciones. Las intersecciones son consideradas vías en donde se genera una circulación interrumpida. En el caso de las intersecciones semaforizadas, se realiza una circulación interrumpida en donde cada acceso consta de un tiempo determinado para avanzar. Las colas se forman debido al tiempo de espera y el flujo que existe en las vías donde transitan, se definen como la formación de vehículos debido a la acumulación de estos y se pueden determinar como una manifestación de la congestión vehicular. En la ingeniería de tráfico las colas constan de componentes, entre ellos, la longitud máxima de cola, que se define como la cantidad de vehículos que se acumulan al iniciar el tiempo de verde efectivo.

La ingeniería de tráfico analiza los parámetros o variables que influyen en los estudios para determinar la calidad de la circulación vehicular. Uno de sus objetivos es evaluar los parámetros para determinar la eficiencia que tienen en las distintas ciudades donde se aplican las teorías que consideran (Miramontes et al., 2015). Asimismo, la ingeniería de tráfico establece los problemas que se presentan al analizar los cambios que se dan a través de los años como el crecimiento demográfico, el aumento de la demanda de transporte o el aumento del uso de vehículos. Finalmente, adapta el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito.

Frente a la congestión vehicular surge la duda respecto a qué tan eficiente es la aplicación de los modelos analíticos de la ingeniería de tráfico, específicamente aquellas que se aplican en las intersecciones semaforizadas para un contexto como el de Lima. Con este estudio se obtendrá la longitud máxima de cola con datos tomados directamente de campo y conociendo el comportamiento de este parámetro en la ciudad de Lima, se realizará la comparación con la teoría en las que se basa la ingeniería de tráfico.

El presente trabajo busca obtener la longitud máxima de cola. Para ello, se evaluarán los resultados mediante la función transformada de Whiting y se comparará con los datos obtenidos en la intersección semaforizada de la Av. Lima y el Jiron Bolognesi. Asimismo, se utilizarán los parámetros sugeridos por cuatro autores, entre ellos: Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail para calcular la longitud de cola excedente. Finalmente, se compararán los resultados para determinar si se puede hacer uso de su aplicación en la ciudad de Lima logrando así obtener conclusiones y recomendaciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo principal de la presente investigación es analizar si la función transformada de Whiting es aplicable para determinar longitudes máximas de cola en Lima.

1.2.2. Objetivos específicos

Se presentan 2 objetivos específicos en este estudio:

- Examinar si la función transformada de Whiting junto a los parámetros propuestos por Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail permiten obtener una longitud máxima de cola semejante a los valores de campo.
- Evaluar el efecto del verde efectivo en la determinación de la longitud de cola de los accesos de una intersección semaforizada.

1.3. Hipótesis del proyecto

La longitud máxima de cola obtenida en función a los parámetros propuestos por Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail brinda buenos resultados para la determinación de la longitud máxima de cola obtenida en en las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Lima.

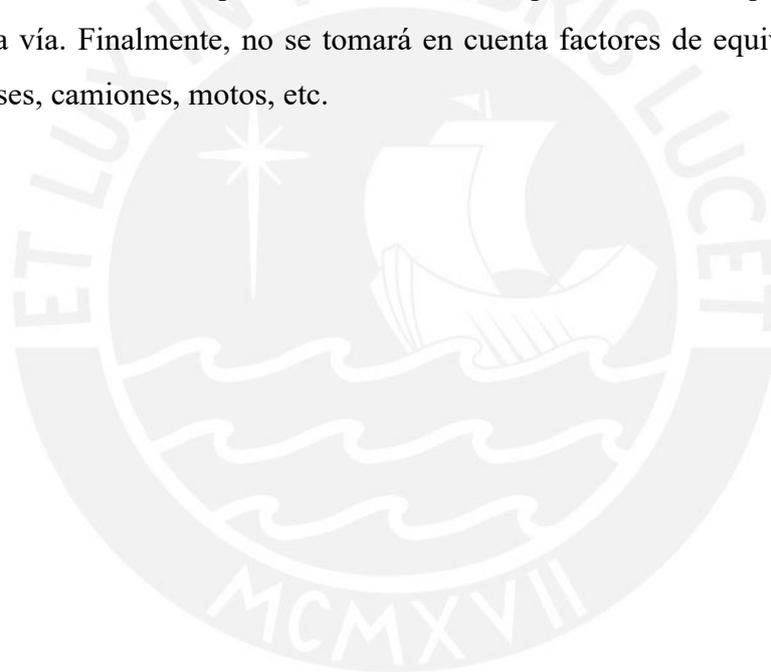
El verde efectivo medido en campo no influye drásticamente en el cálculo de la longitud de cola de las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Lima.

1.4. Alcance y limitaciones del proyecto

La finalidad de esta investigación es determinar si la teoría planteada para obtener la longitud máxima de cola es aplicable en la ciudad de Lima. La presente investigación es exploratoria,

por lo tanto, no es posible indicar que se cumple lo mismo en todas las intersecciones. Esta investigación se limita a intersecciones semaforizadas que presenten congestión vehicular en la ciudad del Lima.

Las consideraciones que se tomarán en cuenta es que se aplicará en intersecciones donde el grado de saturación debe ser mayor a 0.7, es decir, que la demanda será próxima a la capacidad de la vía para que haya cola excedente y longitud máxima de cola. Asimismo, se asumirá que, al igual que el modelo, la cantidad de vehículos al inicio del rojo efectivo perteneciente al ciclo del semáforo, será igual a 0. El modelo consta de parámetros analizados por cuatro autores, dos de ellos consideran parámetros en función del flujo de saturación. En estos casos, se tomará en consideración diversos factores, entre ellos, lugares con alto porcentajes de vehículos pesados, construcciones aledañas a la vía, paradas de buses o cualquier otro factor que pueda afectar la circulación en la vía. Finalmente, no se tomará en cuenta factores de equivalencia entre los automóviles, buses, camiones, motos, etc.



2. MARCO TEÓRICO:

2.1 INTERSECCIONES

Las intersecciones son áreas en donde dos o más calles se encuentran. Según Chikezie (2011) son lugares críticos para determinar el tráfico que se genera en una vía debido a que son considerados puntos de conflicto y congestión (Figura 2.1.1). Las intersecciones están diseñadas para evitar la congestión mediante su correcta fluidez y la disminución de capacidad (Miramontes et al., 2015).

El correcto diseño y funcionamiento de las intersecciones permiten que se resuelvan conflictos y se controle el tráfico en las vías. Asimismo, a medida que la demanda supera la capacidad, es necesario que se regule y controlen los parámetros para optimizar la circulación vehicular. Como medida de solución a los problemas, funcionalidad y eficiencia en los cruces, se opta por la semaforización. El semáforo es considerado como una medida positiva debido a que produce beneficios frente al congestionamiento vehicular (Dall'Orto, et al., 1992).

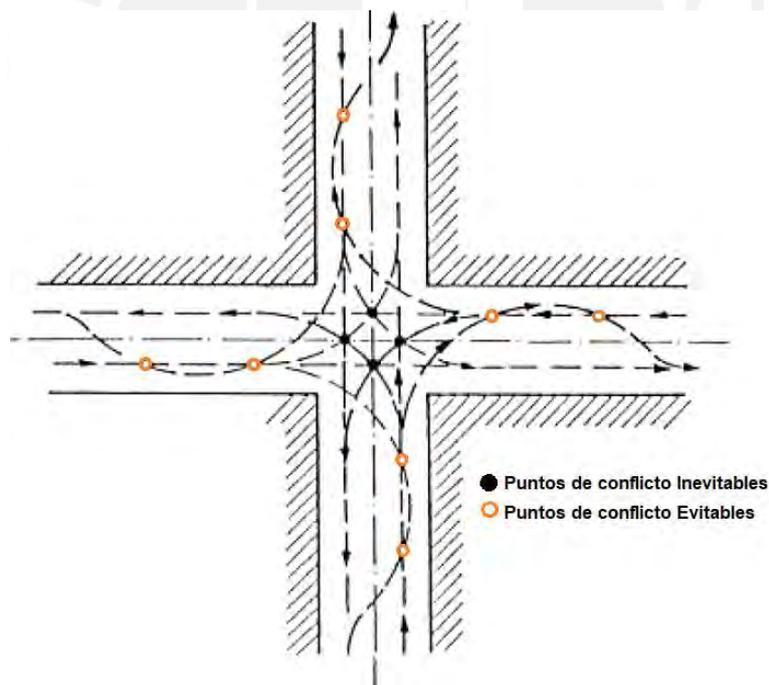


FIGURA 2.1.1: Puntos de conflicto en los movimientos de las intersecciones.

Fuente: Gómez, 2004.

2.1.1 Tipos de intersecciones

La capacidad es determinada según el tipo de intersección debido a que es un punto en común entre dos o más vías (Bull, 2003). Es importante realizar mejoras porque suelen ser los primeros puntos en donde se genera congestión vehicular (Gómez, 2004). Según Bull (2003), el diseño de la intersección se basa en darle prioridad a las vías principales sobre las secundarias. Asimismo, se busca que las vías sean perpendiculares y se controlen los puntos de giros. A continuación, se presentan los tipos de intersecciones más frecuentes según Bull (2003).

- Como se observa en la figura 2.1.2, las intersecciones múltiples son aquellas compuestas por más de cuatro ramas y usualmente se trata de suprimir una de las ramas para poder facilitar su diseño.
- Como se observa en la figura 2.1.2, las intersecciones en "T" o "Y" son aquellas que se conforman por tres ramas y poseen islas y canalizaciones. Las islas son elementos que guían los movimientos de los vehículos de manera eficiente y proporcionan espacios para colocar iluminación o señalizar. Su principal uso es restringir movimientos inseguros e influir en las velocidades de los vehículos.

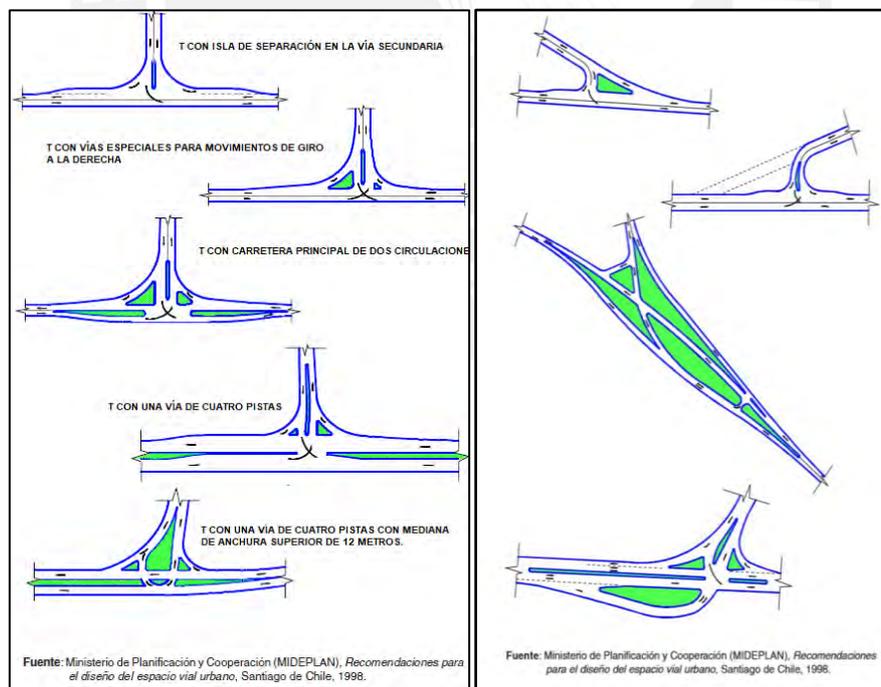


FIGURA 2.1.2: Intersecciones en "T" o "Y".

Fuente: Bull, 2003.

- Intersecciones en cruz son aquellas conformadas por cuatro ramas que en su conjunto forman una cruz.

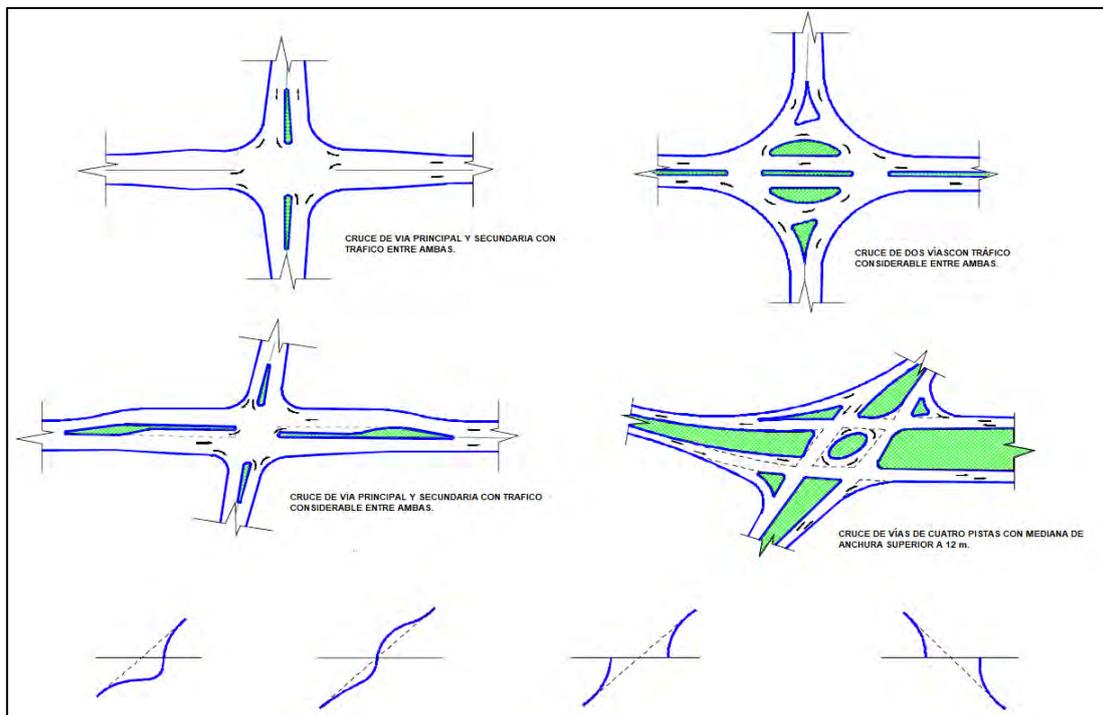


FIGURA 2.1.3: Intersecciones en cruz.

Fuente: Bull, 2003.

2.1.2 Intersecciones semaforizadas

Las intersecciones pueden utilizar señales de prioridad o semáforos. Las intersecciones semaforizadas, como su nombre lo indica, son aquellas intersecciones reguladas por semáforos que permiten movimientos en diferentes sentidos (Figura 2.1.4). Según Ding (2010), las intersecciones son puntos críticos en donde se genera la congestión vehicular y el semáforo es uno de los sistemas de control que se utilizan para poder dividir los movimientos por medio de tiempos de luz verde.

Los semáforos pueden estar programados por diversos métodos, los cuales cumplen con separar los periodos de tiempo. El método más común es el que repite los tiempos de las fases, respetando el ciclo del semáforo preestablecido. Una de sus ventajas es que los semáforos cercanos están en coordinación y permite que la fluidez de los vehículos sea constante en los tramos (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

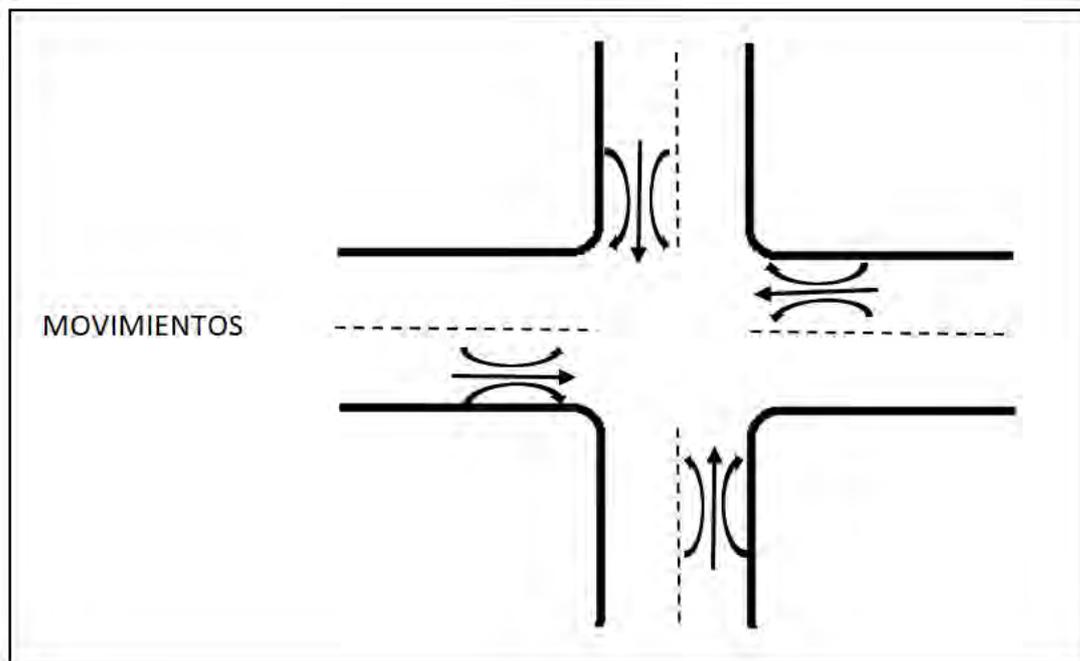


FIGURA 2.1.4: Movimientos en una intersección.

Fuente: Adaptación de Cal y Mayor & Cárdenas, 2013.

2.1.2.1 *Semáforo*

El semáforo es el dispositivo que distribuye el tiempo entre los movimientos de manera organizada. Es uno de los factores que influye en las intersecciones debido a que con su correcto funcionamiento no se genera sobresaturación en los accesos. Como se observa en la figura 2.1.5, estos dispositivos permiten distribuir los tiempos para que los vehículos puedan avanzar por las vías (Secretaría de Movilidad de Medellín, 2018). Los semáforos constan de operaciones como el plan de fases, el tiempo de verde y la duración del ciclo que afectan la circulación vehicular.

Entre las ventajas del semáforo se consideran que busca maximizar la fluidez de los vehículos y brinda facilidades para que los peatones y ciclistas puedan cruzar las vías. Asimismo, optimiza la circulación vehicular y la capacidad en las vías (Dall'Orto, Zegarra, Vásquez, 1992).

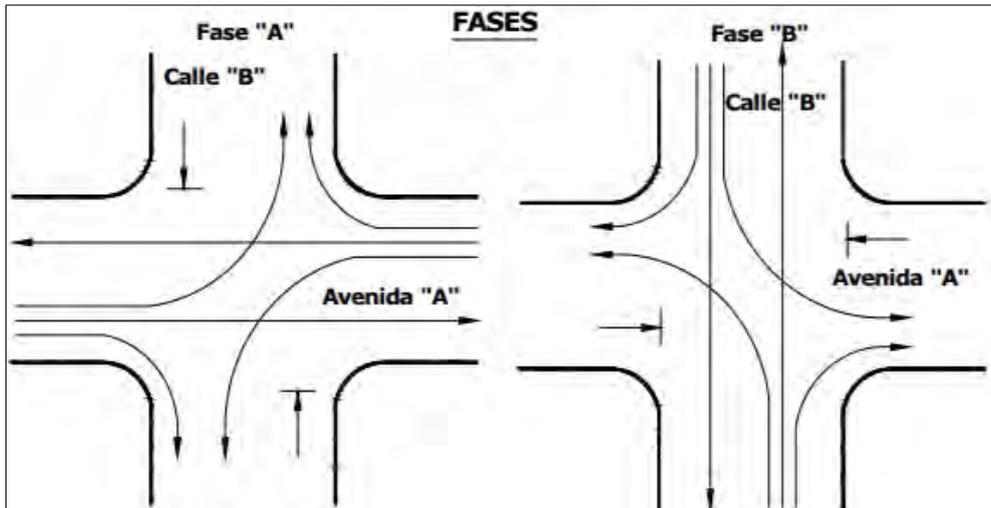


FIGURA 2.1.5: Fases en una intersección con semáforos.

Fuente: Tapia y Veizaga, 2006.

2.1.2.2 Ciclo del semáforo

El ciclo del semáforo es el tiempo necesario para que el semáforo efectúe una secuencia completa de las señales que debe indicar, es decir, desde que inicia una fase hasta que vuelva a iniciar. Los tiempos que se indican son: verde, ámbar y rojo.

$$c = \sum A_i + \sum v_i + \sum TR_i \dots (2.1.1)$$

Donde:

c: Ciclo del semáforo

A_i : Tiempo de ámbar de la fase i

v_i : Tiempo de verde de la fase i

TR_i : Periodo todo rojo i

El ciclo del semáforo consiste en combinaciones de movimientos que de manera secuencial indican a los conductores el permiso o derecho de paso (Figura 2.1.6). A esta clase de combinaciones se les denomina fases. Como se observa en la figura 2.1.7, las fases son periodos que están ordenados para que no se genere conflicto al permitir el derecho de pase en las vías.

Estos periodos de tiempo indican luz verde a cierto grupo de vehículos mientras que indica a otro grupo la luz roja (Dall'Orto, et al., 1992).

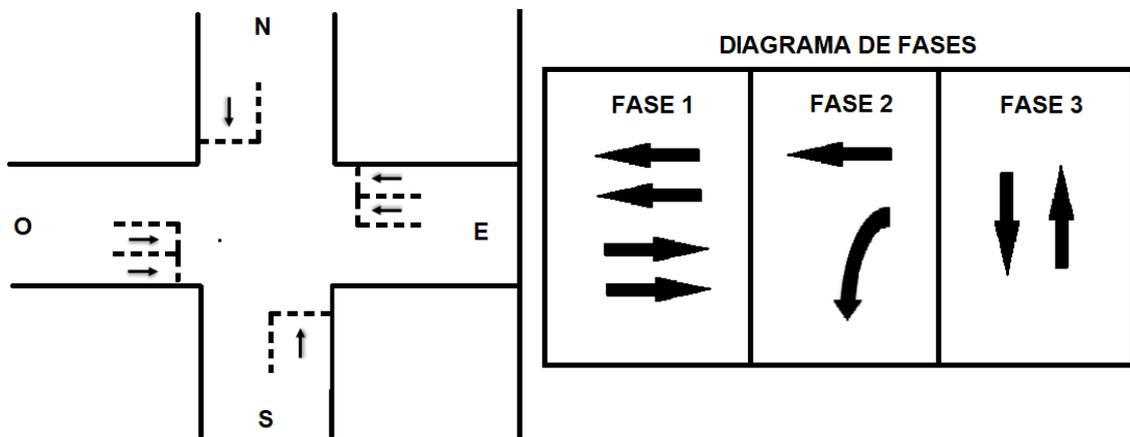


FIGURA 2.1.6: Ciclo del semáforo y fases en una intersección.

Fuente: Adaptación de Dall'Orto, Zegarra y Vásquez, 1992.

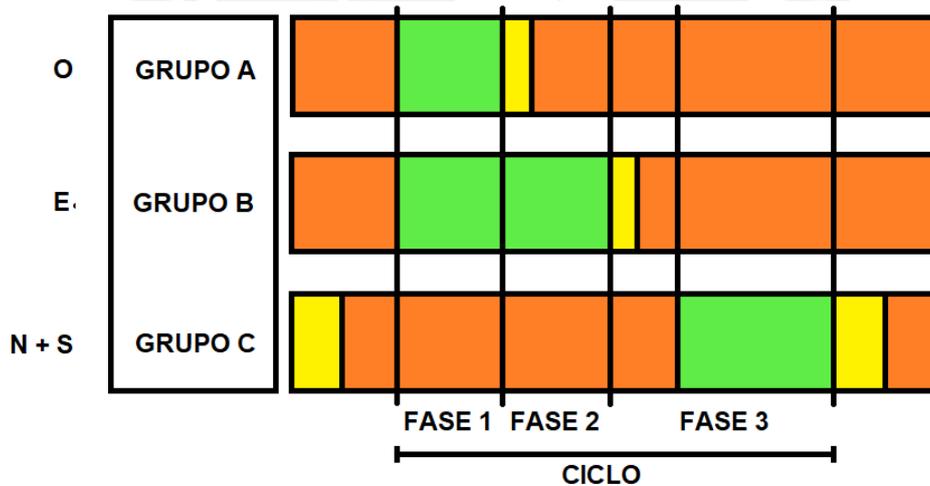


FIGURA 2.1.7: Fases del semáforo de acuerdo al grupo de carriles.

Fuente: Adaptación de Dall'Orto, Zegarra y Vásquez, 1992.

Los intervalos de tiempo en los que se divide la fase son tres. En primer lugar, el intervalo de verde que es el tiempo de verde que indica a los conductores que los vehículos pueden cruzar la vía y continuar con su recorrido. En segundo lugar, el ámbar indica el tiempo que cumple con dos condiciones. La primera es avisar al conductor que el tiempo de verde se acabará y debe detener el vehículo. La segunda es avisar al conductor que, si se encuentra entrando a la

intersección, deberá atravesarla antes de que empiece el tiempo de rojo. Finalmente, el intervalo de rojo indica el tiempo que el vehículo debe detenerse y permanecer así hasta que finalice el tiempo de rojo y pueda continuar con su recorrido (Radelat, 1964).

2.2 GRADO DE SATURACIÓN

El grado de saturación del movimiento de los vehículos es un indicador de la fluidez de la circulación vehicular y relaciona la demanda y la capacidad de las vías. Cuando la demanda de las vías empieza a aumentar y alcanza la capacidad, se observa congestión vehicular (Fernández, 2011). Según el High Capacity Manual (2000), cuando el valor del grado de saturación es alto, indica que la vía esta próxima a congestionarse o ya está congestionada.

Se obtiene el valor del grado de saturación mediante la siguiente expresión:

$$x = \frac{q}{Q} \dots (2.2.1)$$

Donde:

x: Grado de saturación

q: Demanda (vehículos)

Q: Capacidad (vehículos)

Generalmente cuando el grado de saturación es mayor a 0.8, este crece de manera exponencial (Figura 2.2.1). El problema del congestionamiento vehicular es que se forman las colas y debido a ello aumenta el tiempo de recorrido por lo que se presentan demoras en los viajes que realizan los vehículos (Fernández, 2011).

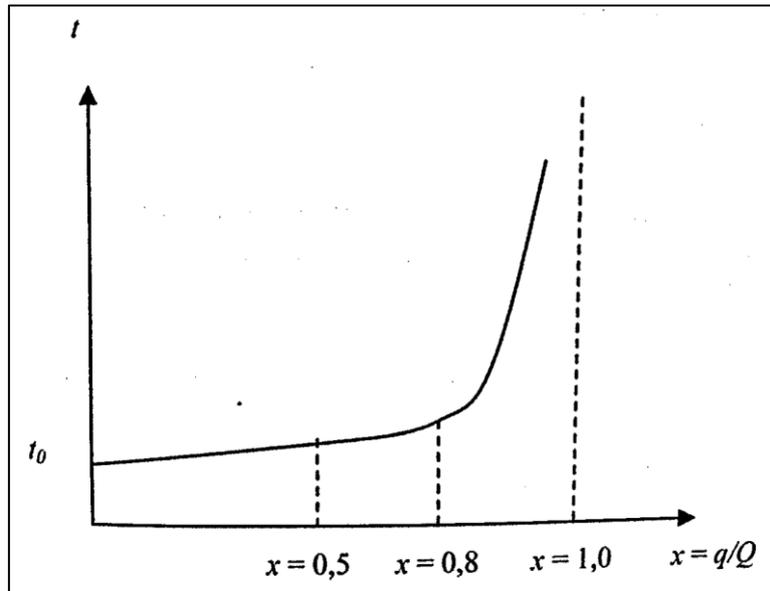


FIGURA 2.2.1: Tiempo de demora según el grado de saturación.

Fuente: Fernández, 2011.

El manual de capacidad de carreteras conocido como Highway Capacity Manual es una publicación que brinda conceptos y valores estimados debido a los estudios realizados en Estados Unidos. El manual proporciona conceptos, técnicas, métodos que evalúan la capacidad, nivel de servicio y los sistemas de control de las diferentes vías.

2.2.1 Capacidad

La capacidad se define como el número máximo de vehículos que pueden cruzar la intersección durante un tiempo determinado (Fernández, 2011). El manual de capacidad de carreteras analiza la capacidad y el nivel de servicio en una intersección para definir su estado. Según Radelat (1964), estos parámetros son factores que definen qué tan óptimo es el flujo vehicular, así como el tráfico diario que se genera en la intersección. La capacidad durante el tráfico depende de factores como los vehículos, conductores, el ambiente y los dispositivos viales.

$$C = S * \frac{ve}{c} \dots (2.2.2)$$

Donde:

C: Capacidad (veh/h)

S: Flujo de saturación (veh/h)

ve: Verde efectivo (segundos)

c: Ciclo del semáforo (segundos)

2.2.1.1 *Flujo de saturación*

El flujo de saturación es la cantidad máxima de vehículos que cruzan la intersección suponiendo que la disponibilidad del tiempo de verde efectivo es permanente en condiciones ideales. Se expresa en unidades de vehículos equivalentes por hora de tiempo de verde (Fernández, 2011).

El flujo de saturación es la cantidad máxima de vehículos que cruzan la intersección suponiendo que la disponibilidad del tiempo de verde efectivo es permanente en condiciones ideales. Se expresa en unidades de vehículos equivalentes por hora de tiempo de verde. El software SYNCHRO utiliza la metodología del High Capacity Manual (2010) para obtener la capacidad y el flujo de saturación. Para el High Capacity Manual, el flujo de saturación se obtiene a partir de un flujo de saturación ideal, el cual debe cumplir condiciones específicas.

Si la intersección cumple con las condiciones ideales, el valor del flujo de saturación es de 1900 veh/carril/hora. Sin embargo, si la intersección en donde se aplica la metodología del High Capacity Manual no cumple con las condiciones ideales mencionadas previamente, se deben realizar correcciones. Los factores que se toman en consideración son doce. Entonces, el flujo de saturación se obtendría a partir de la siguiente expresión:

$$s_i = s_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \dots (2.2.3)$$

Donde:

s_i : Flujo de saturación del grupo de carriles i (veh/h)

s_o : Flujo de saturación ideal por carril (veh/carril/hora)

N : Número de carriles

f_w : Factor de ajuste por ancho de carriles

fHV: Factor de ajuste por vehículos pesados

fg: Factor de ajuste por pendiente del acceso

fp: Factor de ajuste por estacionamientos

fb: Factor de ajuste por efecto de la parada de buses

fa: Factor de ajuste por tipo de área

fLU: Factor de ajuste por uso de carril

fLT: Factor de ajuste por giro a la izquierda

fRT: Factor de ajuste por giro a la derecha

fLpb: Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas

fRpb: Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas

Flujo de saturación ideal por carril (so):

A continuación, se describirán los factores de corrección en base al High Capacity Manual (2010).

El flujo de saturación ideal por carril se define como la tasa de flujo de saturación base y tiene un valor de 1900 veh/carril/hora. Según el HCM, este valor cumple para un área con 250.000 habitantes o más y en ciudades con cantidad de habitantes diferente, el valor es de 1750 veh/carril/hora.

Factor de ajuste por ancho de carril (fw):

El factor de ajuste por ancho de carril se considera debido al impacto que generan los carriles angostos en el flujo de los vehículos y la saturación de las vías. El ancho del carril es importante porque influye en el aumento de la saturación e indican si existe un bajo o alto flujo de saturación. Según el HCM, el ancho estándar de un carril es de 3.65 metros. Asimismo, el ancho mínimo es de 2.4 metros y a partir de 4.8 metros se considera una vía de dos carriles. Para valores que no cumplen con el carril estándar, el HCM 2010 plantea en la siguiente tabla el factor de ajuste a considerar.

Tabla 2.2.1: Parámetros para obtener la cola excedente.

| Promedio ancho carril (m) | Factor ajuste ancho de carril (f_w) |
|---------------------------|-----------------------------------------|
| +< 3.0 | 0.96 |
| 3.0 – 3.92 | 1.00 |
| > 3.92 | 1.04 |

Fuente: Propia.

El HCM 2000 indica que para anchos de carriles mayores a 2.4 metros y menores a 4.8 metros, se cumple la siguiente ecuación para obtener el factor de ajuste.

$$f_w = 1 + \frac{w-3.6}{9} \dots (2.2.4)$$

Donde:

f_w : Factor de ajuste por ancho de carriles

w: Ancho de carril (m)

Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}):

El factor de ajuste por vehículos pesados se considera debido a que el espacio que ocupan los vehículos pesados es mayor que el de los vehículos ligeros. Además, se considera también las paradas que tienen esta clase de vehículos. Se establece que los vehículos pesados equivalen a dos vehículos ligeros.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(ET-1)} \dots (2.2.5)$$

Donde:

f_{HV} : Factor de ajuste por vehículos pesados

HV: Porcentaje de vehículos pesados

ET: 2.0 pc/HV

Factor de ajuste por pendiente del acceso (f_g):

El factor de ajuste por pendiente del acceso se considera debido a los desniveles que generan las rampas y pendientes. El factor se encuentra entre el rango de -6% y 10%.

$$fg = 1 - \frac{\%G}{200} \dots (2.2.6)$$

Donde:

f_g : Factor de ajuste por pendiente del acceso

G: Porcentaje de grado del grupo de carril

Factor de ajuste por estacionamientos (f_p):

El factor de ajuste por estacionamientos se considera debido a que se genera conflicto entre el carril de estacionamiento con los demás carriles del grupo. El carril de estacionamiento genera demoras y contribuye a que se formen colas cada vez que un vehículo entra o sale. Los vehículos de los carriles adyacentes se detienen aumentando el tiempo de recorrido y perjudicando al conductor. Según el HCM, las maniobras de todo vehículo duran aproximadamente 18 segundos.

$$fp = \frac{N - 0.1 - \frac{18Nm}{3600}}{N} \dots (2.2.7)$$

Donde:

f_p : Factor de ajuste por estacionamientos

N: Número de carriles

Nm: Número de maniobras de estacionamiento por hora

Factor de ajuste por efecto de la parada de buses (f_{bb}):

El factor de ajuste por efecto de la parada de buses se considera debido a que cada parada de bus genera conflicto al cargar o descargar pasajeros. Para el análisis de una intersección es importante considerar todos los factores que generan demoras o colas contribuyen en el flujo y la saturación de las vías. Se tiene como límite 250 autobuses por hora y se considera un tiempo de bloqueo de 14.4 segundos para el carril, generando mayor tiempo de recorrido.

$$fbb = \frac{N - \frac{14.4Nb}{3600}}{N} \dots (2.2.8)$$

Donde:

fbb: Factor de ajuste por efecto de la parada de buses

N: Número de carriles

Nb: Número de paradas de autobuses

Factor de ajuste por tipo de área (fa):

El factor de ajuste por tipo de área se genera debido a que el flujo vehicular es diferente para lugares concurridos como zonas comerciales en comparación con lugares alejados. En zonas comerciales, la saturación de las vías es muy común. Es usual encontrar carriles angostos, gran cantidad de estacionamientos, paraderos, entre otros factores que afectan el flujo vehicular y generan mayor congestión vehicular. Para zonas que son afectadas por los factores mencionados anteriormente, se considera:

$$fa = 0.900 \text{ en CBD} \dots (2.2.9)$$

$$fa = 1 \text{ en todas las otras areas}$$

Factor de ajuste por uso de carril (fLU):

El factor de ajuste por uso de carril se genera debido a la saturación que se presenta en la vía por los movimientos de giro a la izquierda o derecha de los vehículos con más de un carril exclusivo. Sin embargo, se considera que el valor será 1 cuando la vía tiene solo un carril exclusivo.

$$fLU = \frac{vg}{vg1N} \dots (2.2.10)$$

Donde:

fLU: Factor de ajuste por uso de carril

vg: Tasa de flujo de demanda no ajustada para los carriles

vg1: Tasa de flujo de demanda no ajustada en el carril único en el grupo de carril con el mayor volumen

N: Número de carriles

Factor de ajuste por giro a la izquierda (f_{LT}):

El factor de ajuste por giro a la izquierda se genera debido a que éste influye en el flujo vehicular. Cuando un vehículo gira a la izquierda debe disminuir la velocidad para realizar una parada y forma colas generando demora en las vías. Es importante considerar esta clase de movimientos ya sean permitidos o protegidos porque generan atascos en la vía y aumentan los tiempos de recorrido, obstruyendo el paso de los vehículos que quieren continuar su camino.

Según el HCM 2010, para las vías donde existen carriles exclusivos, el valor de este factor es de 0.95. Para vías con doble carril se utiliza el valor de 0.92 y para intersecciones en T el valor es de 0.85 para un carril, y para dos carriles es de 0.75. Para los casos en donde no existen estas clases de carriles, se obtiene el valor del factor mediante la ecuación:

$$f_{LT} = \frac{1}{1+0.05(PLT)} \dots (2.2.11)$$

Donde:

f_{LT} : Factor de ajuste por giro a la izquierda

PLT: Proporción de LT en el grupo de carriles

Factor de ajuste por giro a la derecha (f_{RT}):

El factor de ajuste por giro a la derecha se considera debido a que el movimiento contribuye a que la vía se sature. El giro a la derecha genera conflicto con los ciclistas y peatones, el tiempo del recorrido incrementa y por lo tanto se generan demoras y colas. Por lo tanto, es necesario darle la importancia necesaria así sea un movimiento permitido o protegido.

Para aquellos carriles protegidos compartidos o no, el HCM 2010 considera el valor de 0.85 y para carriles dobles el valor es de 0.75. Según el HCM 2000, el factor cumple la ecuación (1) para carriles compartidos. Para los carriles que tienen un solo carril se cumple la ecuación (2).

$$f_{RT} = 1 - 0.15 * PRT \dots (2.2.12)$$

$$f_{RT} = 1 - 0.135 * PRT \dots (2.2.13)$$

Donde:

f_{RT} : Factor de ajuste por giro a la derecha

PRT : Proporción de RT en el grupo de carriles

Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas (f_{Lpb}):

El factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas se considera debido al conflicto que existe entre los peatones y ciclistas con los vehículos. Cuando un vehículo genera un movimiento a la izquierda o derecha interfiere con el paso de los peatones o ciclistas. Por ello, es necesario considerarlos y se obtiene el factor con la siguiente ecuación:

$$f_{Lpb} = 1 - PLT(1 - ApbT)(1 - PLTA) \dots (2.2.14)$$

Donde:

f_{Lpb} : Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas

PLT : Proporción de LT en el grupo de carriles

$ApbT$: Ajuste de fase permitido

$PLTA$: Proporción de LT

Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas (f_{Rpb}):

El factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas se considera debido a que se genera conflictos con los vehículos. Cuando los peatones, ciclistas y vehículos se encuentran en la misma vía, es necesario considerarlos debido a que afecta en el flujo vehicular. Se obtiene el valor de la siguiente ecuación:

$$f_{Rpb} = 1 - PRT(1 - ApbT)(1 - PRTA) \dots (2.2.15)$$

Donde:

f_{Rpb} : Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas

P_{RT} : Proporción de RT en el grupo de carriles

A_{pbT} : Ajuste de fase permitido

$PLTA$: Proporción de RT

2.2.2 Verde efectivo

Según Valencia (2000), en la ingeniería de tráfico, se utiliza el parámetro del verde efectivo que se define como el tiempo de verde que es utilizado realmente por los vehículos. El verde efectivo es aquel que inicia cuando el conductor procesa la información para poder iniciar el recorrido y termina cuando el último vehículo continúa avanzando al aparecer la luz ámbar (Figura 2.2.2). Los vehículos aceleran y desde ese momento la descarga de la cola empieza hasta que la tasa de descarga es aproximadamente constante (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

Para obtener el tiempo de verde efectivo, se determinan los desfases de tiempo al iniciar y terminar el verde. El desfase inicial se denomina como tiempo perdido y la duración es igual al tiempo que se demora el vehículo para iniciar el recorrido (Dall'Orto et al., 1992). El desfase final se denomina como tiempo de ganancia y se considera desde que inicia la luz ámbar, pero el último vehículo continúa su recorrido hasta que para.

$$v_e = v - \gamma_1 - \gamma_2 \dots (2.2.16)$$

Donde:

v_e : Verde efectivo (segundos)

v : Verde real (segundos)

γ_1 : Tiempo perdido (segundos)

γ_2 : Tiempo de ganancia (segundos)

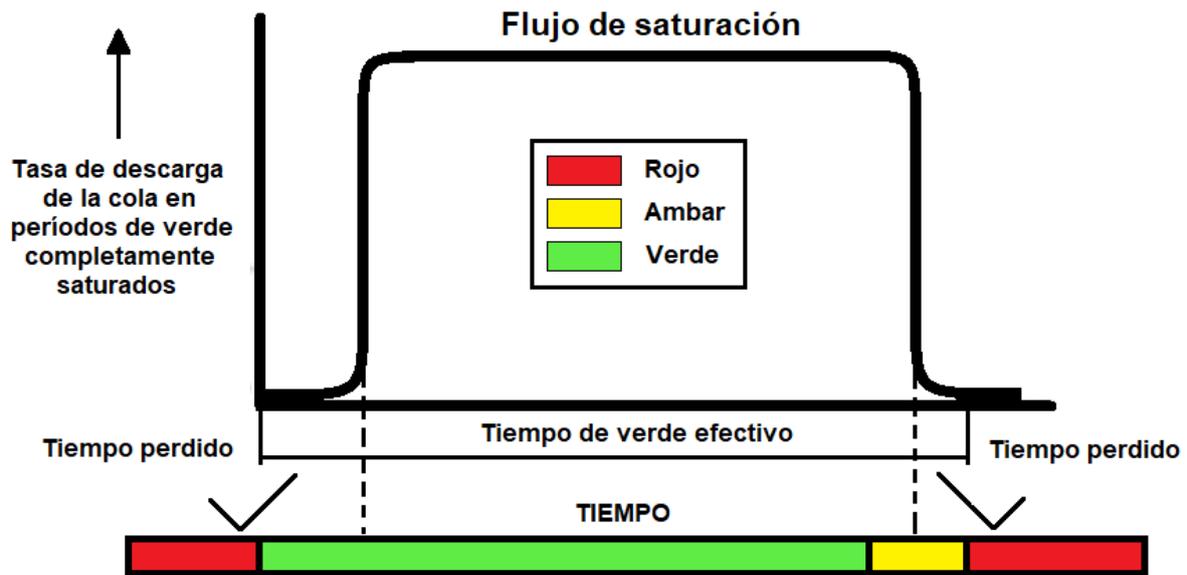


FIGURA 2.2.2: Diagrama del tiempo de verde del semáforo.

Fuente: Adaptación de Glanville, 1957.

2.2.3 Demanda

La demanda se define como la cantidad de vehículos que necesitan o desean utilizar un acceso durante un tiempo determinado (Bull, 2003). Es necesario conocer el valor de este parámetro debido a que con la cantidad de vehículos actual se puede predecir las condiciones que se deben tener en las vías en un futuro. Como se observa en la figura 2.2.3, las vías pueden aumentar su capacidad para que no se saturen y se produzca congestión vehicular o reducir la demanda para que no se alcance la capacidad brindada (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

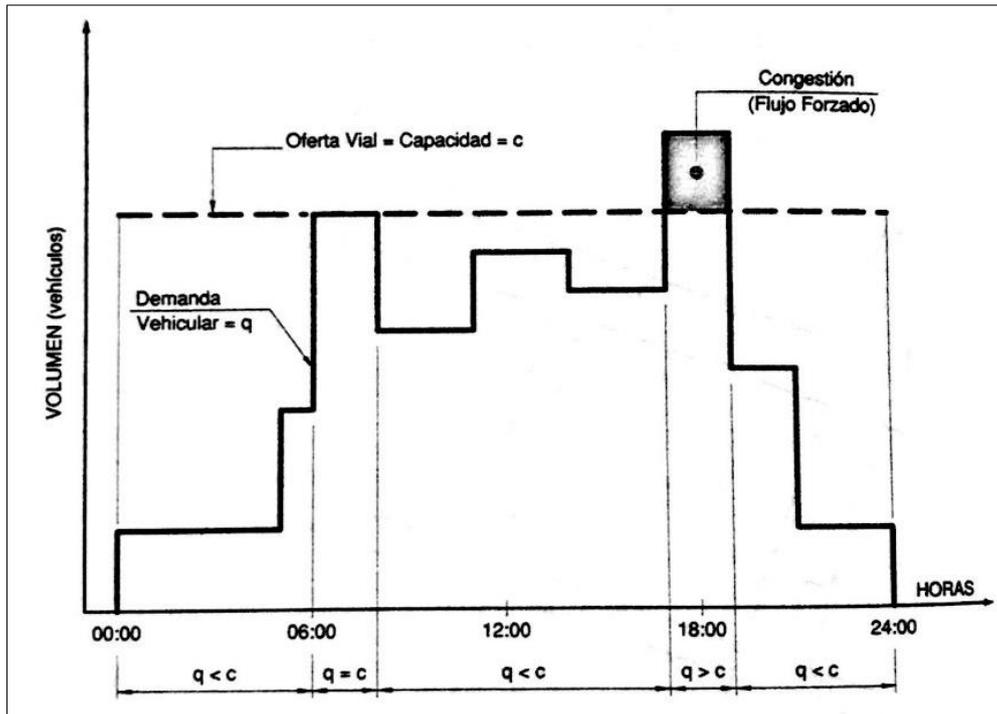


FIGURA 2.2.3: Oferta y demanda vehicular.

Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas, 2013.

2.3 COLAS

Las colas se generan cuando los usuarios llegan a una estación de servicio que tiene una determinada capacidad y esperan un periodo de tiempo. Si la estación de servicio no está disponible inmediatamente y el usuario decide esperar, entonces se forman las colas (Fernández, 2011).

Según Gibson (2001), en el caso de las colas que se forman en las vías, estas se generan cuando los vehículos tienen que dar un giro a la derecha o izquierda, llegan a un estacionamiento, un "cuello de botella", un cruce de calle o una intersección semaforizada.

2.3.1 Colas en intersecciones semaforizadas

Las colas son parámetros relacionados al congestionamiento vehicular y se forman durante la máxima demanda de vehículos. Las colas se forman debido a la acumulación de vehículos que se detienen (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007). Se generan porque la demanda supera la capacidad de las vías durante periodos largos de tiempo o intermitentes y además cuando la

capacidad disminuye y es inferior a la demanda (Tapia y Veizaga, 2006). Las colas son indicadores de eficiencia y el problema se denota cuando se identifican colas y se busca que el flujo de autos sea más fluido en las vías (Gonzales y Sepúlveda, 2010). Como se observa en la Figura 2.3.1, las colas aumentan debido al aumento de demanda que existe en una intersección.

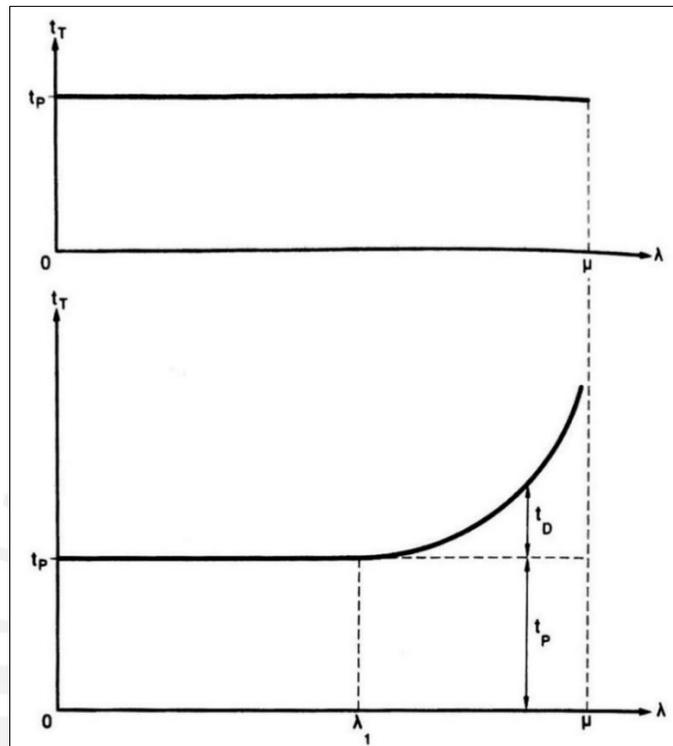


FIGURA 2.3.1: Aumento del tiempo de demora a partir del aumento de la demanda.

Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas, 2007

A medida que los vehículos realizan su recorrido, el tiempo de demora es el mismo para todos. Cuando la cantidad de vehículos empieza a incrementar hasta alcanzar la capacidad de la vía, el tiempo de demora de los vehículos aumenta drásticamente. En este instante se genera el congestionamiento vehicular (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013).

En las intersecciones, durante el ciclo del semáforo, los vehículos se detienen al iniciar el rojo y esperan hasta que inicie el verde para poder continuar con su recorrido. Sin embargo, no todos los vehículos logran cruzar la vía por diversos factores y se identifican distintos tipos de colas. En las intersecciones semaforizadas, se forman tres tipos de colas. Entre ellas están la longitud máxima de cola, la cola excedente y la máxima extensión de cola.

2.3.2 Longitud máxima de cola

La longitud máxima de cola se forma durante la duración del ciclo del semáforo en una intersección semaforizada. Cuando se inicia la fase de verde, los vehículos acumulados durante la fase de rojo inician su recorrido hasta que la fase finaliza (Cal y Mayor & Cárdenas, 2013). La longitud máxima de cola se identifica desde el inicio de la fase del verde efectivo y depende tanto de los vehículos previos como del flujo vehicular que arriba para cruzar la vía.

$$N = N_o + qr_e \dots (2.3.1)$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

N_o : Cola excedente (veh)

q: Tasa de llegada

r_e : Tiempo de rojo efectivo

Para poder obtener la longitud máxima de cola, se debe describir primero los parámetros de los que depende. A continuación, se describirán los parámetros mencionados previamente.

2.3.3 Cola excedente

La cola excedente se genera debido a la congestión vehicular. Según Fernández (2011), cuando la demanda vehicular de una vía alcanza la capacidad que esta brinda, se satura. Al saturarse una vía, los vehículos se acumulan y se forman colas.

La cola excedente es formada por la cantidad de vehículos que no logran cruzar la intersección durante la fase de verde efectivo del ciclo del semáforo. Al terminar la fase de verde y empezar la fase de rojo, los vehículos acumulados son los considerados como la cola excedente (Gibson, 2001). El valor de la cola excedente puede ser cero o puede tener otra magnitud que depende de la demanda vehicular. Para obtener la cola excedente, se utiliza la función transformada de Whiting al igual que ciertas consideraciones.

Función transformada de Whiting:

La función transformada de Whiting se utiliza para aquellos casos en donde la saturación y diversos factores aleatorios generan una demora que es diferente a la demora constante que asume la función (Figura 2.3.2). Para estos casos, en donde la cola no se reduce a cero durante la fase de verde, se forma la cola excedente e influye en la longitud máxima de cola (Fernández, 2011).

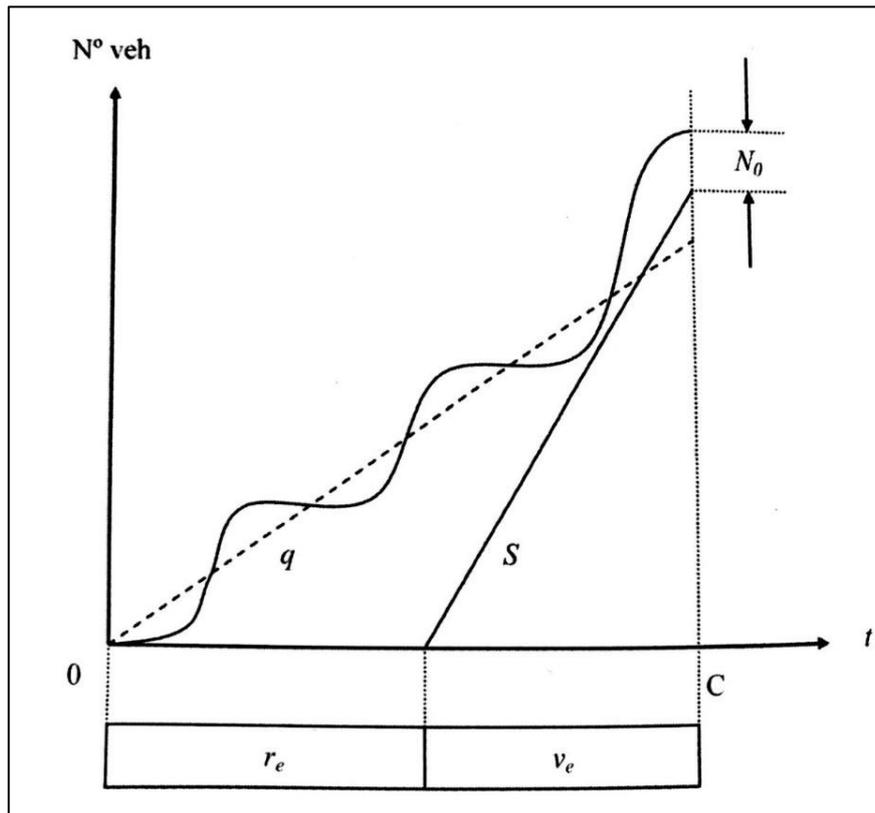


FIGURA 2.3.2: Presencia de efectos aleatorios en las colas.

Fuente: Fernández, 2011.

De la función, se han realizado aproximaciones para obtener una ecuación que describa el comportamiento de la cola excedente.

$$N_0 = \frac{Qt}{4} \left[(x - 1)^2 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8k(x - x_0)}{Qt}} \right] \dots (2.3.2)$$

Donde:

No: Cola excedente (vehículos)

Q: Capacidad

t: Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes

x: Grado de saturación

k: Parámetro calibrado

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

Se considera que el valor de la cola excedente es cero cuando el grado de saturación es menor a 0.7, es decir, para casos en donde no se genera congestión en la intersección.

2.3.3.1 *Tasa de llegada*

La tasa de llegada, también llamada demanda, es la cantidad de vehículos que requieren ingresar a un acceso durante un tiempo determinado. Los vehículos usan un flujo determinado e intentan cruzar la intersección.

2.3.3.2 *Rojo efectivo*

Se identifica que el parámetro del rojo efectivo inicia durante el intervalo de ámbar, cuando el ultimo vehículo ha terminado de pasar y ningún otro continua el recorrido. El fin del rojo efectivo se da durante el intervalo de verde antes de que el primer vehículo de la cola inicie su recorrido (Valencia, 2000).

Una vez que se tiene el ciclo del semáforo y el tiempo de verde efectivo, el rojo efectivo se obtiene de ambos porque acumula los desfases que se dan durante todo el ciclo.

$$re = c - ve \dots (2.3.3)$$

Donde:

re: Rojo efectivo (segundos)

c: Ciclo del semáforo (segundos)

ve: Verde efectivo (segundos)

2.4 MODELOS PREVIOS DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA

2.4.1 Modelo propuesto por F. V. Webster

En las intersecciones semaforizadas aisladas, la longitud de cola que forman los vehículos es un parámetro importante para determinar la calidad del control de tráfico de las vías. Según Webster & Cobbe (1966), los criterios para obtener la duración optima de un ciclo del semáforo y sus fases son minimizar la demora y la cola, es decir, la congestión.

Cuando el flujo vehicular es bajo e inicia la fase de verde, la longitud de cola es igual al número de vehículos que llegan durante la fase de rojo. Se determinó que, para estos casos, la longitud de cola cumple con la distribución de Poisson. Sin embargo, para casos en donde las vías están saturadas, se refleja una desviación considerable en la distribución de Poisson. Cuando existe congestión vehicular, la longitud de cola al comienzo de la fase de verde es la cola máxima en cada ciclo (Fernández, 2011)

Según Webster & Cobbe (1966), es importante conocer la longitud de la cola en una intersección. Para casos en donde se presenta congestión vehicular, se obtiene la cola al comienzo de la fase de verde a partir de una formula derivada. La fórmula no considera de cinco a diez por ciento de la extensión de la cola debido a que supone que los vehículos se unen a la cola cuando llegan a la línea de parada y no antes. Para determinar la cola máxima durante el ciclo del semáforo, se utiliza el máximo valor que se obtenga de las siguientes ecuaciones:

$$N = q * \left(\frac{re}{2} + d \right) \dots (2.4.1)$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

q: Tasa de llegada

re: Tiempo de rojo efectivo

d: Retraso promedio por vehículo

$$N = q * re \dots (2.4.2)$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

q: Tasa de llegada

r_e : Tiempo de rojo efectivo

En la práctica se observó que los vehículos arribaban a la intersección antes de la línea de parada debido a una cola existente. Sin embargo, se había asumido en la teoría que los vehículos arribaban a las intersecciones en la línea de parada. Asimismo, se asumió que la velocidad de los vehículos era constante y en la práctica se observó que los vehículos reducían su velocidad (Glanville, 1957). Por ello, se realizaron ciertas correcciones:

$$N = q \left(\frac{r_e}{2} + d \right) \left(1 + \frac{qj}{av} \right) \dots \quad (2.4.3)$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

q: Tasa de llegada

r_e : Tiempo de rojo efectivo

d: Retraso promedio por vehículo

j: Espacio promedio entre los vehículos de la cola

a: Número de carriles

v: Velocidad de circulación libre del tráfico

Según Webster & Cobbe (1966), las fórmulas mencionadas previamente cumplen para aquellas intersecciones en donde el semáforo está programado para que los tiempos de fase se repitan. Asimismo, cumplen para semáforos inteligentes en donde hay demanda vehicular y la fase del tiempo de verde no varía mucho en los ciclos del semáforo.

F. V. Webster definió una expresión que se asemeja a la función transformada de Whiting. Esta fórmula se utiliza para obtener la longitud excedente de cola. La longitud excedente de cola

forma parte de la longitud máxima de cola y es un factor importante debido a que define la cantidad de vehículos que se encuentran al inicio de la fase de rojo (Fernández, 2011).

$$N_o = \frac{Qt}{4} [(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8k(x-x_o)}{Qt}}] \dots (2.4.4)$$

Donde:

No: Cola excedente (vehículos)

Q: Capacidad

t: Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes

x: Grado de saturación

k: Parámetro calibrado

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

La longitud excedente de cola depende de los factores aleatorios que se presentan en la intersección y que impide que todos los vehículos crucen la vía durante la fase de verde (Fernández, 2011). En esta fórmula, los valores de los parámetros xo y k que definió son:

$$x_o = 0$$

$$k = x/2$$

2.4.2 Modelo de longitud máxima de cola propuesto por R. Akcelik

La cola se define como un conjunto de vehículos o peatones esperando para cruzar una intersección, paso de peatones u otro punto de interrupción. Los peatones o vehículos que se unen a una cola formada, son considerados como parte de ella. La cola se puede medir como una distancia o cantidad de personas o peatones (McElroy, 2008).

R. Akcelik desarrolló un modelo micro analítico llamado Sidra Intersection en Australia. Sidra Intersection es una herramienta de microsimulación de tráfico que esta calibrado de acuerdo a las condiciones de este país e indica que los valores predeterminados varían según el país a analizar. El software se utiliza para analizar intersecciones, rotondas, vías de entrada y salida,

etc. Asimismo, permite modelar el movimiento de los diferentes vehículos como: vehículos ligeros, vehículos pesados, autobuses y bicicletas. La clase de vehículos, el comportamiento del conductor, entre otros factores, varían de acuerdo al país donde se utilizará el software. Por ello, es necesario que el modelo sea calibrado de acuerdo a las condiciones de la ubicación (Akcelik, 1998).

La fórmula dada para obtener la longitud máxima de cola considera que tienen un componente uniforme y un componente aleatorio. El componente uniforme supone que la tasa de llegada o la demanda es constante y se expresa en relación a la fase de rojo. El componente aleatorio se expresa en función de la cola excedente (Gibson, 2001). La longitud máxima de cola se basa en un modelo teórico que supone que los vehículos se unen a la cola cuando llegan a la línea de parada. Sin embargo, se identifica que los vehículos llegan a la cola antes debido a diferentes factores aleatorios (Akcelik, 2000).

En las intersecciones semaforizadas, se identifica la cantidad de vehículos en la cola al comienzo de la fase de verde mediante la fórmula:

$$N = N_o + q r_e \dots \quad (2.4.5)$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

N_o: Cola excedente (veh)

q: Tasa de llegada

r_e: Tiempo de rojo efectivo

La longitud de cola excedente es el número promedio de vehículos que forman parte de la cola al final de la fase de verde. Se genera debido a la sobresaturación de las vías y puede durar pocos ciclos del semáforo o durante periodos largos de tiempo. Asimismo, la cola excedente se presenta en vías que no están saturadas debido a factores aleatorios de la tasa de flujo de llegada (Akcelik, 2011).

Los factores aleatorios en las tasas de flujo de llegada son despreciables cuando los grados de saturación son bajos. Según Akcelik (2011), a medida que la demanda aumenta y empieza a

alcanzar la capacidad de la vía, la longitud de la cola excedente aumenta y por ende también la demora para lograr cruzar las intersecciones. En este caso, la longitud de cola excedente crece de manera continua hasta que la demanda se reduce por debajo de la capacidad y las colas se reducen. La fórmula que se utiliza para calcular la longitud de cola excedente es la siguiente:

$$N_o = \frac{Qt}{4} \left[x + \sqrt{x^2 + \frac{12(x-x_o)}{Qt}} \right] \dots (2.4.6)$$

Donde:

No: Cola excedente (vehículos)

Q: Capacidad

t: Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes

x: Grado de saturación

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

El grado de saturación que considera efectos aleatorios es considerado como el grado de saturación mínimo para que la el valor de la cola excedente sea diferente de cero (Akcelik, 2011). Para obtener su valor, se utiliza la siguiente fórmula:

$$x_o = 0.67 + S * \frac{ve}{600} \dots (2.4.7)$$

Donde:

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

S: Flujo de saturación (veh/h)

ve: Verde efectivo (segundos)

Finalmente, para obtener la longitud máxima de cola se necesita establecer una fórmula que describa el comportamiento de la cola excedente. La fórmula ya planteada para obtenerla se asemeja a la formula derivada de la función transformada de Whiting. Se utiliza un parámetro k que determina la tasa de aumento de retraso.

El parámetro que se considera es el siguiente:

$$k = 3/2$$

2.4.3 Modelo propuesto por Nagui Roupail

Los retrasos y las colas que se generan en el tráfico, son principales medidas de eficiencia y rendimiento. Por ello, es necesario que se conozca el comportamiento del tráfico en todo momento. Es importante entender que las colas dependen de componentes aleatorios y uniformes (Figura 2.4.1). Las suposiciones para el componente aleatorio son: la cola inicial al inicio de la fase de verde es cero, el patrón de llegada a la intersección es uniforme y las vías no se encuentran saturadas (Roupail, Tarko & Li, 2016).

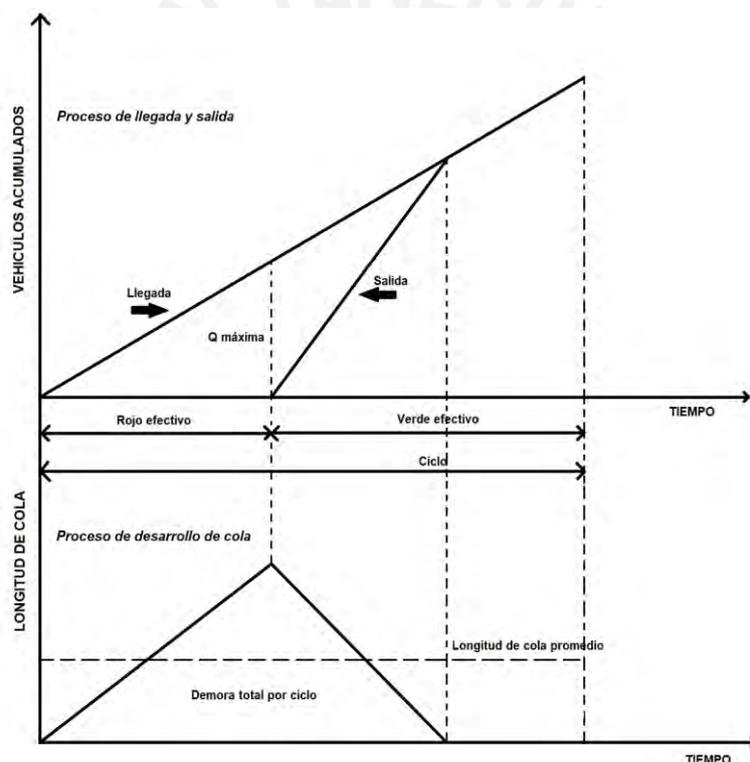


FIGURA 2.4.1 Comportamiento de la cola debido al componente aleatorio.

Fuente: Adaptación de Roupail, Tarko y Li, 2016

Según Roupail, Tarko y Li (2016), se plantea un modelo en Estados Unidos que asume que la tasa de llegada tiene un tiempo de duración determinado, es decir, solo se presenta durante un

periodo de tiempo. Por ello, las colas se pueden obtener de modelos dependientes del tiempo y cumple para vías que están o no saturadas.

La cola es el resultado de las "colas residuales" que se generan debido a que durante el ciclo del semáforo los vehículos no logran cruzar la intersección. Una de las principales fórmulas que dependen del tiempo y describen el comportamiento del tráfico es la fórmula transformada de Whiting. Se determina que, para obtener la cola excedente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$N_o = Qt \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8k(x-x_o)}{Qt}} \right] \dots (2.4.8)$$

Donde:

No: Cola excedente (vehículos)

Q: Capacidad

t: Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes

x: Grado de saturación

k: Parámetro calibrado

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

Los parámetros xo y k se utilizan para describir el comportamiento de la cola excedente en un estado estacionario y, que después, puede describir el comportamiento conforme pase el tiempo (Fernández, 2011). Para obtener los valores de ambos parámetros, se calibro un nuevo modelo a partir de datos obtenidos para describir el comportamiento de la cola excedente en intersecciones semaforizadas aisladas.

Tabla 2.4.1: Parámetros para obtener la cola excedente.

| xo | k |
|-----------|----------------------------------|
| 0.5 | $1.22 * I_u * (S * v_e)^{-0.22}$ |

Adaptado: Fernández, 2011.

Donde:

xo: Grado de saturación que considera efectos aleatorios

Iu: Relación de varianza a media de la llegada por ciclo

S: Flujo de saturación (veh/h)

ve: Verde efectivo (segundos)

El valor de k está en el rango de 0.5 a 1 y fue calibrado de tal forma que maximiza el ajuste estadístico de las estimaciones del modelo. Este valor depende de la relación de varianza a medida de la llegada por ciclo y debido a que cumple con la ecuación de Poisson, el valor es de 1.

2.4.4 Modelo propuesto por Donald Mc Neil

La cola se genera debido a los vehículos que llegan a una intersección semaforizada. Las intersecciones constan de semáforos que alternan las fases entre sí. Durante la fase de verde, los vehículos que se quedan retenidos en la fase de rojo, se disipan. Los vehículos arriban a la intersección con una frecuencia que se asemeja a la de Poisson (Ohno & Mine, 1973).

Mc Neill (1968) proporciona una expresión que describe la longitud de la cola excedente al final de la fase de verde. La expresión se determinó de manera analítica y por medio de un software. Se obtuvo la expresión al derivar la longitud de la cola que se encontraba durante el ciclo del semáforo (Figura 2.4.2). Se determina que el ciclo del semáforo consta de una fase de rojo y una fase de verde consecutiva.

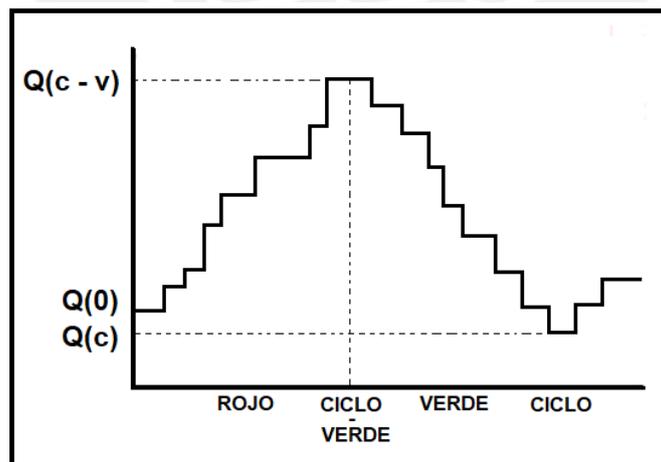


FIGURA 2.4.2: Comportamiento de la cola durante un ciclo del semáforo.

Fuente: Mc Neil, 1968.

Para la determinación de la longitud de cola, se considera que la cola al inicio de un intervalo de tiempo "t", es cero. Esta longitud crece linealmente hasta obtener un valor máximo al final del intervalo de tiempo. Cuando la demanda vehicular es menor a la capacidad, la cola que se produjo debido a la sobresaturación de la vía, se disipara (Mc Neil, 1968).

Para determinar la cola excedente, se utiliza una expresión derivada de la función transformada de Whiting. Con esta expresión, todos los casos que se encuentran en un estado estacionario se transforman a una función de transición. Los valores que se obtienen cumplen con dar resultados en función de factores aleatorios para vías saturadas. La expresión que se utiliza es:

$$N_o = 0.25 * Q t * [(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8k(x-x_o)}{Qt}}] \dots (2.4.9)$$

Donde:

No: Cola excedente (vehículos)

Q: Capacidad

t: Periodo en el que la capacidad y la demanda son constantes

x: Grado de saturación

k: Parámetro calibrado

Los parámetros x_o y k son determinados por McNeil (1968) mediante el software TRANSYT. Este software permite obtener la programación adecuada de los semáforos con la finalidad de reducir colas y demoras. Cabe resaltar, que estudios recientes consideran que el software carece de ciertas consideraciones para que realice una correcta modelación. Los valores para x_o es cero y para k es 0.5.

3.METODOLOGÍA

La longitud máxima de cola es un parámetro que indica la cantidad de vehículos que se encuentran en las intersecciones semaforizadas durante la fase de verde efectivo. Para el presente estudio, se realizó un análisis de la posible intersección. Con la intersección seleccionada, se obtuvieron los parámetros geométricos, la información del flujo vehicular, la capacidad y los tiempos del semáforo. Asimismo, se presentaron los datos de la máxima longitud de cola de la intersección y se realizó el análisis estadístico de los resultados.

El presente estudio tiene una metodología cuantitativa debido a que evaluara los datos de manera numérica. Asimismo, se utilizará la estadística como base para determinar los datos que se utilizaran.

3.1 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Para el estudio, se consideró que las intersecciones debían tener un grado de saturación mayor a 0.7. En otros términos, la intersección a estudiar debe presentar congestión vehicular en donde se observe cola, es decir, acumulación de vehículos. En las intersecciones, es muy común que se interfiera con la circulación vehicular durante determinadas horas. Por ello, en las visitas a campo se registraron las horas en las que había presencia de cola, así como las zonas cercanas en donde se podría registrar la cantidad de vehículos acumulados mediante videos.

Se debe considerar que la intersección elegida para el estudio debe ser una intersección semaforizada y en este caso el tipo de semáforo es de tiempo fijo, es decir, está programado para que los tiempos de fases sean repetitivos. Las vías de la intersección evaluadas son la Av. Lima el y Jiron Bolognesi (Figura 3.1.2), ubicadas en el distrito de San Miguel (Figura 3.1.1).

Se evaluaron los factores que afectarían el estudio como posibles construcciones aledañas, presencia de estacionamientos, presencia de paraderos de autobuses, pistas en donde se realiza mantenimiento de manera constante, etc. Alguno de los factores mencionados previamente se puede presentar en las intersecciones en donde se realizó el estudio pues son factores que se toman en cuenta y se realiza una corrección en el flujo vehicular. Sin embargo, el exceso de estos factores afecta de manera considerable al estudio ya que alteran la circulación vehicular e incrementan el tráfico de las vías.

En la avenida Lima y en el Jirón Bolognesi se contó con la presencia de paradero de autobuses. Sin embargo, en la avenida Lima existía mayor presencia de buses que en el Jiron Bolognesi.

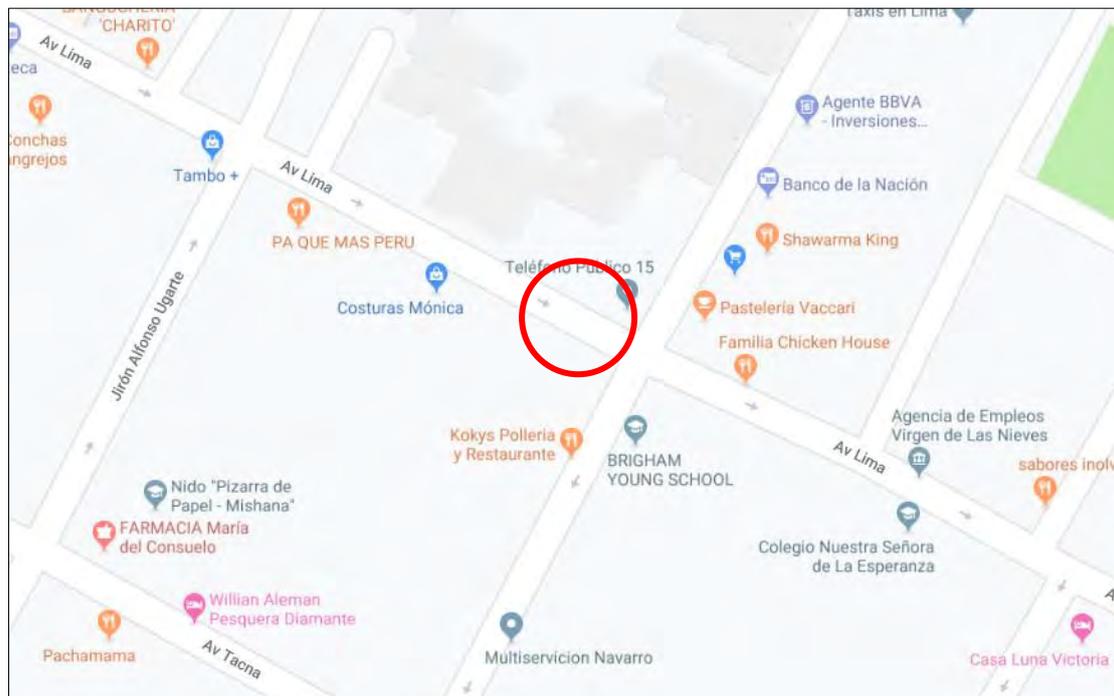


FIGURA 3.1.1: Ubicación de la intersección en estudio.

Fuente: Google Maps. Visitado: 20/11/2018.

3.2 GEOMETRÍA DE LA INTERSECCIÓN

Para obtener la geometría de las vías de la intersección, se realizó una visita a campo y se tomaron las medidas respectivas. Se utilizó una cinta métrica y se obtuvieron los anchos de los carriles. Asimismo, se obtuvo la pendiente mediante un eclímetro. Ambos parámetros fueron necesarios para poder obtener la capacidad según el software SYNCHRO 8.0, como se indicará posteriormente.

El presente trabajo analizará la intersección de ambas vías. Para el análisis de la intersección, no es necesario realizar un levantamiento topográfico debido a que no se realizara un nuevo diseño de las vías. La precisión al utilizar la cinta métrica es suficiente para la toma de medidas en campo del presente trabajo.

Como se observa en la Figura 3.2.1, la intersección es considerada como una intersección en cruz cuyas vías que interceptan son Av. Lima y Jirón Bolognesi. La Av. Lima es una vía de

una dirección y consta con dos carriles. El ancho de los dos carriles es de 7.57 metros y se divide equitativamente en dos.

El Jiron Bolognesi es una vía de una dirección por un tramo y de dos direcciones por el otro lado. Consta con dos carriles cuyo del ancho es de 7.26 metros y se divide equitativamente en dos.

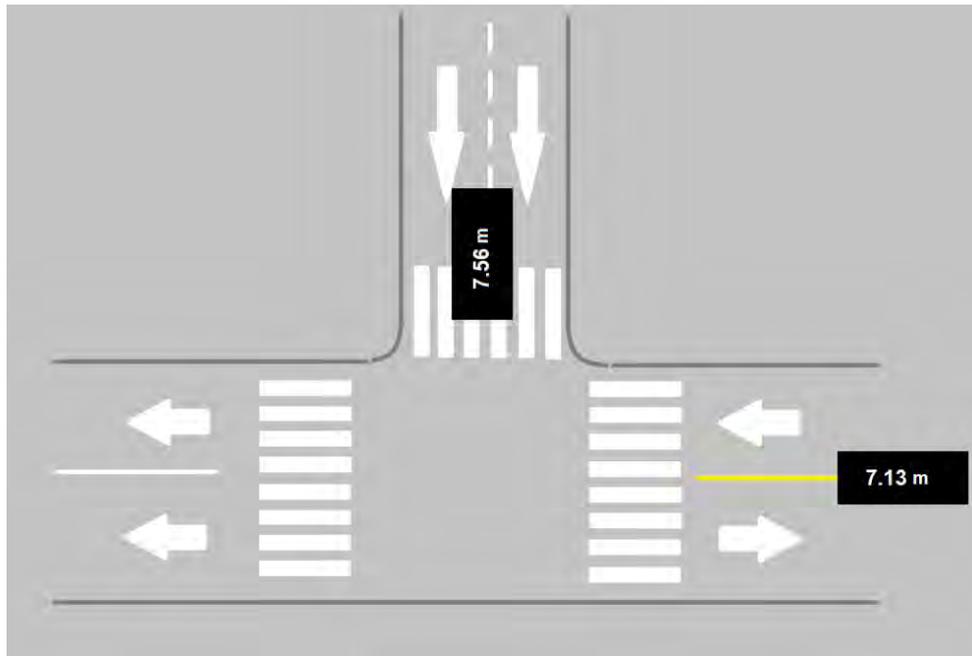


FIGURA 3.2.1: Ancho de los carriles de las vías del estudio.

Fuente: Propia.

La pendiente de ambas vías se obtuvo mediante el uso de un eclímetro (Figura 3.2.2). Se colocó el instrumento en cada una de las vías, se centró la burbuja y se obtuvieron los ángulos que se forman. El ángulo que se lee en el instrumento indica la pendiente de la vía. La magnitud del ángulo que se obtuvo para la Avenida Lima es de 5% y del Jirón Bolognesi es de 3%.



FIGURA 3.2.2: Eclímetro utilizado para obtener la pendiente de las vías.

Fuente: Propia.

3.3 METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA

La longitud máxima de cola se obtiene mediante el cálculo de parámetros cuya magnitud se registra directamente de las visitas a campo. La fórmula que se utilizó es la siguiente:

$$N = N_o + qr_e$$

Donde:

N: Longitud máxima de cola (veh)

N_o: Cola excedente (veh)

q: Tasa de llegada

r_e: Tiempo de rojo efectivo

Para obtener la longitud máxima de cola, es necesario conocer primero el parámetro de la cola excedente. A continuación, se definirá el parámetro mencionado previamente.

3.3.1 Cola excedente de la intersección

Este parámetro se obtiene mediante el conteo de vehículos que se registran en los videos esperando poder cruzar la intersección. La cantidad de vehículos que se registran corresponde a aquellos que se acumulan al iniciar la fase del tiempo de rojo hasta que los vehículos inician su recorrido.

Los videos corresponden a los días lunes 2, martes 3, miércoles 4 y jueves 5 de setiembre del 2019. La duración de las grabaciones es de una hora y se realizaron entre las 7:00 am – 8:00 am. Las grabaciones solicitadas se realizaron en una semana donde los días laborales no se vieron afectados por ningún feriado nacional u otro factor atípico. Los semáforos funcionaron de manera correcta durante estos días por lo que el flujo vehicular no se vio afectado.



FIGURA 3.3.1: Cola formada en la Av. Lima.

Fuente: Municipalidad de San Miguel. Año: 2019.



FIGURA 3.3.2: Cola formada en el Jiron Bolognesi.

Fuente: Municipalidad de San Miguel. Año: 2019.

3.4 DEMANDA EN LA INTERSECCIÓN

El flujo vehicular se obtuvo de los videos brindados por la Municipalidad Distrital de San Miguel - Lima. Se realizo una solicitud dirigida al área de informática. Los videos corresponden a los días lunes 2, martes 3, miércoles 4 y jueves 5 de setiembre del 2019. El tiempo de los periodos analizados es de quince minutos. La duración de las grabaciones es de cuatro horas y se realizaron entre las 7:00 am – 8:00 am. Las grabaciones solicitadas se realizaron en una semana donde los días laborales no se vieron afectados por ningún feriado nacional u otro factor atípico. Los semáforos funcionaron de manera correcta durante estos días por lo que el flujo vehicular no se vio afectado.



FIGURA 3.4.1: Transito en la Av. Lima.

Fuente: Municipalidad de San Miguel. Año: 2019.



FIGURA 3.4.2: Transito en Jiron Bolognesi

Fuente: Municipalidad de San Miguel. Año: 2019.

Para obtener el flujo vehicular, se realizó el conteo de los vehículos en las vías que se interceptaban. En este caso, las vías son: "Av. Lima" y "Jiron Bolognesi". La Av. Lima consta de dos carriles y el Jiron Bolognesi cuenta con dos carriles, pero se estudiará solo el que se ve afectado por el semáforo. Los videos se dividieron en cuatro periodos de quince minutos y se realizó el conteo correspondiente. Cabe recalcar que no existía diferencia con la clase de vehículos que se presentaban, es decir, se registraron los autos, mototaxis o motocicletas como vehículos, sin utilizar alguna equivalencia entre ellos.

3.5 CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN

Para obtener la capacidad, primero se determinó el flujo de saturación mediante el software SYNCHRO 8.0. Asimismo, los tiempos del semáforo se obtuvieron mediante videos realizados en las visitas a campo.

SYNCHRO 8.0

El software SYNCHRO 8.0 es utilizado para obtener el calculo de la capacidad de una intersección. El software implementa la utilización Interseccion Capacidad (UCI) y los métodos deLl High Capacity Manual 2010.

Los parámetros que necesitas definir para obtener la capacidad de la intersección es la cantidad de carriles y la dirección de cada uno. Asimismo, el ancho de los carriles, el volumen de trafico y sus pendientes. Se debe definir el tipo de área, es decir, si la intersección se encuentra en la ciudad o al exterior. El programa evaluará los factores que son parte del High Capacity Manual y los implementará en el cálculo. Se definen la cantidad de veces de conflicto con los peatones y los ciclistas, la cantidad de paradas de buses y si hay estacionamientos cercanos a la intersección. Finalmente, se deben definir el ciclo del semáforo, el tiempo de ambar y el tiempo total de rojo.

Es importante saber que el volumen de tráfico esta en función de la cantidad de vehículos por hora. Esta cantidad se define como el múltiplo del periodo de quince minutos mas critico evaluado durante el periodo de la hora definida.

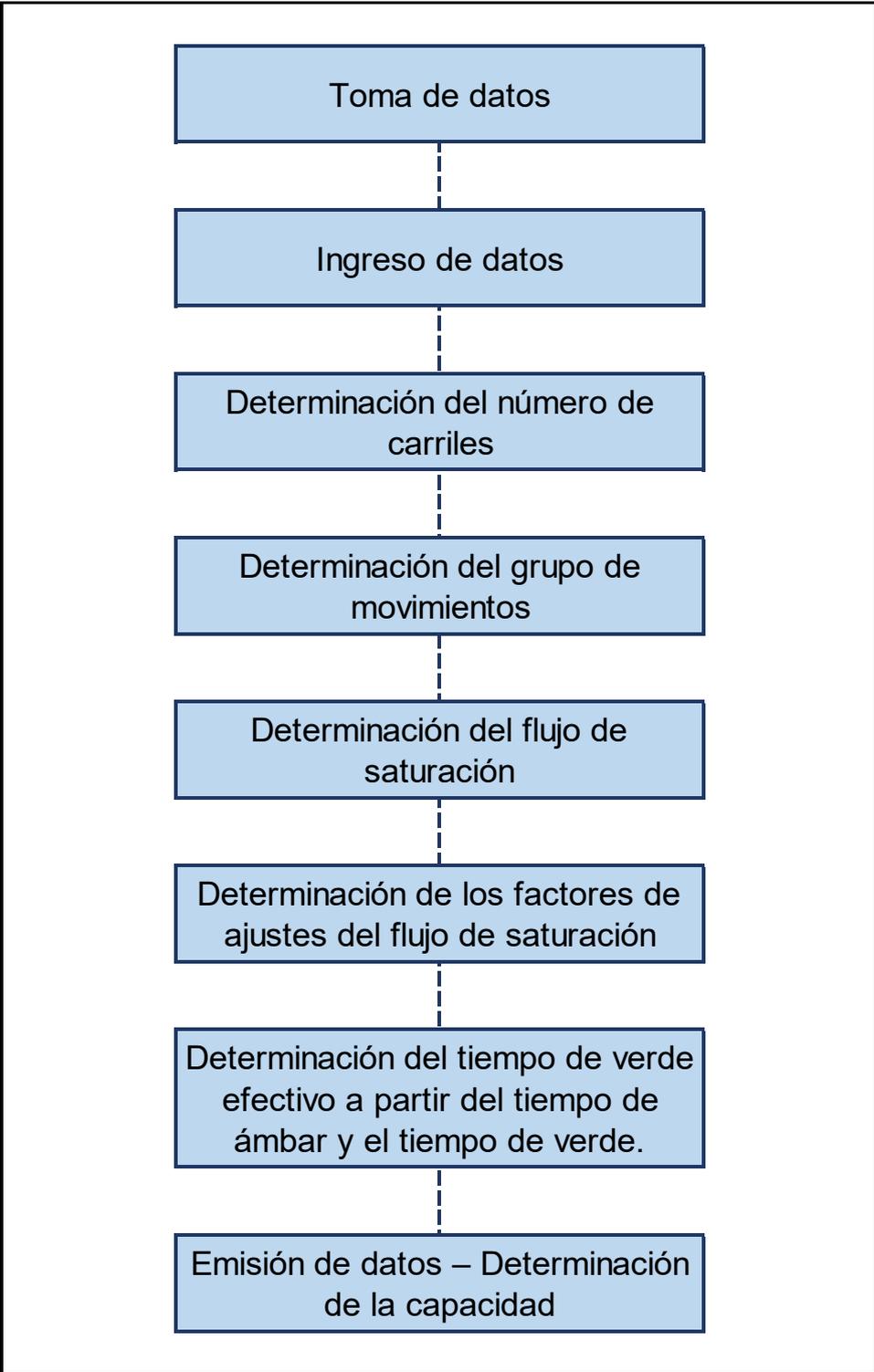


FIGURA 3.5.1: Pasos a seguir para el desarrollo del software SYNCHRO 8.0.

Fuente: Propia.

3.6 GRADO DE SATURACIÓN DE LA INTERSECCIÓN

El grado de saturación que se requiere para el presente estudio es mayor a 0.7. Para obtenerlo es necesario conocer los parámetros de la demanda y la capacidad. La demanda se obtuvo mediante el conteo de vehículos registrados en videos y la capacidad mediante el cálculo.

3.7 PARÁMETRO DEL SEMÁFORO

Los tiempos del semáforo son necesarios en el estudio porque son factores que influyen en las intersecciones y en el cálculo de los parámetros como la capacidad, cola excedente, etc. Para obtenerlos se realizaron visitas a campo. Se registro el tiempo del semáforo en videos y se corroboró que los semáforos eran programados para que los tiempos de fase sean repetitivos. Asimismo, se consideró mediante los videos que los semáforos tuvieron un correcto funcionamiento durante los días de filmación.

3.7.1 Ciclo del semáforo

El ciclo del semáforo se obtuvo mediante el registro del tiempo. Se registro el tiempo en treinta videos, desde que inicio la fase del tiempo de verde hasta que finalizo la fase del tiempo de rojo. Se realizarán los calculos con el promedio de los tiempos obtenidos.

3.7.2 Verde efectivo

Para obtener el tiempo de verde efectivo, se registraron los parámetros mencionados previamente en 30 videos durante una visita de campo. Se obtuvo el tiempo de verde y el tiempo que se demora el conductor en acelerar y que el vehículo avance. Finalmente, obtuve el tiempo desde el final de la fase de verde hasta que el ultimo vehículo termina de cruzar la intersección. Se realizarán los calculos con el promedio de los tiempos obtenidos.

3.7.3 Rojo efectivo

Para obtener este parámetro, se necesitó registrar los tiempos de desfase para obtener el verde efectivo mediante videos. Se realizarán los calculos con el promedio de los tiempos obtenidos.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La cantidad de vehículos que conforman las colas obtenidos mediante los videos proporcionados se analizaron mediante una relación estadística. Para el presente estudio, se

utilizó la regresión lineal en donde se relaciona una variable dependiente con variables independientes.

Se registró la cantidad de los vehículos que se encontraron para el conteo de la longitud máxima de cola. El conteo se registró en periodos de quince minutos durante cuatro días. Con los datos registrados, se obtuvieron graficas de dispersión de la cola excedente calculada en campo vs la calculada mediante la función transformada de Whiting.

Se asume que las gráficas deben ser semejantes a las de una línea recta con pendiente uno., por lo que se compara con la recta de regresión. De las gráficas, se obtuvieron valores que cuantifican la relación existente entre ambas variables. Los valores son denominados coeficientes de determinación y tienen como magnitud R^2 .

El parámetro “R” es la proporción de la varianza total de la variable estudiada. La magnitud oscila entre los valores de cero y uno. Se considera que todo modelo con un coeficiente de determinación cercano a uno tiene un alto ajuste de la explicación de la variable. Para todo modelo con coeficiente de determinación cercano a cero, se considera que su ajuste no es recomendado para describir la variable.

Se busca obtener un modelo en base a los datos de los vehículos que permita predecir su comportamiento a lo largo de los días. La teoría de la recta de regresión permite que se obtenga una recta que explique el comportamiento de los vehículos y elige la recta que mejor describe esta variable.

4.RESULTADOS

Los valores obtenidos de campo y los calculados mediante la función transformada de Whiting serán agrupados y presentados en tablas.

4.1 DEMANDA DE LA INTERSECCIÓN

Se desarrollo el análisis para cada intervalo de 15 minutos de los días lunes, martes, miércoles y jueves. En las tablas 4.1.1 y 4.1.2 se muestran la magnitud de las demandas obtenidas durante los días evaluados.

Avenida Lima: La demanda máxima obtenida el día lunes, al igual que el día jueves, es en el intervalo de 7:30 – 7:45 am. Durante el día martes se obtuvo mayor demanda en el intervalo de 7:45 – 8:00 am y el día miércoles el intervalo con mayor demanda es el de 7:15 – 7:30 am.

Tabla 4.1.1: Demanda registrada por periodos en la Avenida Lima

| PERIODO | Demanda (veh) | | | |
|-------------|---------------|--------|-----------|--------|
| | Lunes | Martes | Miercoles | Jueves |
| 7:00 - 7:15 | 337 | 280 | 343 | 317 |
| 7:15 - 7:30 | 317 | 323 | 372 | 243 |
| 7:30 - 7:45 | 429 | 269 | 273 | 374 |
| 7:45 - 8:00 | 307 | 353 | 317 | 313 |

Fuente: Propia.

Jiron Bolognesi: La demanda máxima obtenida el día lunes, al igual que el día jueves, es en el intervalo de 7:30 – 7:45 am. Durante el día martes se obtuvo mayor demanda en el intervalo de 7:45 – 8:00 am y el día miércoles el intervalo con mayor demanda es el de 7:15 – 7:30 am.

Tabla 4.1.2: Demanda registrada por periodos en el Jirón Bolognesi

| PERIODO | Demanda (veh) | | | |
|-------------|---------------|--------|-----------|--------|
| | Lunes | Martes | Miercoles | Jueves |
| 7:00 - 7:15 | 143 | 143 | 143 | 139 |
| 7:15 - 7:30 | 139 | 154 | 125 | 119 |
| 7:30 - 7:45 | 155 | 126 | 124 | 153 |
| 7:45 - 8:00 | 148 | 149 | 145 | 139 |

Fuente: Propia.

Como se observa en la figura, tanto en la avenida Lima como en el Jirón Bolognesi, la mayor demanda se obtuvo en el mismo intervalo de tiempo. La cantidad de vehículos obtenidos en el Jirón Bolognesi es menor que en la Avenida Lima debido a que solo cuenta con un carril. Por lo tanto, es correcto que transiten menos cantidad de vehículos.

Se ingresaron los datos en el software SYNCHRO.

Lunes:



FIGURA 4.1.1: Demanda del periodo máximo de la intersección de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi obtenida mediante el software SYNCHRO el día lunes.

Fuente: Propia.

Se registró la cantidad de vehículos obtenida en campo y se insertó la cantidad que se dirigieron en los diversos sentidos. Como se observa en las figuras, en la avenida Lima existen mayor cantidad de demanda de vehículos en comparación con el Jirón Bolognesi.

4.2 CAPACIDAD DE LOS ACCESOS DE LA INTERSECCIÓN

Se definieron los parámetros descritos anteriormente y se utilizó el software SYNCHRO 8.0 para el respectivo análisis. En el Apéndice A se encuentra el reporte obtenido mediante el software de cada intervalo por día. Asimismo, los datos de cada factor necesario para el análisis.

Como se observa en la figura 4.2.1, ingresamos la demanda que se registró por día, el nombre de las vías y el ancho de carril correspondiente. Los valores en color azul, son factores determinados por SYNCHRO. El software se basa en la metodología del High Capacity Manual 2010 y determina la magnitud de los factores como el giro a la derecha, izquierda, el flujo de saturación ideal, entre otros.

| LANE SETTINGS | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lanes and Sharing (#RL) | | | | 4↑ | 4↑ | | | | | 4↑ | 4↑ | |
| Traffic Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 |
| Street Name | Jiron Bolognesi | | | Jiron Bolognesi | | | Av. Lima | | | Av. Lima | | |
| Link Distance (m) | 234.9 | | | 241.4 | | | 194.6 | | | 165.4 | | |
| Links Speed (km/h) | 50 | | | 50 | | | 50 | | | 50 | | |
| Set Arterial Name and Speed | EB | | | WB | | | NB | | | SB | | |
| Travel Time (s) | 16.9 | | | 17.4 | | | 14.0 | | | 11.9 | | |
| Ideal Satd. Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width (m) | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | 2 | | | 2 | | | 5 | | | 5 | | |
| Area Type CBD | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Storage Length (m) | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 |
| Storage Lanes (#) | | | | | | | | | | | | |
| Right Turn Channelized | | | None | | | None | | | None | | | None |
| Curb Radius (m) | | | | | | | | | | | | |
| Add Lanes (#) | | | | | | | | | | | | |
| Lane Utilization Factor | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| Right Turn Factor | | | | | 1.000 | | | | | | 0.991 | |
| Left Turn Factor (prot) | | | | | 0.983 | | | | | | 0.987 | |
| Saturated Flow Rate (prot) | | | | | 3098 | | | | | | 2593 | |
| Left Turn Factor (perm) | | | | | 0.983 | | | | | | 0.987 | |
| Right Ped Bike Factor | | | | | 1.000 | | | | | | 0.998 | |
| Left Ped Factor | | | | | 0.987 | | | | | | 0.992 | |
| Saturated Flow Rate (perm) | | | | | 3059 | | | | | | 2574 | |
| Right Turn on Red? | | | <input type="checkbox"/> |
| Saturated Flow Rate (RTOR) | | | | | 0 | | | | | | 0 | |
| Link Is Hidden | | <input type="checkbox"/> | |
| Hide Name in Node Title | | <input type="checkbox"/> | |

FIGURA 4.2.1: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes.

Fuente: Propia.

Se registró el número de conflictos con los peatones y ciclistas que se presentan. No se presentó gran cantidad de ciclistas durante los días de visita a campo. Asimismo, se indica el porcentaje de vehículos pesados respecto del total de vehículos. Finalmente, como se aprecia en la figura 4.2.2, se indicó el número de parada de buses. Como se observa, la avenida Lima tiene una mayor cantidad de vehículos pesados registrados debido a que hay presencia de buses. Por el contrario, en el jirón Bolognesi solo transitan vehículos privados.

| 3 Av. Lima & Jiron Bolognesi | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| VOLUME SETTINGS | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
| Lanes and Sharing (#RL) | | | | ↕↕ | | | | | | ↕↕ | | |
| Traffic Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 |
| Conflicting Peds. (#/hr) | 0 | — | 0 | 8 | — | 0 | 0 | — | 0 | 4 | — | 4 |
| Conflicting Bicycles (#/hr) | — | — | 0 | — | — | 0 | — | — | 0 | — | — | 8 |
| Peak Hour Factor | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Growth Factor | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Heavy Vehicles (%) | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 |
| Adj. Parking Lane? | <input type="checkbox"/> |
| Parking Maneuvers (#/hr) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Traffic from mid-block (%) | — | 0 | — | — | 0 | — | — | 0 | — | — | 0 | — |
| Link OD Volumes | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Adjusted Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 |
| Traffic in shared lane (%) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 620 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1716 | 0 |

FIGURA4.2.2: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes.

Fuente: Propia.

Finalmente, se genera un reporte en función del HCM 2000.

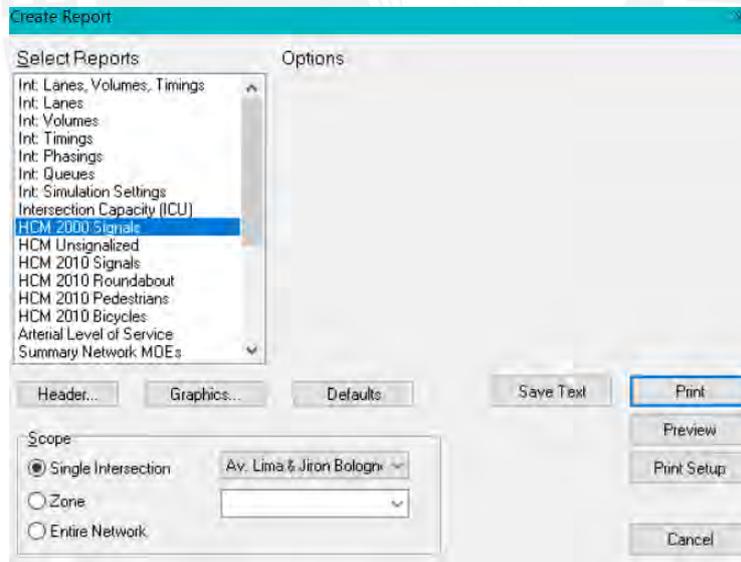


FIGURA4.2.3: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes.

Fuente: Propia.

El reporte se presenta por cada tiempo de periodo analizado. Los parámetros importantes son la capacidad, el flujo de saturación y el grado de saturación. El Apéndice A presenta el reporte de todos los periodos de cada día evaluado.



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|----------------------|----------------------|---|
| Lane Configurations | | | | | ↕↕ | | | | | | ↕↕ | | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 | | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | 0.99 | | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | | | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3058 | | | | | | 2631 | | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3058 | | | | | | 2631 | | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 | | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 620 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1716 | 0 | | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 4 | | 4 | | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 8 | | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% | | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 | | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.19 | | | | | | 0.28 | | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 583 | | | | | | 747 | | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.20 | | | | | | 0.65 | | | |
| v/c Ratio | | | | | 1.06 | | | | | | 2.30 | | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 95.5 | | | | | | 84.5 | | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 55.3 | | | | | | 588.0 | | | |
| Delay (s) | | | | | 150.8 | | | | | | 672.5 | | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 150.8 | | | 0.0 | | | 672.5 | | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 534.0 | | | | | | | | | HCM Level of Service | F | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.80 | | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | | | | | | | 124.0 | | Sum of lost time (s) | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 176.6% | | | | | | | | | | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | | |

FIGURA 4.2.4: Ingreso de los datos de la intersección de la Av Lima y el Jirón Bolognesi en el software SYNCHRO el día lunes.

Fuente: Propia.

La capacidad en la Avenida Lima varía entre 677 y 772 vehículos por hora, lo cuál refleja que la capacidad varía de acuerdo al día y periodo de tiempo en el que se analiza la intersección. La magnitud de la capacidad en el Jirón Bolognesi varía entre 583 y 637 vehículos por hora.

Tabla 4.2.1: Capacidad obtenida en la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi.

| Días | Capacidad (veh) | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| | Av. Lima | Jirón Bolognesi |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 772 | 585 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 772 | 586 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 747 | 583 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 773 | 588 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 758 | 622 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 710 | 637 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 756 | 628 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 716 | 626 |
| Miercoles (7:00 - 7:15) | 736 | 635 |
| Miercoles (7:15 - 7:30) | 706 | 622 |
| Miercoles (7:30 - 7:45) | 767 | 623 |
| Miercoles (7:45 - 8:00) | 719 | 633 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 757 | 631 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 677 | 629 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 680 | 629 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 718 | 628 |

Fuente: Propia

4.3 FLUJO DE SATURACIÓN DE LOS ACCESOS DE LA INTERSECCIÓN

Para obtener el cálculo de la cola obtenida en función a la transformada de Whiting, es necesario conocer el flujo de saturación. En las tablas 4.3.1 se registro la cantidad del flujo de saturación en la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi obtenidas del software SYNCHRO. El flujo de saturación de la Avenida Lima varía entre 2384 y 2724 vehículos mientras que en el Jirón Bolognesi varia entre 3060 y 3130 vehículos.

Tabla 4.3.1: Flujo de saturación de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi.

| Días | Flujo de Saturación (veh) | |
|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| | Av. Lima | Jirón Bolognesi |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 2719.00 | 3082.00 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 2720.00 | 3073.00 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 2631.00 | 3070.00 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 2724.00 | 3089.00 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 2670.00 | 3060.00 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 2502.00 | 3130.00 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 2663.00 | 3088.00 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 2521.00 | 3085.00 |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 2593.00 | 3120.00 |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 2487.00 | 3066.00 |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 2701.00 | 3065.00 |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 2532.00 | 3112.00 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 2668.00 | 3101.00 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 2384.00 | 3093.00 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 2394.00 | 3098.00 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 2530.00 | 3090.00 |

Fuente: Propia.

4.4 PARÁMETROS SEMAFÓRICOS

Avenida Lima: Los parámetros del semáforo fueron registrados en la tabla 4.4.2. El verde tiene una magnitud de 70 segundos y los parámetros de tiempo perdido y tiempo ganado oscilan entre uno y dos segundos. El verde efectivo oscila entre 69 y 71 segundos. Finalmente, se utilizará el promedio de los parámetros para los cálculos que dependan de ellos.

Como se observa en la figura 4.4.1, en la Avenida Lima, el ciclo del semáforo medido en campo es de 118 segundos. En la tabla 4.4.1, se registra que el tiempo promedio de verde efectivo es de 70.40 segundos y el rojo efectivo es de 44.60 segundos.

Tabla 4.4.1: Parámetros promedio del ciclo del semáforo de la Avenida Lima.

| Parámetros del Semáforo | |
|-------------------------|--------|
| re | 44.60 |
| c | 118.00 |
| ve | 70.40 |
| verde | 70.00 |

Fuente: Propia.

Tabla 4.4.2: Parámetros del ciclo del semáforo de la Avenida Lima.

| Numero de veces | Verde | γ_1 | γ_2 | Verde efectivo | Ciclo del semaforo | Ambar | Rojo efectivo |
|-----------------|-------|------------|------------|----------------|--------------------|-------|---------------|
| 1 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 2 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 3 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 4 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 5 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 6 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 7 | 70 | 2 | 1 | 69 | 118 | 3 | 46 |
| 8 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 9 | 70 | 2 | 1 | 69 | 118 | 3 | 46 |
| 10 | 70 | 2 | 1 | 69 | 118 | 3 | 46 |
| 11 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 12 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 13 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 14 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 15 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 16 | 70 | 1 | 1 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 17 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 18 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 19 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 20 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 21 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 22 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 23 | 70 | 2 | 2 | 70 | 118 | 3 | 45 |
| 24 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 25 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 26 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 27 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 28 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 29 | 70 | 1 | 2 | 71 | 118 | 3 | 44 |
| 30 | 70 | 2 | 2 | 70 | 118 | 3 | 45 |

Fuente: Propia.

Jiron Bolognesi: Los parámetros del semáforo fueron registrados en la tabla 4.4.3. El verde tiene una magnitud de 45 segundos y los parámetros de tiempo perdido y tiempo ganado oscilan entre uno y dos segundos. El verde efectivo oscila entre 44 y 46 segundos. Finalmente, se utilizará el promedio de los parámetros para los cálculos que dependan de ellos.

Como se observa en la figura 4.4.3, en el Jirón Bolognesi, el ciclo del semáforo medido en campo es de 118 segundos. En la tabla 4.4.3, tiempo promedio de verde efectivo es de 45.47 segundos, el rojo efectivo es de 69.53 segundos.

Tabla 4.4.3: Parámetros promedio del ciclo del semáforo del Jirón Bolognesi.

| Parámetros del Semáforo | |
|-------------------------|--------|
| re | 69.53 |
| c | 118.00 |
| ve | 45.47 |
| verde | 45.00 |

Fuente: Propia

Tabla 4.4.4: Parámetros del ciclo del semáforo del Jirón Bolognesi.

| Numero de veces | Verde | γ_1 | γ_2 | Verde efectivo | Ciclo del semáforo | Ambar | Rojo efectivo |
|-----------------|-------|------------|------------|----------------|--------------------|-------|---------------|
| 1 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 2 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 3 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 4 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 5 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 6 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 7 | 45 | 2 | 1 | 44 | 118 | 3 | 71 |
| 8 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 9 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 10 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 11 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 12 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 13 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 14 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 15 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 16 | 45 | 1 | 1 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 17 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 18 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 19 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 20 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 21 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 22 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 23 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 24 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 25 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 26 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 27 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 28 | 45 | 1 | 2 | 46 | 118 | 3 | 69 |
| 29 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |
| 30 | 45 | 2 | 2 | 45 | 118 | 3 | 70 |

Fuente: Propia.

En la figura 4.4.1 se observa el diagrama de fases de la intersección. La Avenida Lima es la que se encuentra en la fase 1 mientras que el Jirón Bolognesi el que se encuentra en la fase 2.

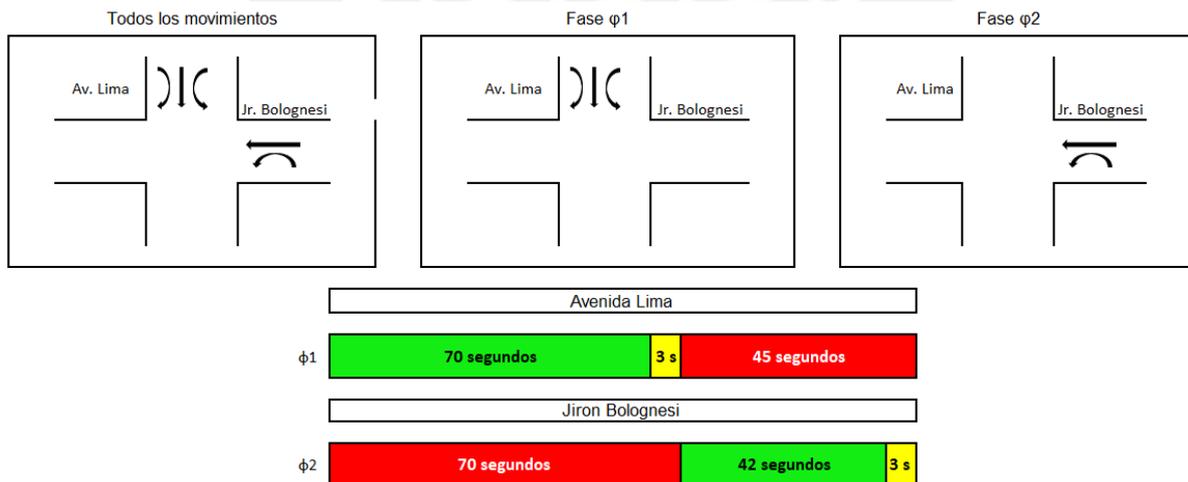


FIGURA 4.4.1: Diagrama de fases de la Avenida

Fuente: Propia.

4.5 GRADO DE SATURACIÓN

Las colas de la avenida Lima y el jirón Bolognesi serán analizadas mediante la función transformada de Whiting y deben cumplir con ser congestionadas. Por ello, el grado de saturación para las vías analizadas debe cumplir con ser mayor a 0.7.

Como se puede apreciar en la tabla 4.4.1, los grados de saturación observados en la avenida Lima varían desde 1.42 hasta 2.30. Asimismo, observamos que los grados de saturación del jirón Bolognesi oscilan entre 0.76 y 1.06.

Se observa que la avenida Lima tiene un grado de saturación mayor al del jirón Bolognesi. La avenida Lima tiene un mayor grado de saturación debido a que, tanto su capacidad como su demanda, tienen mayor magnitud por tener un carril mas que el del jirón Bolognesi.

Tabla 4.5.1: Grado de saturación de la Avenida Lima y Jirón Bolognesi.

| Días | Grado de Saturación | |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
| | Av. Lima | Jirón Bolognesi |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 1.75 | 0.98 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 1.64 | 0.95 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 2.30 | 1.06 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 1.59 | 1.01 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 1.48 | 0.92 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 1.82 | 0.97 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 1.42 | 0.80 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 1.97 | 0.95 |
| Miercoles (7:00 - 7:15) | 1.86 | 0.90 |
| Miercoles (7:15 - 7:30) | 2.11 | 0.80 |
| Miercoles (7:30 - 7:45) | 1.42 | 0.80 |
| Miercoles (7:45 - 8:00) | 1.76 | 0.92 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 1.68 | 0.88 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 1.44 | 0.76 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 2.20 | 0.97 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 1.74 | 0.89 |

Fuente: Propia.

El grado de saturación para todas las vías durante todos los periodos son mayores a 0.7, por lo tanto, las longitudes máximas de cola para todos los periodos pueden ser evaluadas mediante la función transformada de Whiting.

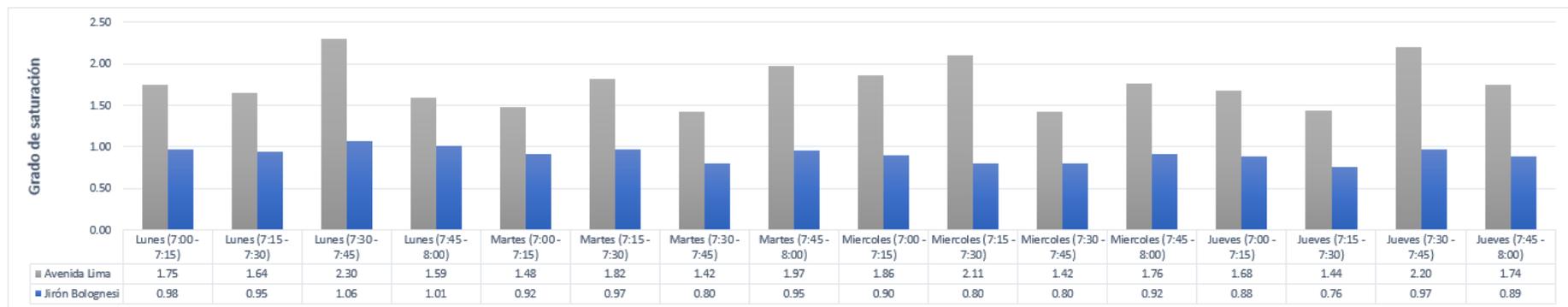


FIGURA 4.5.1: Grado de saturación de la intersección de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi obtenida mediante el software SYNCHRO.

Fuente: Propia.

4.6 LONGITUD MÁXIMA DE COLA OBTENIDA EN CAMPO

Como observamos la tabla 4.6.1, el día lunes se registraron colas que varían entre 180 y 205 vehículos. La mayor cantidad de vehículos se presenciaron entre las 7:30 – 7:45 am. El día martes, el periodo mas cargado fue el de 7:45 – 8:00 am y se registraron entre 151 y 181 vehículos. El día miércoles se registraron entre 150 y 218 vehículos y el periodo más cargado es de 7:15 – 7:30 am. Finalmente, el día jueves se registraron entre 154 y 171 vehículos y el periodo mas cargado es el de 7:30 – 7:45 am.

Como observamos la tabla 4.5.1, el día lunes se registraron colas que varían entre 60 y 72 vehículos. La mayor cantidad de vehículos se presenciaron entre las 7:30 – 7:45 am. El día martes, el periodo mas cargado fue el de 7:45 – 8:00 am y se registraron entre 53 y 69 vehículos. El día miércoles se registraron entre 52 y 69 vehículos y el periodo más cargado es de 7:15 – 7:30 am. Finalmente, el día jueves se registraron entre 54 y 69 vehículos y el periodo mas cargado es el de 7:30 – 7:45 am.

Tabla 4.6.1: Longitud máxima de cola de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi medida en campo.

| Días | Longitud máxima de cola (veh) | |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | Av. Lima | Jirón Bolognesi |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 180 | 62 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 190 | 59 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 205 | 67 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 186 | 57 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 144 | 52 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 159 | 66 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 135 | 50 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 181 | 53 |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 174 | 58 |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 218 | 62 |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 159 | 49 |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 150 | 60 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 154 | 60 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 160 | 51 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 171 | 62 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 162 | 54 |

Fuente: Propia.

Durante las cuatro visitas a la intersección, se registro por medio de videos la cantidad de vehículos que formaban la cola desde el inicio de tiempo de rojo hasta el inicio de tiempo de verde.

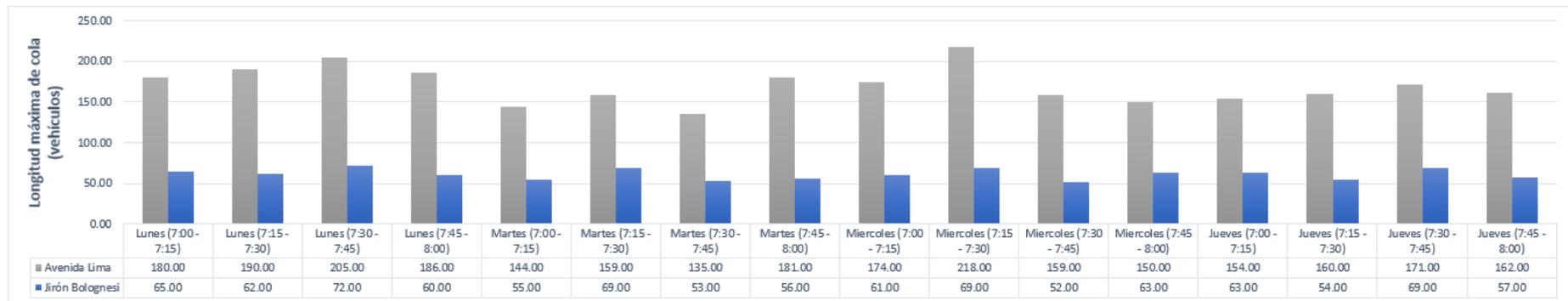


FIGURA 4.6.1: Gráfico comparativo de las longitudes máximas de cola (vehículos) de la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi.

Fuente: Propia

4.7 LONGITUD MÁXIMA DE COLA OBTENIDA MEDIANTE LA FUNCIÓN TRANSFORMADA DE WHITING

Una vez definidos los parámetros necesarios, realizamos el cálculo de la longitud máxima de cola de acuerdo a los cuatro autores mencionados previamente. Como se observa en la tabla 4.6.3, los resultados obtenidos no varían mucho a pesar que cada autor define los parámetros k , x_0 y t con distintas magnitudes y fórmulas.

El día lunes, la mayor cantidad de cola se forma durante el periodo de 7:30 – 7:45 am y se debe a que durante ese periodo fue registrada la mayor cantidad de vehículos que utilizaron la intersección. Sucede lo mismo en los demás días registrados.

Tabla 4.7.1: Longitud máxima de cola (vehículos) en la Avenida Lima.

| Días | Longitud máxima de cola (veh) | | | | Capacidad | Demanda | Grado de saturación | Flujo de Saturación | Rojo efectivo | Cola excedente (veh) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------------------|---------------------|---------------|----------------------|----------------|--------|---------|----------------|--------|----------------|---|---|----------------|---|---|
| | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail | | | | | | Webster | | | Mc Neil | | | Akcelik | | | Rouphail | | |
| | | | | | | | | | | k | x ₀ | t | k | x ₀ | t | x ₀ | k | t | x ₀ | k | t |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 91 | 90 | 91 | 90 | 772 | 1348 | 1.75 | 2719 | 44.60 | 0.87 | 73.99 | 73.15 | 0.758 | 73.93 | 0.08 | 73.10 | | | | | |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 80 | 79 | 80 | 79 | 772 | 1268 | 1.64 | 2720 | | 0.82 | 64.03 | 63.25 | 0.758 | 64.00 | | 63.19 | | | | | |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 148 | 147 | 148 | 147 | 747 | 1716 | 2.30 | 2631 | | 1.15 | 127.18 | 126.06 | 0.755 | 126.93 | | 126.03 | | | | | |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 74 | 73 | 74 | 73 | 773 | 1228 | 1.59 | 2724 | | 0.79 | 58.87 | 58.12 | 0.758 | 58.84 | | 58.05 | | | | | |
| Martes (7:00 - 7:15) | 61 | 61 | 61 | 61 | 758 | 1120 | 1.48 | 2670 | | 0.74 | 47.43 | 46.75 | 0.757 | 47.41 | 46.66 | | | | | | |
| Martes (7:15 - 7:30) | 96 | 95 | 96 | 95 | 710 | 1292 | 1.82 | 2502 | | 0.91 | 79.64 | 78.76 | 0.751 | 79.57 | 78.71 | | | | | | |
| Martes (7:30 - 7:45) | 56 | 55 | 56 | 55 | 756 | 1076 | 1.42 | 2663 | | 0.71 | 42.37 | 41.72 | 0.756 | 42.34 | 41.63 | | | | | | |
| Martes (7:45 - 8:00) | 112 | 111 | 111 | 111 | 716 | 1412 | 1.97 | 2521 | | 0.99 | 94.06 | 93.11 | 0.752 | 93.94 | 93.06 | | | | | | |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 98 | 98 | 98 | 98 | 736 | 1372 | 1.86 | 2593 | | 0.93 | 81.46 | 80.56 | 0.754 | 81.38 | 80.52 | | | | | | |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 122 | 121 | 122 | 121 | 706 | 1488 | 2.11 | 2487 | | 1.05 | 103.87 | 102.85 | 0.751 | 103.70 | 102.81 | | | | | | |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 55 | 54 | 55 | 54 | 767 | 1092 | 1.42 | 2701 | | 0.71 | 41.24 | 40.60 | 0.758 | 41.22 | 40.50 | | | | | | |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 88 | 87 | 88 | 87 | 719 | 1268 | 1.76 | 2532 | | 0.88 | 72.23 | 71.38 | 0.752 | 72.18 | 71.33 | | | | | | |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 82 | 81 | 82 | 81 | 757 | 1268 | 1.68 | 2668 | | 0.84 | 65.89 | 65.09 | 0.756 | 65.85 | 65.03 | | | | | | |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 56 | 55 | 55 | 55 | 677 | 972 | 1.44 | 2384 | | 0.72 | 43.48 | 42.82 | 0.747 | 43.45 | 42.73 | | | | | | |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 134 | 133 | 134 | 133 | 680 | 1496 | 2.20 | 2394 | | 1.10 | 115.53 | 114.46 | 0.748 | 115.33 | 114.42 | | | | | | |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 88 | 87 | 88 | 87 | 718 | 1252 | 1.74 | 2530 | | 0.87 | 72.36 | 71.53 | 0.752 | 72.31 | 71.47 | | | | | | |

Fuente: Propia.

El día lunes, la mayor cantidad de cola se forma durante el periodo de 7:30 – 7:45 am y se debe a que durante ese periodo fue registrada la mayor cantidad de vehículos que utilizaron la intersección. Sucede lo mismo en los demás días registrados.

Tabla 4.7.2: Longitud máxima de cola (vehículos) en el Jirón Bolognesi.

| Días | Longitud máxima de cola (veh) | | | | Capacidad | Demanda | Grado de saturación | Flujo de Saturación | Rojo efectivo | Cola excedente (veh) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------------------|---------------------|---------------|----------------------|------|---|---------|-------|------|---------|------|---|----------|---|---|
| | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail | | | | | | Webster | | | Mc Neil | | | Akcelik | | | Rouphail | | |
| | | | | | | | | | | k | xo | t | k | xo | t | xo | k | t | xo | k | t |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 16 | 16 | 15 | 16 | 585 | 572 | 0.98 | 3082 | 69.53 | 0.489 | 5.16 | | 5.22 | 0.734 | 4.42 | 0.09 | 4.94 | | | | |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 15 | 15 | 14 | 15 | 586 | 556 | 0.95 | 3073 | | 0.474 | 4.17 | | 4.31 | 0.734 | 3.33 | 0.09 | 4.04 | | | | |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 21 | 21 | 21 | 21 | 583 | 620 | 1.06 | 3070 | | 0.532 | 9.14 | | 8.95 | 0.734 | 8.76 | 0.09 | 8.70 | | | | |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 18 | 18 | 17 | 17 | 588 | 592 | 1.01 | 3089 | | 0.503 | 6.36 | | 6.34 | 0.734 | 5.72 | 0.09 | 6.06 | | | | |
| Martes (7:00 - 7:15) | 14 | 15 | 14 | 14 | 622 | 572 | 0.92 | 3060 | | 0.46 | 3.41 | | 3.62 | 0.734 | 2.48 | 0.09 | 3.36 | | | | |
| Martes (7:15 - 7:30) | 17 | 17 | 16 | 17 | 637 | 616 | 0.97 | 3130 | | 0.484 | 4.93 | | 5.03 | 0.735 | 4.09 | 0.09 | 4.74 | | | | |
| Martes (7:30 - 7:45) | 11 | 12 | 10 | 11 | 628 | 504 | 0.80 | 3088 | | 0.401 | 1.49 | | 1.82 | 0.734 | 0.51 | 0.09 | 1.63 | | | | |
| Martes (7:45 - 8:00) | 16 | 16 | 15 | 16 | 626 | 596 | 0.95 | 3085 | | 0.476 | 4.37 | | 4.51 | 0.734 | 3.52 | 0.09 | 4.23 | | | | |
| Miercoles (7:00 - 7:15) | 14 | 14 | 13 | 14 | 635 | 572 | 0.90 | 3120 | | 0.45 | 2.97 | | 3.22 | 0.735 | 2.00 | 0.09 | 2.97 | | | | |
| Miercoles (7:15 - 7:30) | 11 | 11 | 10 | 11 | 622 | 500 | 0.80 | 3066 | | 0.402 | 1.50 | | 1.83 | 0.734 | 0.51 | 0.09 | 1.64 | | | | |
| Miercoles (7:30 - 7:45) | 11 | 11 | 10 | 11 | 623 | 496 | 0.80 | 3065 | | 0.398 | 1.43 | | 1.76 | 0.734 | 0.44 | 0.09 | 1.58 | | | | |
| Miercoles (7:45 - 8:00) | 15 | 15 | 14 | 14 | 633 | 580 | 0.92 | 3112 | | 0.458 | 3.33 | | 3.56 | 0.735 | 2.39 | 0.09 | 3.30 | | | | |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 13 | 14 | 12 | 13 | 631 | 556 | 0.88 | 3101 | | 0.441 | 2.56 | | 2.84 | 0.735 | 1.58 | 0.09 | 2.60 | | | | |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 10 | 11 | 9 | 10 | 629 | 476 | 0.76 | 3093 | | 0.378 | 1.11 | | 1.45 | 0.734 | 0.14 | 0.09 | 1.28 | | | | |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 17 | 17 | 16 | 17 | 629 | 612 | 0.97 | 3098 | | 0.486 | 5.13 | | 5.21 | 0.735 | 4.35 | 0.09 | 4.92 | | | | |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 13 | 14 | 12 | 13 | 628 | 556 | 0.89 | 3090 | | 0.443 | 2.64 | | 2.92 | 0.734 | 1.67 | 0.09 | 2.67 | | | | |

Fuente: Propia.

4.8 COMPARACIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA

Las longitudes máximas de cola obtenidas en campo y calculadas mediante la función transformada de Whiting tienen valores muy diferentes. Observamos en la figura 4.7.1 que, durante los días evaluados, la longitud máxima de cola obtenida en campo es mayor a la obtenida mediante la función transformada de Whiting. Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail proponen diferentes magnitudes de parámetros que son utilizados en la fórmula de Whiting. Sin embargo, a pesar de lo mencionado, las longitudes de colas obtenidas no logran ser similares a las obtenidas en campo.

Para el intervalo con mayor demanda del día lunes, la cola obtenida en campo es de 205 vehículos. La longitud de cola obtenida según Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail oscila entre 147 y 148 vehículos, valores muy cercanos entre sí. Sin embargo, estos valores no cumplen con reflejar lo que pasa en campo a pesar de que los valores sean muy cercanos entre ellos.

Tabla 4.8.1: Comparación de la longitud máxima de cola (vehículos) en la Avenida Lima.

| LONGITUD MÁXIMA DE COLA | | | | | |
|-------------------------|--------|---------|---------|---------|----------|
| Días | Campo | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 180.00 | 90.69 | 89.85 | 90.63 | 89.80 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 190.00 | 79.74 | 78.96 | 79.71 | 78.90 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 205.00 | 148.44 | 147.32 | 148.19 | 147.29 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 186.00 | 74.08 | 73.33 | 74.06 | 73.27 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 144.00 | 61.31 | 60.62 | 61.29 | 60.54 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 159.00 | 95.64 | 94.77 | 95.57 | 94.72 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 135.00 | 55.70 | 55.05 | 55.67 | 54.96 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 181.00 | 111.56 | 110.60 | 111.44 | 110.56 |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 174.00 | 98.46 | 97.56 | 98.38 | 97.51 |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 218.00 | 122.31 | 121.28 | 122.14 | 121.24 |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 159.00 | 54.77 | 54.12 | 54.75 | 54.03 |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 150.00 | 87.94 | 87.09 | 87.89 | 87.04 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 154.00 | 81.60 | 80.80 | 81.56 | 80.74 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 160.00 | 55.52 | 54.86 | 55.49 | 54.77 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 171.00 | 134.07 | 132.99 | 133.86 | 132.96 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 162.00 | 87.87 | 87.04 | 87.82 | 86.99 |

Fuente: Propia.

Tabla 4.8.2: Comparación de la longitud máxima de cola (vehículos) en el Jirón Bolognesi.

| LONGITUD MÁXIMA DE COLA | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|---------|---------|----------|
| Días | Campo | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 62.00 | 16.20 | 16.27 | 15.47 | 15.99 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 59.00 | 14.90 | 15.05 | 14.07 | 14.78 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 67.00 | 21.11 | 20.93 | 20.74 | 20.68 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 57.00 | 17.79 | 17.77 | 17.16 | 17.49 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 52.00 | 14.45 | 14.67 | 13.53 | 14.40 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 66.00 | 16.83 | 16.93 | 15.99 | 16.64 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 50.00 | 11.22 | 11.55 | 10.24 | 11.37 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 53.00 | 15.88 | 16.02 | 15.03 | 15.74 |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 58.00 | 14.02 | 14.27 | 13.05 | 14.02 |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 62.00 | 11.16 | 11.49 | 10.17 | 11.30 |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 49.00 | 11.01 | 11.34 | 10.02 | 11.16 |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 60.00 | 14.54 | 14.76 | 13.59 | 14.50 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 60.00 | 13.30 | 13.58 | 12.32 | 13.34 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 51.00 | 10.31 | 10.64 | 9.33 | 10.48 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 62.00 | 16.95 | 17.03 | 16.17 | 16.75 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 54.00 | 13.38 | 13.66 | 12.40 | 13.41 |

Fuente: Propia.

4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA LONGITUD MÁXIMA DE COLA

Los datos obtenidos del día lunes fueron registrados en la tabla anterior. Con estos valores definidos, tanto en campo y mediante calculo, se realizó el análisis estadístico. Se genera la recta de regresión para los puntos dados y se obtiene el coeficiente de determinación.

El resultado de la Avenida Lima según Webster se refleja mediante el gráfico presentado en la figura 4.9.1. El coeficiente obtenido para Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail es de 0.44 (Apendice B). Esto indica que los parámetros calculados no son valores representativos comparados con los valores obtenidos en campo.

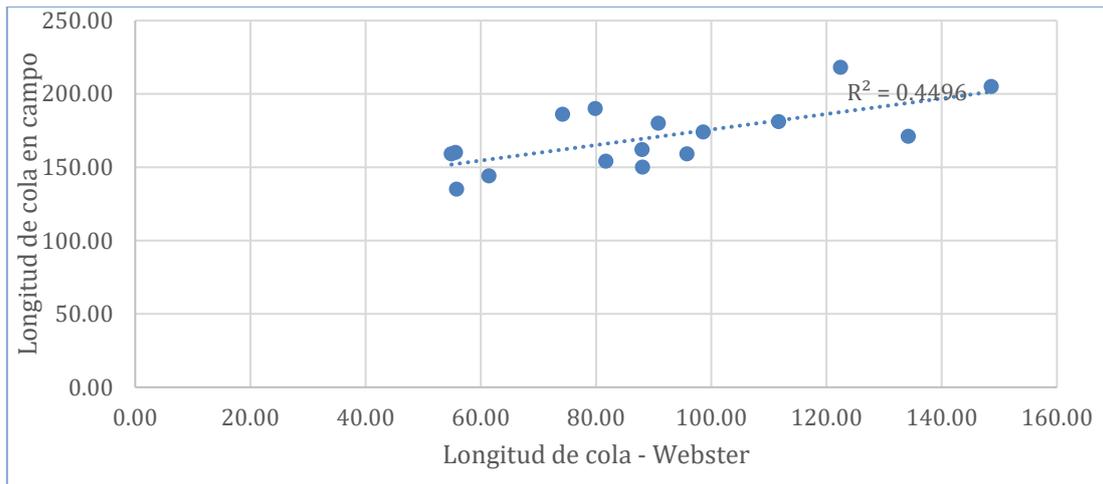


FIGURA 4.9.1: Analisis estadístico para la Avenida Lima según la longitud máxima de cola obtenida mediante el campo y el cálculo en función a los parámetros de Webster.

Fuente: Propia.

El resultado del Jirón Bolognesi según Webster se refleja mediante el gráfico presentado en la figura 4.9.2. El coeficiente obtenido para Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail es de 0.44 (Apendice C). Esto indica que las longitudes de cola calculada no se asemejan a las longitudes de cola obtenidas en campo.

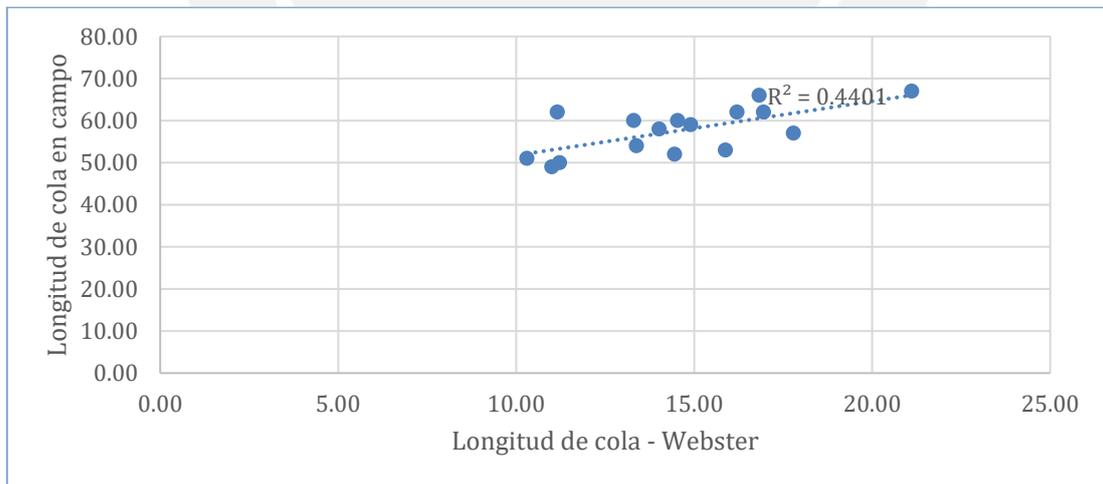


FIGURA 4.9.2: Analisis estadístico para el Jirón Bolognesi según la longitud máxima de cola obtenida mediante el campo y el cálculo en función a los parámetros de Webster.

Fuente: Propia.

4.10 LONGITUD DE COLA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE VERDE

Al utilizar el tiempo de verde en lugar del verde efectivo, encontramos que la longitud máxima de cola no varía. La longitud de cola encontrada en la Avenida Lima el día lunes en el periodo de 7:00 – 7:15 am con el tiempo de verde efectivo es 90.69 vehículos y la encontrada con el tiempo de verde es 90.84 vehículos. Se obtiene 91 vehículos al redondear los resultados.

Tabla 4.10.1: Longitud máxima de cola en la Avenida Lima utilizando el verde efectivo.

| LONGITUD MÁXIMA DE COLA | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|----------|
| Días | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 90.84 | 90.00 | 90.78 | 89.95 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 79.88 | 79.10 | 79.85 | 79.04 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 148.63 | 147.51 | 148.38 | 147.48 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 74.22 | 73.47 | 74.19 | 73.40 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 61.43 | 60.75 | 61.41 | 60.66 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 95.79 | 94.91 | 95.72 | 94.86 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 55.82 | 55.17 | 55.79 | 55.08 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 111.71 | 110.76 | 111.59 | 110.71 |
| Miercoles (7:00 - 7:15) | 98.61 | 97.71 | 98.53 | 97.67 |
| Miercoles (7:15 - 7:30) | 122.47 | 121.45 | 122.30 | 121.41 |
| Miercoles (7:30 - 7:45) | 54.89 | 54.25 | 54.87 | 54.15 |
| Miercoles (7:45 - 8:00) | 88.08 | 87.23 | 88.03 | 87.18 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 81.74 | 80.94 | 81.70 | 80.88 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 55.63 | 54.97 | 55.60 | 54.88 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 134.23 | 133.16 | 134.03 | 133.12 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 88.01 | 87.18 | 87.96 | 87.12 |

Fuente: Propia.

Al utilizar el tiempo de verde en lugar del verde efectivo, encontramos que la longitud máxima de cola no varía. La longitud de cola encontrada en el Jirón Bolognesi el día lunes en el periodo de 7:00 – 7:15 am con el tiempo de verde efectivo es 16.20 vehículos y la encontrada con el tiempo de verde es 16.28 vehículos. Se obtiene 17 vehículos al redondear los resultados.

Tabla 4.10.2: Longitud máxima de cola en el Jirón Bolognesi utilizando el verde efectivo.

| LONGITUD MÁXIMA DE COLA | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|----------|
| Días | Webster | Mc Neil | Akcelik | Rouphail |
| Lunes (7:00 - 7:15) | 16.28 | 16.34 | 15.54 | 16.06 |
| Lunes (7:15 - 7:30) | 14.98 | 15.12 | 14.14 | 14.85 |
| Lunes (7:30 - 7:45) | 21.19 | 21.01 | 20.82 | 20.76 |
| Lunes (7:45 - 8:00) | 17.87 | 17.85 | 17.23 | 17.57 |
| Martes (7:00 - 7:15) | 14.53 | 14.74 | 13.60 | 14.48 |
| Martes (7:15 - 7:30) | 16.91 | 17.01 | 16.07 | 16.72 |
| Martes (7:30 - 7:45) | 11.29 | 11.62 | 10.31 | 11.43 |
| Martes (7:45 - 8:00) | 15.96 | 16.10 | 15.10 | 15.82 |
| Miércoles (7:00 - 7:15) | 14.09 | 14.34 | 13.12 | 14.09 |
| Miércoles (7:15 - 7:30) | 11.22 | 11.55 | 10.23 | 11.36 |
| Miércoles (7:30 - 7:45) | 11.07 | 11.40 | 10.08 | 11.22 |
| Miércoles (7:45 - 8:00) | 14.61 | 14.84 | 13.67 | 14.57 |
| Jueves (7:00 - 7:15) | 13.38 | 13.66 | 12.39 | 13.42 |
| Jueves (7:15 - 7:30) | 10.37 | 10.70 | 9.39 | 10.54 |
| Jueves (7:30 - 7:45) | 17.03 | 17.11 | 16.25 | 16.82 |
| Jueves (7:45 - 8:00) | 13.45 | 13.73 | 12.48 | 13.48 |

Fuente: Propia.

4.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VERDE

Los datos obtenidos de la longitud máxima de cola en función del tiempo de verde fueron registrados en la tabla anterior. Con los valores definidos tanto para el tiempo de verde efectivo como para el tiempo de verde, se realizó el análisis estadístico. Se genera la recta de regresión para los puntos dados y se obtiene el coeficiente de determinación.

El resultado de la Avenida Lima según Webster se refleja mediante el gráfico presentado en la figura 4.11.1. El coeficiente obtenido para Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail es de 1 (Apendice D). Esto indica que los parámetros obtenidos utilizando el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo son los mismos.

En el caso del Jirón Bolognesi según Webster se refleja mediante el gráfico presentado en la figura 4.11.2. El coeficiente obtenido para Webster, Mc Neil, Akcelik y Rouphail es de 1 (Apendice E). Esto indica que los parámetros obtenidos utilizando el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo son los mismos.

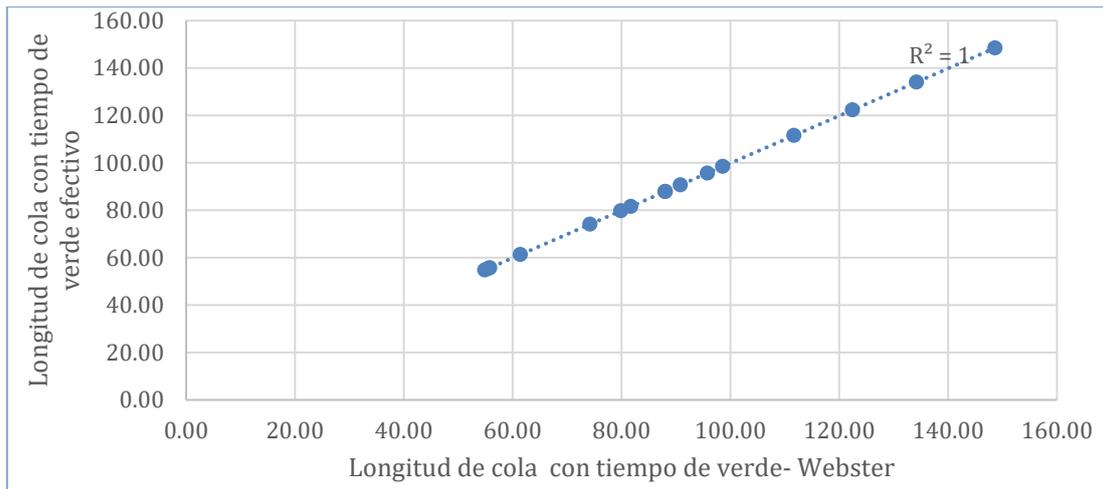


FIGURA 4.11.1: Analisis estadístico para la Avenida Lima según la longitud máxima de cola obtenida mediante el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo.

Fuente: Propia.

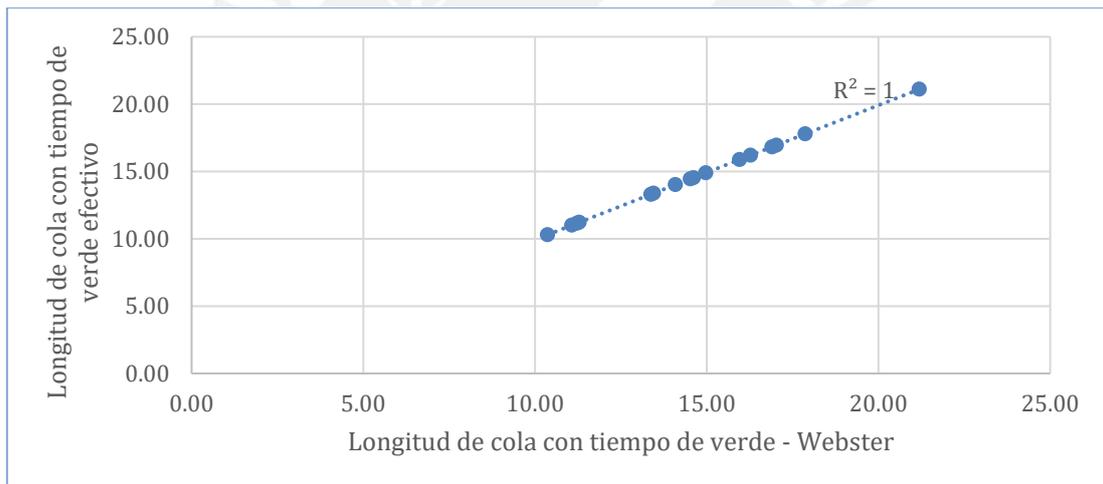


FIGURA 4.11.2: Analisis estadístico para el Jirón Bolognesi según la longitud máxima de cola obtenida mediante el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo.

Fuente: Propia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

Las conclusiones del presente estudio en contraste con los objetivos iniciales se detallan a continuación.

EXAMINAR SI LA FUNCIÓN TRANSFORMADA DE WHITING JUNTO A LOS PARÁMETROS PROPUESTOS POR WEBSTER, MC NEIL, AKCELIK Y ROUPHAIL PERMITEN OBTENER UNA LONGITUD MÁXIMA DE COLA SEMEJANTE A LOS VALORES DE CAMPO.

Durante la toma de datos en campo, las longitudes de colas que se generaban en la Avenida Lima y el Jirón Bolognesi indicaban la saturación de las vías. Al analizar las vías de la intersección, se obtuvo que la magnitud del grado de saturación durante todos los periodos de los días analizados era mayor a 0.7.

Considero que es necesario identificar las causas que generan la saturación de las vías. La mas importante es que la capacidad es superada por la demanda de vehículos. Asimismo, el comportamiento de los conductores de transporte público y privado quienes interfieren en el flujo vehicular al pasar de un carril a otro. Los paraderos informales, la distracción de los conductores al mantener una conversación, la intención de recoger la mayor cantidad de pasajeros y la poca empatía entre conductores, ciclistas y peatones son causas que fomentan el tráfico vehicular.

La función transformada de Whiting es aplicable en vías cuyo grado de saturación es mayor a 0.7. Las vías de la intersección seleccionada obtuvieron valores superiores al mencionado. Por lo tanto, la función transformada de Whiting es aplicable en la intersección.

El grado de saturación de la Avenida Lima varía entre 1.42 y 2.30 mientras que en el Jirón Bolognesi varía entre 0.76 y 1.06. Estos valores varían de acuerdo al momento en el que es estudiada la vía. A mayor cantidad de vehículos, la demanda supera la capacidad de la vía y por lo tanto el grado de saturación será mayor.

Las magnitudes de los grados de saturación obtenidos en las vías son congruentes con las longitudes máximas de cola obtenidas en campo y mediante la función transformada de Whiting. El grado de saturación cuya magnitud es 2.30 tiene una longitud máxima de cola

medida en campo de 205 vehículos. Por otro lado, cuando el grado de saturación es de 1.42, la longitud máxima de cola medida en campo es de 151 vehículos.

Para la determinación de las capacidades de las vías se utilizó el software SYNCHRO basándose en la metodología del HCM 2000. El software brinda magnitudes a parámetros como el número de carriles, factores de ajuste debido al ancho de carriles, vehículos pesados, pendiente de acceso, estacionamientos adyacentes, bloqueo de buses, tipo de área, vuelta y presencia de interrupción debido a peatones y ciclista.

Es necesario determinar el flujo de saturación para obtener la longitud máxima de cola mediante la función transformada de Whiting. El software SYNCHRO brinda el flujo de saturación como resultado del análisis de la vía. Se obtuvo mayor magnitud del flujo de saturación en el Jirón Bolognesi que en la Avenida Lima. Esto se debe a que la Avenida Lima a diferencia del Jirón Bolognesi es transitada por vehículos de transporte público y el flujo de saturación depende de la cantidad de vehículos que utilizan la vía y de los factores que la afectan.

Al evaluar la longitud de cola mediante el uso de la función transformada de Whiting se encontraron valores muy por debajo respecto de los que se encontraron en campo. La longitud de cola de la Avenida Lima obtenida mediante la función transformada de Whiting es menor entre 22% y 66% que la longitud de cola obtenida en campo. En el caso del Jirón Bolognesi, la longitud de cola varía entre 68% y 83% menos que la longitud de cola medida en campo.

Es importante mencionar que son cuatro los autores que definieron los parámetros a emplear la función transformada de Whiting. Sin embargo, ninguno de los valores obtenidos ha brindado resultados semejantes a los obtenidos en campo.

Al realizar un análisis estadístico entre los valores la longitud máxima de cola obtenida en campo y mediante la función transformada de Whiting determinamos que no hay similitud. El coeficiente de determinación al analizar la Avenida Lima es de 0.45 mientras que para el Jirón Bolognesi es de 0.44. Para obtener resultados similares, el coeficiente debe ser lo más cercano a uno. Por lo tanto, al obtener valores alejados de 1, podemos concluir que los parámetros obtenidos mediante la función transformada de Whiting no son representativos en comparación a los datos obtenidos en campo.

EVALUAR EL EFECTO DEL VERDE EFECTIVO EN LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE COLA DE LOS ACCESOS DE UNA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA.

Los parámetros del ciclo del semáforo fueron medidos en campo y registrado mediante videos. El verde efectivo varía 1% respecto del verde para ambas vías. La percepción y reacción del conductor varía entre 1 y 3 segundos.

Al comparar los valores obtenidos mediante el tiempo de verde y el tiempo de verde efectivo, la variación de la longitud máxima de cola es prácticamente nula. Se redondearon los valores para obtener el número de vehículos que se registraron en la cola y la cantidad es la misma.

Se realizó el análisis estadístico para comparar los valores y obtuvimos que el coeficiente de determinación es igual a uno. Por lo tanto, podemos concluir que no es necesario determinar el tiempo de verde efectivo debido a que los resultados obtenidos serán los mismos si es que no nos detenemos a determinarlos.

5.2 RECOMENDACIONES:

La capacidad varía de acuerdo al tiempo en el que es analizada y fue corroborado como parte de los resultados obtenidos. La Avenida Lima posee mayor capacidad en comparación al Jirón Bolognesi. Los resultados obtenidos a partir del software SYNCHRO evalúan ciertos parámetros mas no todo lo que ocurre en la realidad. Las causas que influyen en el flujo vehicular fueron mencionadas anteriormente y no fueron consideradas en el análisis. Por lo tanto, sugiero que se evalúe la capacidad de las vías directamente en campo para obtener mayor precisión y comparar que tan verídico son los resultados obtenidos mediante el software.

La percepción y reacción por parte de los conductores no influye en el cálculo de longitud máxima de cola debido a que la variación es mínima. No se pudo evaluar la variación de la capacidad al utilizar el tiempo de verde debido a que se utilizó el software SYNCHRO. Por lo tanto, recomiendo evaluar la capacidad en campo y analizar el impacto que genera el tiempo de verde efectivo en su evaluación.

FUENTES CITADAS

- Akcelik, R. (1998). Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. Recuperado de: http://www.sidrasolutions.com/Documents/Akcelik_ARR%20123_SignalTiming.pdf
- Akcelik, R. (2000). Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time-dependent form and an alternative travel time function. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/242258239_Travel_time_functions_for_transport_planning_purposes_Davidson's_function_its_time-dependent_form_and_an_alternative_travel_time_function
- Akcelik, R. (2011). Time – Dependent Expressions for Delay, Stop Rate and Queue Length at Traffic Signals. Recuperado de: http://www.sidrasolutions.com/Cms_Data/Contents/SIDRA/Folders/Resources/Articles/Articles/~contents/MDX2XHQ6LZDG4TC8/Akcelik_1980_AIR367-1_DelayStopsQueue.pdf
- Bull, A. (2003). Gestión de Transito. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cal y Mayor, R. (1962). Ingeniería de Transito. México: UNAM.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2013). Ingeniería de Transito Fundamentos y aplicaciones. Colombia: Alfaomega.
- Chikezie, C. U. (2011). Design of Traffic Signals at Closely Spaced Intersections in Ilorin, Kwara State, Nigeria. Recuperado de: https://www.academia.edu/3131001/Design_of_Traffic_Signals_at_Closely_Spaced_Intersections_in_Ilorin_Kwara_State_Nigeria
- Dall'Orto, A., & Zegarra, J., & Vásquez, B. (1992). Ingeniería de Transito. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ding, Z. J. (2010). Traffic Flow at a Signal Controlled T-Shaped Intersection.
- Fernández, R. (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gibson, J. (2001). Teoría de flujos vehiculares. Recuperado de: https://www.academia.edu/28494810/Teor%C3%ADa_de_Flujos_Vehiculares_Apuntes_de_Clase
- Glanville, W. H. (1957). Traffic signal settings. Road Research Technical Paper, No. 39. London: Department of Scientific and Industrial Research.
- Gómez, R. C. (2004). Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326. Recuperado de: https://www.academia.edu/16248348/TEXTO_DEL_ALUMNO_INGENIERIA_DE_TR%C3%81FICO_C

IV_326_UNIVERSIDAD_MAYOR_DE_SAN_SIMON_FACULTAD_DE_CIENCIAS_Y_TECNOLOGIA
A_CARRERA_DE_INGENIERIA_CIVIL

Gonzales, E. (marzo, 2019). Contaminación por tráfico. Webconsultas, revista de salud y bienestar. Recuperado de: <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/contaminacion-por-trafico>

Gonzales, M., & Sepúlveda, E. J. (2010). Aplicación de teoría de colas en los semáforos para mejorar la movilidad en la carrera 7 entre calles 15 y 20 de la ciudad de Pereira (Tesis de pregrado). Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.

McElroy, R. (2008). Traffic Signal Timing Manual. Federal Highway Administration. Recuperado de: https://nacto.org/docs/usdg/signal_timing_manual_fhwa.pdf

McNeil, D.R. (1968). A solution to the fixed-cycle traffic light problem for compound poisson arrivals. J. of Applied Probability, vol. 5, no. 3, pp. 624–635.

Miramontes, E., & Osiris, J., & Rodríguez, A. (mayo, 2015). Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. Cultura científica, 56 (12). Recuperado de: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/691>

Ohno, K., & Mine, H. (1973). Traffic light queues with departure headways depending upon positions. Recuperado de: http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/Vol.17_03_145.pdf

Perú21. (18 de agosto de 2017). Tráfico genera estrés a 92% de limeños. Perú21. Recuperado: <https://peru21.pe/peru/trafico-genera-estres-92-limenos-372014>

Publimetro. (18 de agosto de 2017). ¿Cuánto dinero y tiempo gastan los limeños en movilizarse?. Publimetro. Recuperado de: <https://publimetro.pe/actualidad/noticia-cuanto-dinero-y-tiempo-gastan-limenos-movilizarse-63827>

Rouphail, N., & Tarko, A., & Li, J. (2016). Traffic flow at signalized intersections. Recuperado de: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/tft/chap9.pdf>

Radelat, G. (1964). Manual de ingeniería de tránsito. Estados Unidos: The Reuben H. Donnelly Corporation.

Secretaria de Movilidad de Medellín (2018). Semáforos. Recuperado de: https://www.medellin.gov.co/movilidad/documents/seccion_senalizacion/cap7_semaforos.pdf

Tapia, J. G., & Veizaga, R. D. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico (Licenciatura). Universidad mayor de San Simón, Bolivia.

Thomson, I., & Bull, A. (abril, 2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (76). Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/10804/076109121_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valencia, V. G. (2000). Principio sobre semáforos. Recuperado de: https://www.academia.edu/25002715/PRINCIPIOS_SOBRE_SEM%C3%81FOROS_V%C3%8DCTOR_GABRIEL_VALENCIA_ALAIX_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_COLOMBIA_SEDE_MEDELL%C3%8DN_FACULTAD_NACIONAL_DE_MINAS

Webster, F.V., & B.M. Cobbe. (1966) Traffic Signals. Road Research Technical Paper, No. 56. London: Her Majesty's Stationery Office.



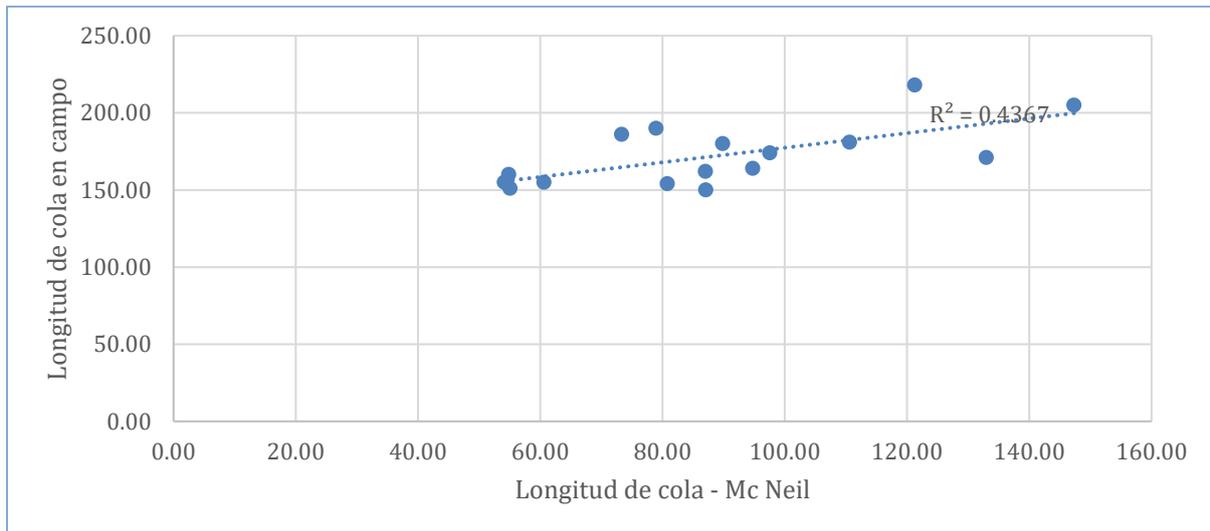
APENDICE A

- Reporte del día lunes (7:00 am – 7:15 am)
- Reporte del día lunes (7:15 am – 7:30 am)
- Reporte del día lunes (7:30 am – 7:45 am)
- Reporte del día lunes (7:45 am – 8:00 am)
- Reporte del día martes (7:00 am – 7:15 am)
- Reporte del día martes (7:15 am – 7:30 am)
- Reporte del día martes (7:30 am – 7:45 am)
- Reporte del día martes (7:45 am – 8:00 am)
- Reporte del día miércoles (7:00 am – 7:15 am)
- Reporte del día miércoles (7:15 am – 7:30 am)
- Reporte del día miércoles (7:30 am – 7:45 am)
- Reporte del día miércoles (7:45 am – 8:00 am)
- Reporte del día jueves (7:00 am – 7:15 am)
- Reporte del día jueves (7:15 am – 7:30 am)
- Reporte del día jueves (7:30 am – 7:45 am)
- Reporte del día jueves (7:45 am – 8:00 am)

APENDICE B

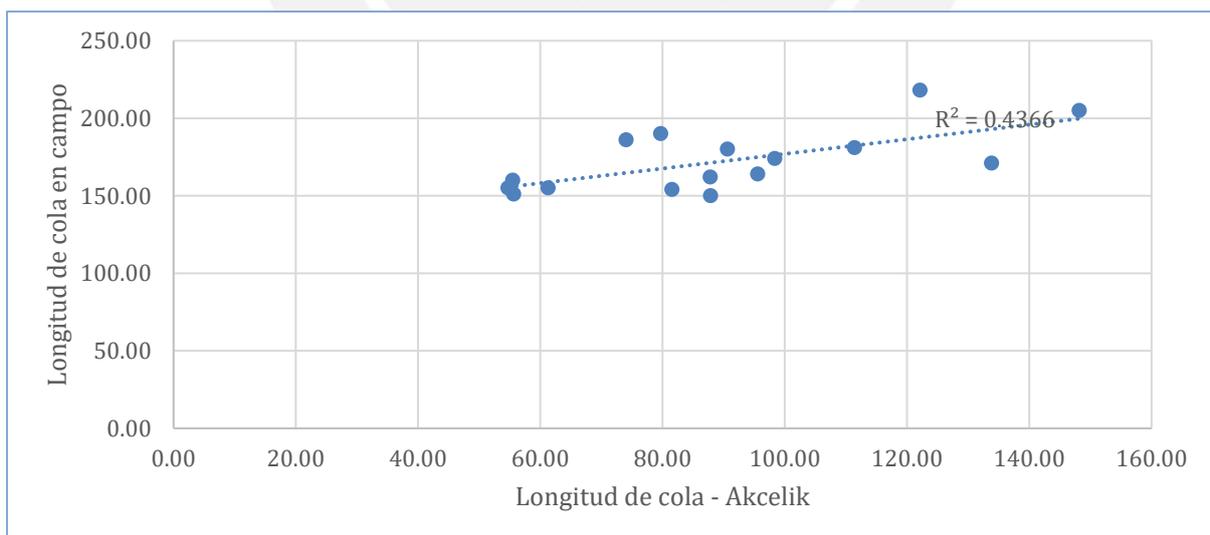
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola de la Avenida Lima hallada mediante los parámetros de Mc Neil.

El coeficiente de determinación es de 0.44.



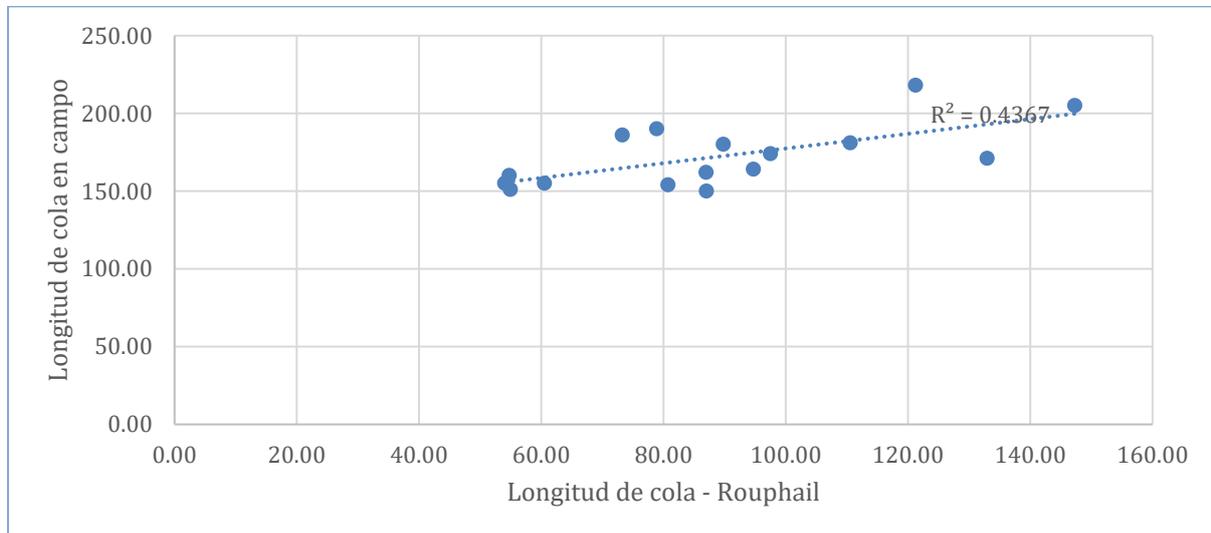
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola de la Avenida Lima hallada mediante los parámetros de Akcelik.

El coeficiente de determinación es de 0.44.



- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola de la Avenida Lima hallada mediante los parámetros de Roupail.

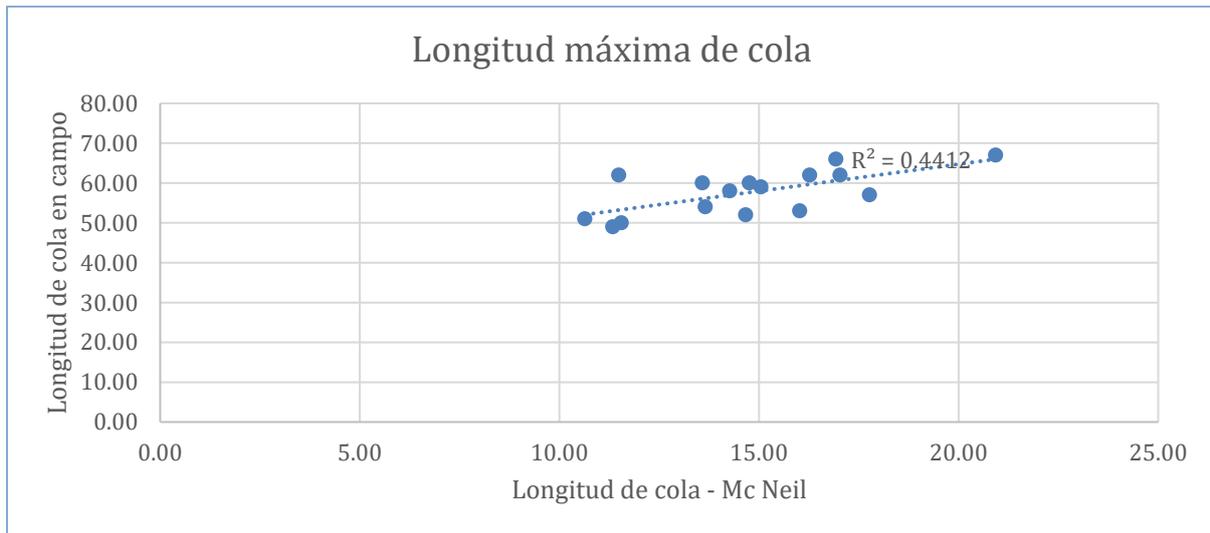
El coeficiente de determinación es de 0.44.



APENDICE C

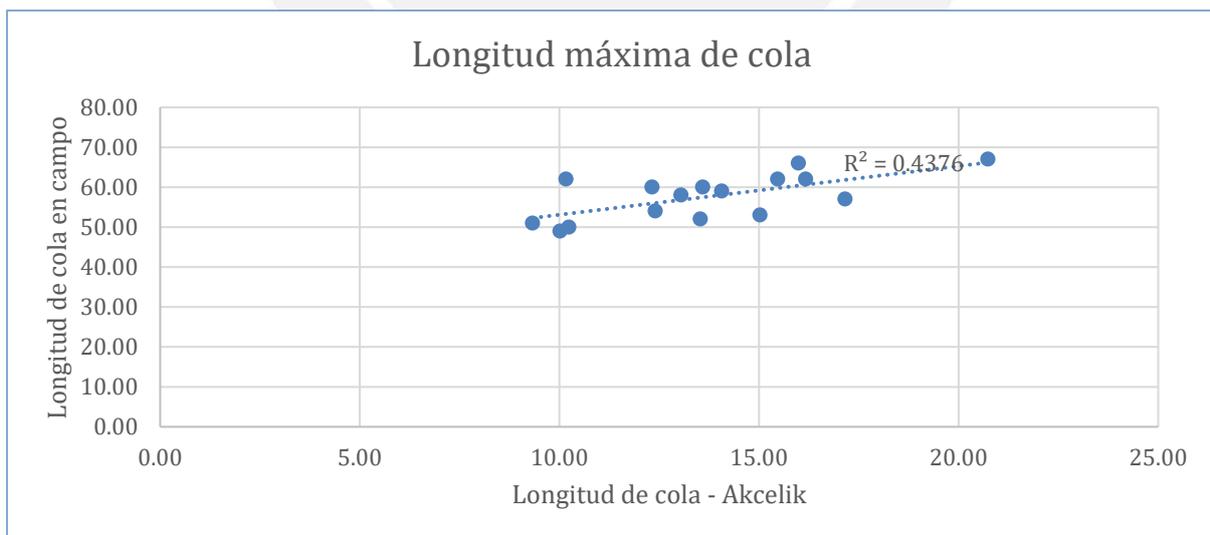
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola del Jirón Bolognesi hallada mediante los parámetros de Mc Neil.

El coeficiente de determinación es de 0.44.



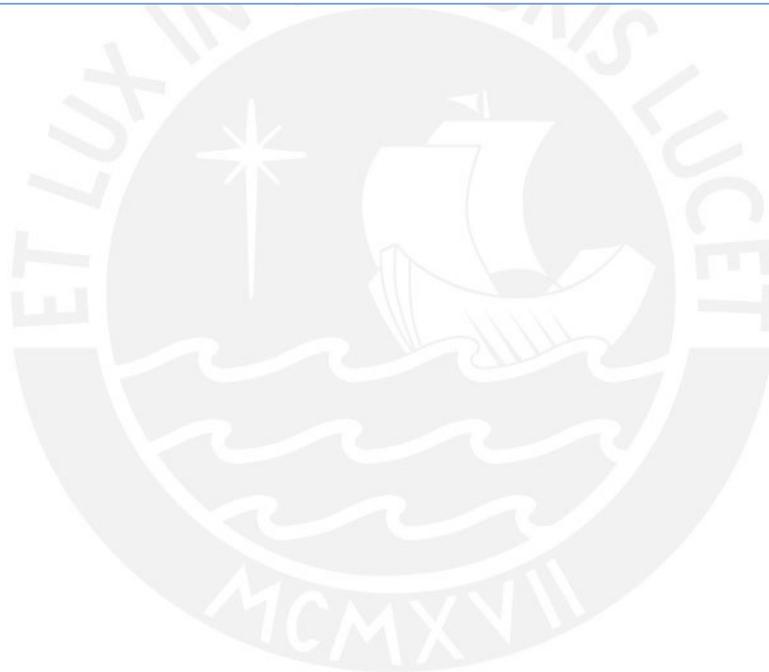
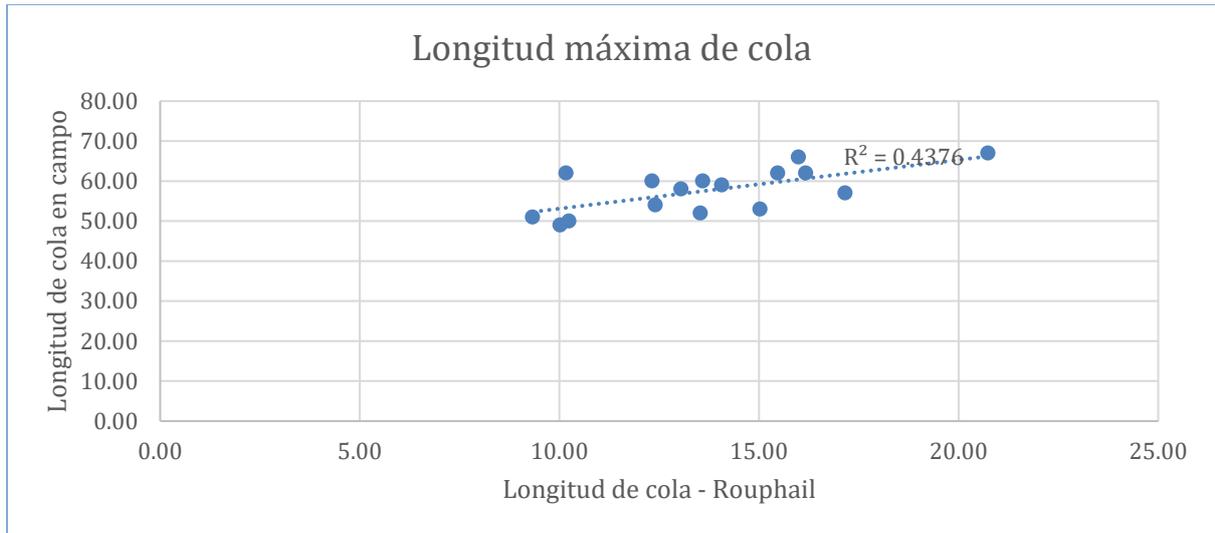
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola del Jirón Bolognesi hallada mediante los parámetros de Akcelik.

El coeficiente de determinación es de 0.44.



- Análisis estadístico de la longitud de cola medida en campo y la longitud de cola del Jirón Bolognesi hallada mediante los parámetros de Rouphail.

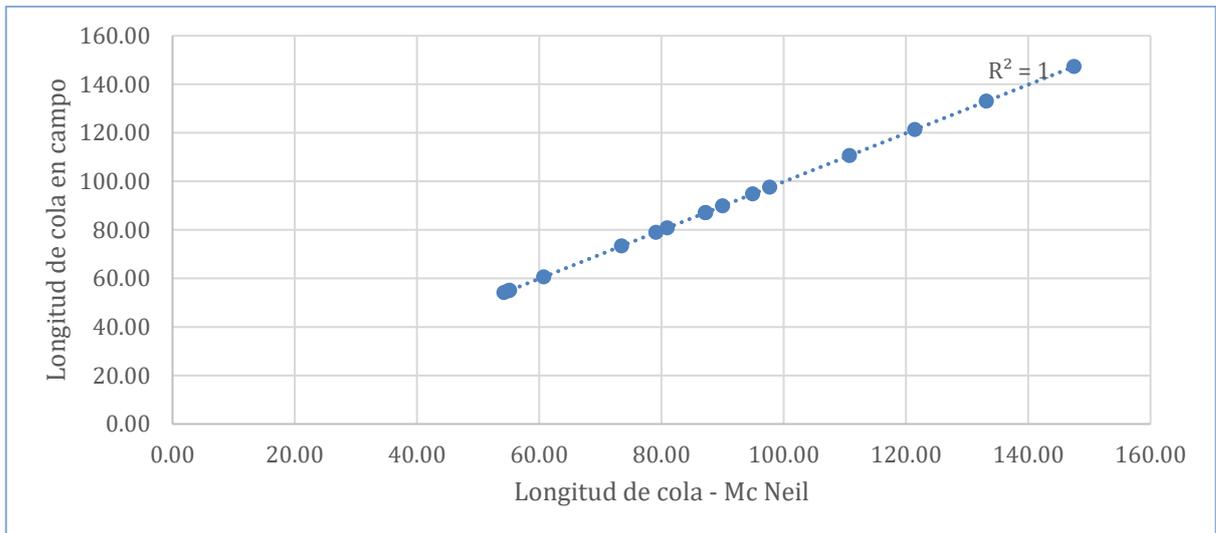
El coeficiente de determinación es de 0.44.



APENDICE D

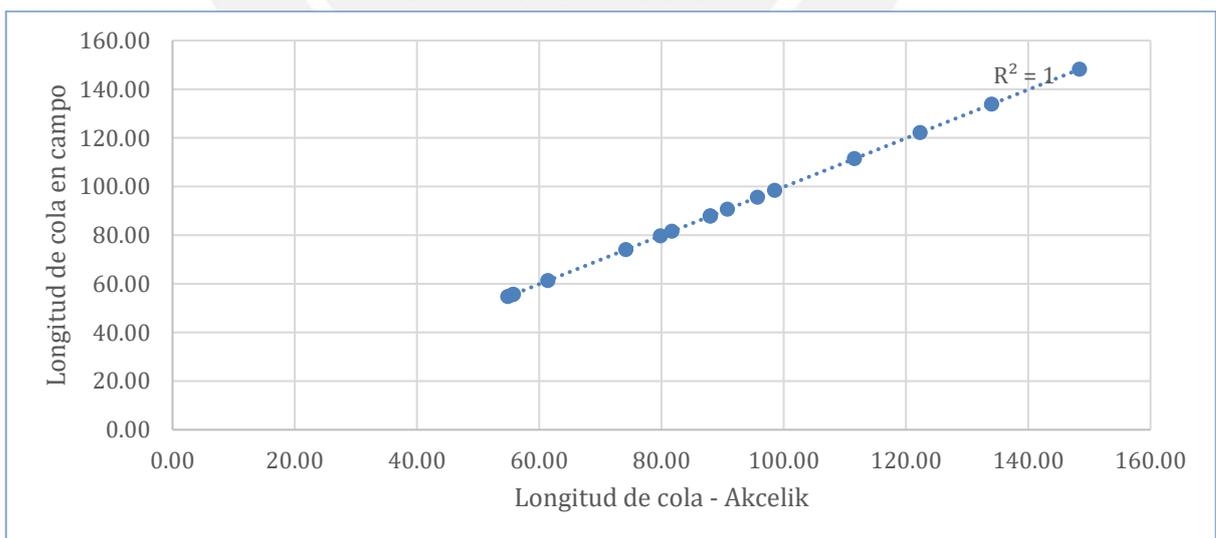
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Mc Neil.

El coeficiente de determinación es de 1.

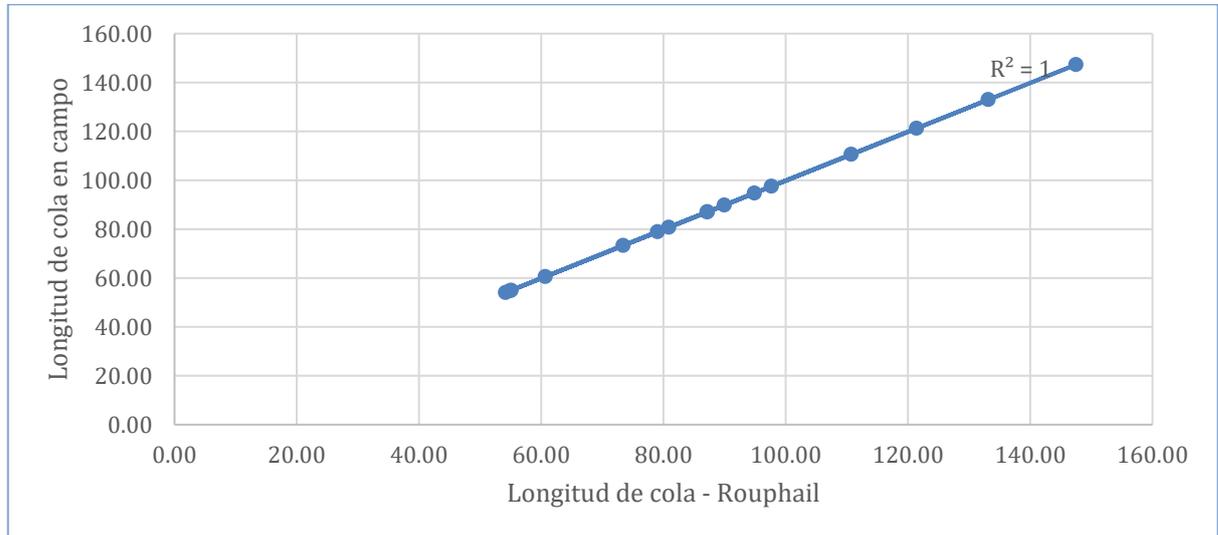


- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Akcelik

El coeficiente de determinación es de 1.



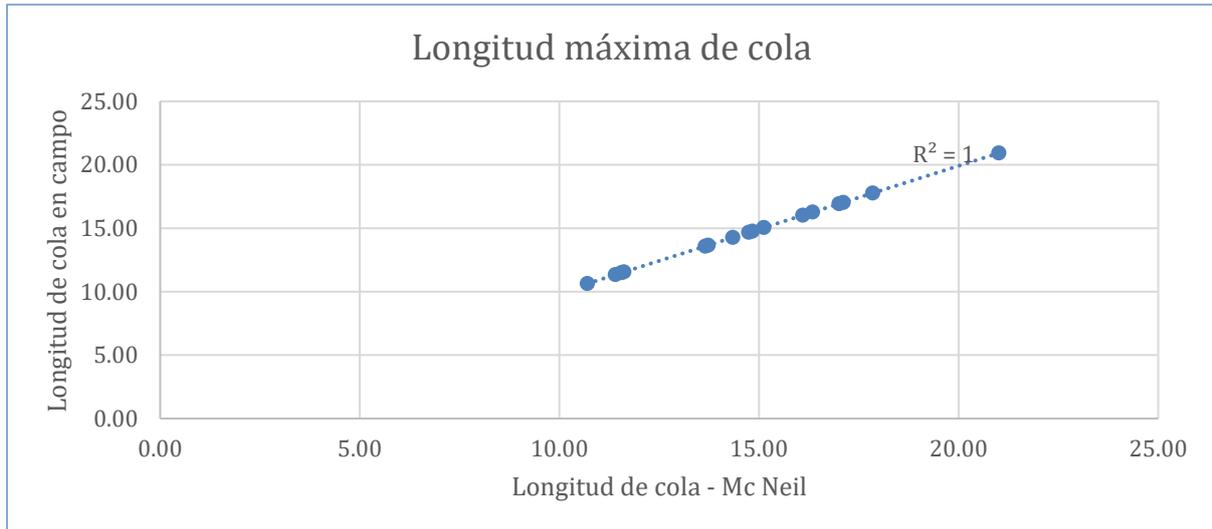
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Rouphail.
El coeficiente de determinación es de 1.



APENDICE E

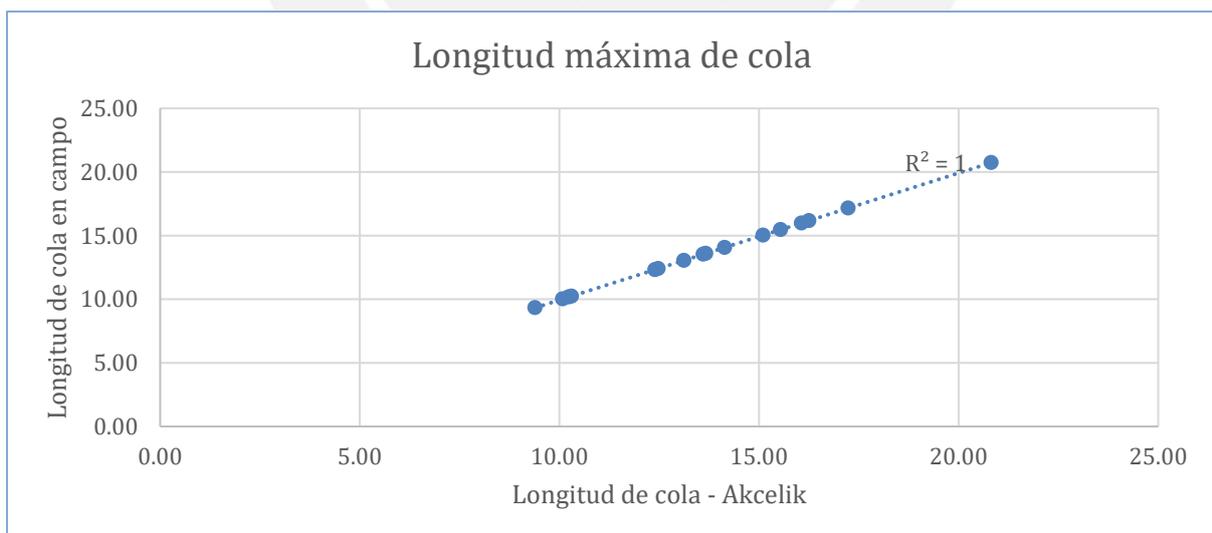
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Mc Neil.

El coeficiente de determinación es de 1.

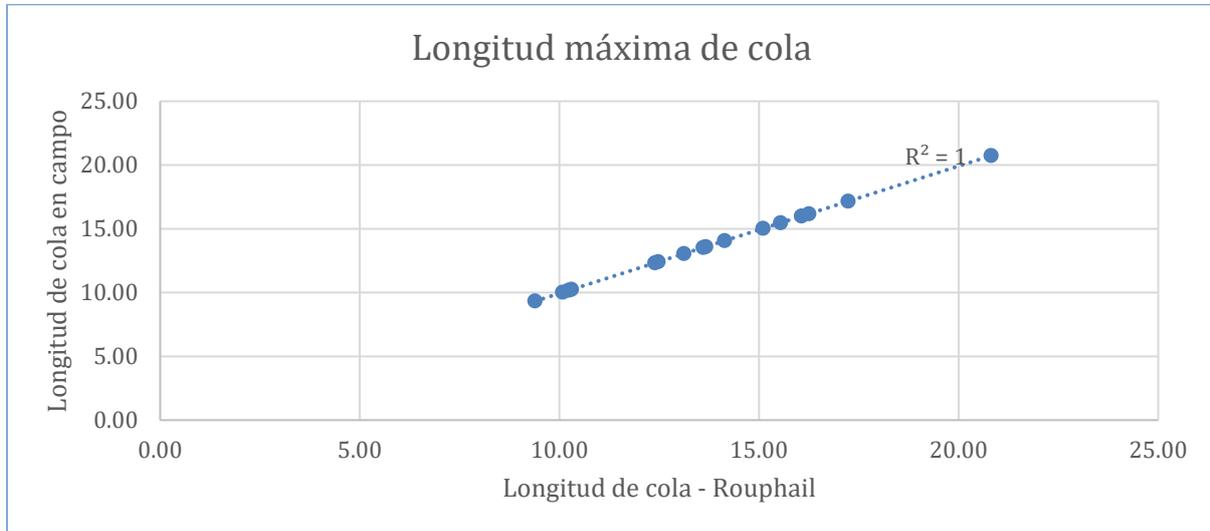


- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Akcelik

El coeficiente de determinación es de 1.



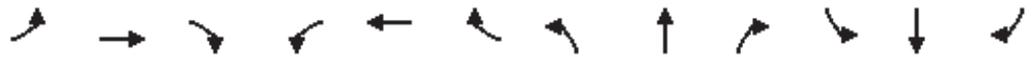
- Análisis estadístico de la longitud de cola medida obtenida con el tiempo de ver y el tiempo de verde efectivo utilizando los parámetros de de Roupail.
El coeficiente de determinación es de 1.



HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



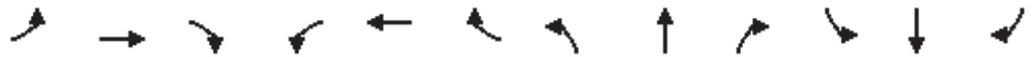
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|----------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 384 | 0 | 0 | 0 | 0 | 284 | 992 | 72 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | 1.00 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3082 | | | | | | 2719 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3082 | | | | | | 2719 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 384 | 0 | 0 | 0 | 0 | 284 | 992 | 72 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 580 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1348 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 4 | | | | | | | 4 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | 4 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.19 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 588 | | | | | | 772 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.19 | | | | | | 0.50 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.99 | | | | | | 1.75 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 95.2 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 33.9 | | | | | | 341.1 | |
| Delay (s) | | | | | 129.1 | | | | | | 425.6 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 129.1 | | | 0.0 | | | 425.6 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 336.4 | | HCM Level of Service | | | | | F | | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.44 | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | Sum of lost time (s) | | | | | 124.0 | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 163.7% | | ICU Level of Service | | | | | H | | |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



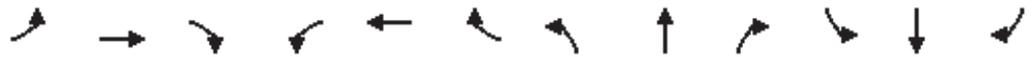
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|----------------------|----------------------|---|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 204 | 352 | 0 | 0 | 0 | 0 | 344 | 824 | 100 | | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 1.00 | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 | | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3073 | | | | | | | 2720 | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3073 | | | | | | | 2720 | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 204 | 352 | 0 | 0 | 0 | 0 | 344 | 824 | 100 | | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 556 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1268 | 0 | | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 4 | | 4 | | | | | | 4 | | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 4 | | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% | | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.19 | | | | | | 0.28 | | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 586 | | | | | | 772 | | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.18 | | | | | | 0.47 | | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.95 | | | | | | 1.64 | | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 94.4 | | | | | | 84.5 | | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 26.5 | | | | | | 295.0 | | | |
| Delay (s) | | | | | 120.8 | | | | | | 379.5 | | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 120.8 | | | 0.0 | | | 379.5 | | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 300.6 | | | | | | | | | HCM Level of Service | F | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.36 | | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | | | | | | 124.0 | | | Sum of lost time (s) | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 160.7% | | | | | | | | | | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

4/11/2019



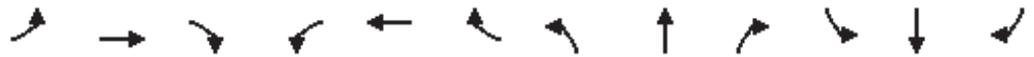
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|----------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|--|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 0.99 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3058 | | | | | | | 2631 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3058 | | | | | | | 2631 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 440 | 1168 | 108 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 620 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1716 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 4 | | 4 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.19 | | | | | | 0.28 | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 583 | | | | | | 747 | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.20 | | | | | | 0.65 | | |
| v/c Ratio | | | | | 1.06 | | | | | | 2.30 | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 95.5 | | | | | | 84.5 | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 55.3 | | | | | | 588.0 | | |
| Delay (s) | | | | | 150.8 | | | | | | 672.5 | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 150.8 | | | 0.0 | | | 672.5 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 534.0 | | HCM Level of Service | | | | | | F | | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.80 | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | Sum of lost time (s) | | | | | 124.0 | | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 176.6% | | ICU Level of Service | | | | | H | | | |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

4/11/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 392 | 0 | 0 | 0 | 0 | 288 | 884 | 56 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% |
| Total Lost time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | | 51.0 |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 1.00 |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3082 | | | | | | | 2724 |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3082 | | | | | | | 2724 |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 392 | 0 | 0 | 0 | 0 | 288 | 884 | 56 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 592 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1228 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 4 | | 4 | | | | | | 4 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 4 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 45.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.19 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 73.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 588 | | | | | | 773 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.19 | | | | | | 0.45 | |
| v/c Ratio | | | | | 1.01 | | | | | | 1.59 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 95.5 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 38.8 | | | | | | 271.0 | |
| Delay (s) | | | | | 134.3 | | | | | | 355.5 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 134.3 | | | 0.0 | | | 355.5 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |

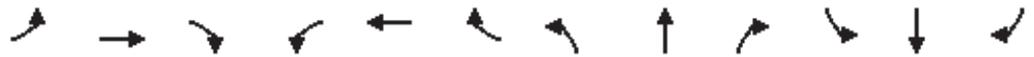
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 283.6 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.35 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 124.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 160.3% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



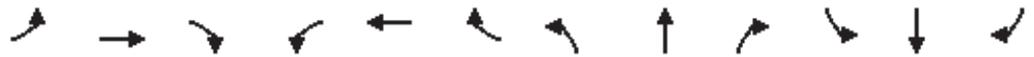
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|------|-------|----------------------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 372 | 0 | 0 | 0 | 0 | 316 | 720 | 84 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3060 | | | | | | 2670 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3060 | | | | | | 2670 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 372 | 0 | 0 | 0 | 0 | 316 | 720 | 84 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 572 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1120 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 12 | | | | | | 4 | | 4 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 8% | 8% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 622 | | | | | | 758 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.19 | | | | | | 0.42 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.92 | | | | | | 1.48 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 92.1 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 21.0 | | | | | | 222.0 | |
| Delay (s) | | | | | 113.1 | | | | | | 306.5 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 113.1 | | | 0.0 | | | 306.5 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 241.1 | | | | | | | | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.24 | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | | | | | | 121.0 | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 154.0% | | | | | | | | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



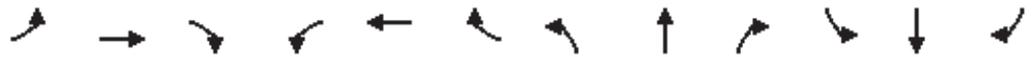
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|----------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 188 | 428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 288 | 844 | 160 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.98 | | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3130 | | | | | | 2502 | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3130 | | | | | | 2502 | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 188 | 428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 288 | 844 | 160 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 616 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1292 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | | | | | | | 4 | | 4 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 12% | 12% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| Turn Type | | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | | 8 | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 637 | | | | | | 710 | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.20 | | | | | | 0.52 | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.97 | | | | | | 1.82 | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 93.2 | | | | | | 84.5 | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 28.4 | | | | | | 374.4 | | |
| Delay (s) | | | | | 121.6 | | | | | | 458.9 | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 121.6 | | | 0.0 | | | 458.9 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 350.0 | | HCM Level of Service | | | | | | F | | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.46 | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | Sum of lost time (s) | | | | | 121.0 | | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 161.0% | | ICU Level of Service | | | | | H | | | |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------------------|----------------------|---|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 192 | 312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 228 | 752 | 96 | | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 0.99 | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 | | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3088 | | | | | | | 2663 | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3088 | | | | | | | 2663 | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 192 | 312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 228 | 752 | 96 | | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 504 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1076 | 0 | | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 4 | | | | | | 4 | | 4 | | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 | | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 8% | 8% | | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 0 | | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 628 | | | | | | 756 | | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.16 | | | | | | 0.40 | | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.80 | | | | | | 1.42 | | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 89.5 | | | | | | 84.5 | | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 10.4 | | | | | | 198.2 | | | |
| Delay (s) | | | | | 99.9 | | | | | | 282.7 | | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 99.9 | | | 0.0 | | | 282.7 | | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 224.4 | | | | | | | | | HCM Level of Service | F | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.16 | | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | | | | | | 121.0 | | | Sum of lost time (s) | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 150.5% | | | | | | | | | | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

8/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↕↕ | | | | | | ↕↕ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 212 | 384 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 1056 | 56 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | 0.99 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3077 | | | | | | 2522 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3077 | | | | | | 2522 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 212 | 384 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 1056 | 56 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 596 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1412 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 8 | | 8 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 12% | 14% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 626 | | | | | | 716 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.19 | | | | | | 0.56 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.95 | | | | | | 1.97 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 92.9 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 25.9 | | | | | | 442.5 | |
| Delay (s) | | | | | 118.8 | | | | | | 527.0 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 118.8 | | | 0.0 | | | 527.0 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |

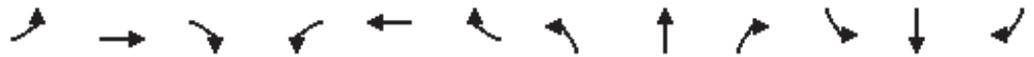
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 405.8 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.55 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 163.6% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 376 | 0 | 0 | 0 | 0 | 380 | 908 | 84 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3120 | | | | | | 2593 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3120 | | | | | | 2593 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 376 | 0 | 0 | 0 | 0 | 380 | 908 | 84 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 572 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1372 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | | | | | | | 4 | | 4 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 8% | 16% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 635 | | | | | | 736 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.18 | | | | | | 0.53 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.90 | | | | | | 1.86 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 91.7 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 18.3 | | | | | | 394.1 | |
| Delay (s) | | | | | 109.9 | | | | | | 478.6 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 109.9 | | | 0.0 | | | 478.6 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |

| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 370.1 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.46 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 161.9% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis
 3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

8/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↕↕ | | | | | | ↕↕ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384 | 1012 | 92 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | 0.98 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3060 | | | | | | 2487 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3060 | | | | | | 2487 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 200 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384 | 1012 | 92 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1488 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 8 | | 8 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 9% | 14% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 622 | | | | | | 706 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.16 | | | | | | 0.60 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.80 | | | | | | 2.11 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 89.5 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 10.6 | | | | | | 503.2 | |
| Delay (s) | | | | | 100.1 | | | | | | 587.7 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 100.1 | | | 0.0 | | | 587.7 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |

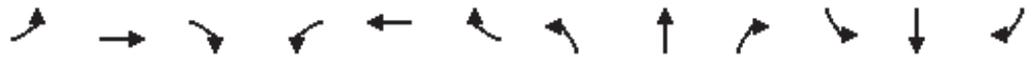
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 465.1 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.56 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 163.3% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|--|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 276 | 0 | 0 | 0 | 0 | 388 | 668 | 36 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 0.98 | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.98 | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3065 | | | | | | 2701 | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.98 | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3065 | | | | | | 2701 | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 276 | 0 | 0 | 0 | 0 | 388 | 668 | 36 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 496 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1092 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | | | | | | | 8 | | 8 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 15% | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 0 | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 623 | | | | | | 767 | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.16 | | | | | | 0.40 | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.80 | | | | | | 1.42 | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 89.3 | | | | | | 84.5 | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 10.2 | | | | | | 198.3 | | |
| Delay (s) | | | | | 99.5 | | | | | | 282.8 | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 99.5 | | | 0.0 | | | 282.8 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |

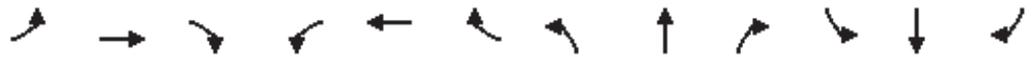
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 225.5 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.16 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 150.8% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|--|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 176 | 404 | 0 | 0 | 0 | 0 | 276 | 956 | 36 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Flt Protected | | | | | 0.99 | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3112 | | | | | | 2532 | | |
| Flt Permitted | | | | | 0.99 | | | | | | 0.99 | | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3112 | | | | | | 2532 | | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 176 | 404 | 0 | 0 | 0 | 0 | 276 | 956 | 36 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 580 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1268 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | | | | | | | 8 | | 8 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 6% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 12% | 8% | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 633 | | | | | | 719 | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.19 | | | | | | 0.50 | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.92 | | | | | | 1.76 | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 92.0 | | | | | | 84.5 | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 20.2 | | | | | | 349.3 | | |
| Delay (s) | | | | | 112.3 | | | | | | 433.8 | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 112.3 | | | 0.0 | | | 433.8 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |

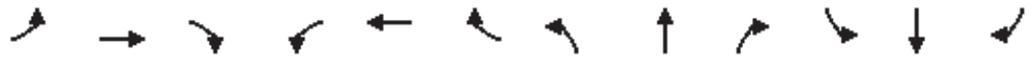
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 332.9 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.41 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 158.5% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



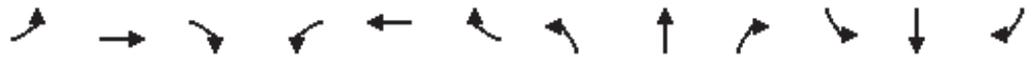
| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|------|-------|----------------------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 336 | 0 | 0 | 0 | 0 | 324 | 896 | 48 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | | 51.0 |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 0.99 |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3101 | | | | | | | 2668 |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3101 | | | | | | | 2668 |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 220 | 336 | 0 | 0 | 0 | 0 | 324 | 896 | 48 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 556 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1268 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 4 | | | | | | 4 | | 8 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 9% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 631 | | | | | | 757 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.18 | | | | | | 0.48 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.88 | | | | | | 1.68 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 91.2 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 16.2 | | | | | | 309.6 | |
| Delay (s) | | | | | 107.5 | | | | | | 394.1 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 107.5 | | | 0.0 | | | 394.1 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 306.7 | | | | | | | | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.34 | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | | | | | | 121.0 | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 158.0% | | | | | | | | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|-----------------------------------|------|------|--------|------|----------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|--|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 164 | 312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 276 | 628 | 68 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 0.98 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3093 | | | | | | | 2384 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3093 | | | | | | | 2384 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 164 | 312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 276 | 628 | 68 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 476 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 972 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 8 | | 8 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 9% | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 4 | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 629 | | | | | | 677 | | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.15 | | | | | | 0.41 | | |
| v/c Ratio | | | | | 0.76 | | | | | | 1.44 | | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 88.5 | | | | | | 84.5 | | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 8.3 | | | | | | 204.5 | | |
| Delay (s) | | | | | 96.8 | | | | | | 289.0 | | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 96.8 | | | 0.0 | | | 289.0 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |
| Intersection Summary | | | | | | | | | | | | | |
| HCM Average Control Delay | | | 225.8 | | HCM Level of Service | | | | | | F | | |
| HCM Volume to Capacity ratio | | | 1.15 | | | | | | | | | | |
| Actuated Cycle Length (s) | | | 236.0 | | Sum of lost time (s) | | | | | 121.0 | | | |
| Intersection Capacity Utilization | | | 146.4% | | ICU Level of Service | | | | | H | | | |
| Analysis Period (min) | | | 15 | | | | | | | | | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

8/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Lane Configurations | | | | | ↕↕ | | | | | | ↕↕ | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 212 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384 | 1024 | 88 |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | 0.98 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3092 | | | | | | 2394 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3092 | | | | | | 2394 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 212 | 400 | 0 | 0 | 0 | 0 | 384 | 1024 | 88 |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 612 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1496 | 0 |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 8 | | 8 |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 9% |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 4 |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 629 | | | | | | 680 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.20 | | | | | | 0.62 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.97 | | | | | | 2.20 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 93.4 | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 29.8 | | | | | | 544.8 | |
| Delay (s) | | | | | 123.2 | | | | | | 629.3 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 123.2 | | | 0.0 | | | 629.3 | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | |

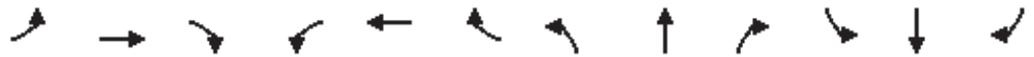
| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 482.4 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.69 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 167.0% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group

HCM Signalized Intersection Capacity Analysis

3: Av. Lima & Jiron Bolognesi

20/10/2019



| Movement | EBL | EBT | EBR | WBL | WBT | WBR | NBL | NBT | NBR | SBL | SBT | SBR | |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|--|
| Lane Configurations | | | | | ↑↑ | | | | | | ↑↑ | | |
| Volume (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 360 | 0 | 0 | 0 | 0 | 320 | 844 | 88 | |
| Ideal Flow (vphpl) | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | 1900 | |
| Lane Width | 2.4 | 3.6 | 2.4 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 2.4 | |
| Grade (%) | | 2% | | | 2% | | | 5% | | | 5% | | |
| Total Lost time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | | 51.0 | |
| Lane Util. Factor | | | | | 0.95 | | | | | | | 0.95 | |
| Frbp, ped/bikes | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | |
| Flpb, ped/bikes | | | | | 0.99 | | | | | | | 0.99 | |
| Frt | | | | | 1.00 | | | | | | | 0.99 | |
| Flt Protected | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (prot) | | | | | 3090 | | | | | | | 2530 | |
| Flt Permitted | | | | | 0.98 | | | | | | | 0.99 | |
| Satd. Flow (perm) | | | | | 3090 | | | | | | | 2530 | |
| Peak-hour factor, PHF | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| Adj. Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 196 | 360 | 0 | 0 | 0 | 0 | 320 | 844 | 88 | |
| RTOR Reduction (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lane Group Flow (vph) | 0 | 0 | 0 | 0 | 556 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1252 | 0 | |
| Confl. Peds. (#/hr) | | | | 8 | | | | | | 4 | | 4 | |
| Confl. Bikes (#/hr) | | | | | | 4 | | | | | | 8 | |
| Heavy Vehicles (%) | 0% | 0% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 9% | |
| Bus Blockages (#/hr) | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | 4 | |
| Turn Type | | | | Perm | NA | | | | | Perm | NA | | |
| Protected Phases | | | | | 8 | | | | | | | 6 | |
| Permitted Phases | | | | 8 | | | | | | 6 | | | |
| Actuated Green, G (s) | | | | | 48.0 | | | | | | | 67.0 | |
| Effective Green, g (s) | | | | | 48.0 | | | | | | | 67.0 | |
| Actuated g/C Ratio | | | | | 0.20 | | | | | | | 0.28 | |
| Clearance Time (s) | | | | | 70.0 | | | | | | | 51.0 | |
| Lane Grp Cap (vph) | | | | | 628 | | | | | | | 718 | |
| v/s Ratio Prot | | | | | | | | | | | | | |
| v/s Ratio Perm | | | | | 0.18 | | | | | | | 0.49 | |
| v/c Ratio | | | | | 0.89 | | | | | | | 1.74 | |
| Uniform Delay, d1 | | | | | 91.3 | | | | | | | 84.5 | |
| Progression Factor | | | | | 1.00 | | | | | | | 1.00 | |
| Incremental Delay, d2 | | | | | 16.7 | | | | | | | 340.5 | |
| Delay (s) | | | | | 108.0 | | | | | | | 425.0 | |
| Level of Service | | | | | F | | | | | | | F | |
| Approach Delay (s) | | 0.0 | | | 108.0 | | | 0.0 | | | 425.0 | | |
| Approach LOS | | A | | | F | | | A | | | F | | |

| Intersection Summary | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------------|-------|
| HCM Average Control Delay | 327.5 | HCM Level of Service | F |
| HCM Volume to Capacity ratio | 1.38 | | |
| Actuated Cycle Length (s) | 236.0 | Sum of lost time (s) | 121.0 |
| Intersection Capacity Utilization | 157.6% | ICU Level of Service | H |
| Analysis Period (min) | 15 | | |

c Critical Lane Group