



**Universidad Politécnica de Valencia**  
**Escuela Técnica Superior de**  
**Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos**

**“Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada en Vía Ricardo J. Alfaro y Calle Juan Rivera Reyes., El Dorado, Ciudad de Panamá, Panamá; mediante la aplicación del Highway Capacity Manual 2010”.**

Trabajo de Fin de Máster

Máster en Ingeniería

de Transportes, Territorio y Urbanismo.

Presentado por:

Yauruslaidis Iursveth Ibarra Arroyo

Dirigido por:

Javier Soriano Ferriol

Valencia, Septiembre 2019.



## INDICE

### INDICE

INDICE.....	II
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Descripción general de área de estudio.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Vías Urbanas .....</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Circulación interrumpida .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4. Intensidades medidas y observadas.....</b>	<b>3</b>
<b>2.5. Intersecciones con semáforos o semaforizadas .....</b>	<b>4</b>
<b>2.6. Problemas de congestión en intersecciones semaforizadas .....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETO DE ESTUDIO .....</b>	<b>8</b>
<b>4. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. Dispositivos de control de tráfico .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3. Ventajas y desventajas del uso de semáforos .....</b>	<b>12</b>
<b>4.4. Tipos de movimientos .....</b>	<b>14</b>
<b>4.5. Capacidad de la intersección semaforizadas .....</b>	<b>15</b>
<b>4.5.1. Definición .....</b>	<b>15</b>
<b>4.5.2. Factores que condicionan la capacidad de una intersección .....</b>	<b>15</b>
<b>4.6. Nivel de servicio .....</b>	<b>18</b>
<b>4.6.1. Concepto.....</b>	<b>18</b>



<b>4.7. Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada.....</b>	<b>20</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>20</b>
<b>4.7.1. Determinación de movimientos y grupos de carriles.....</b>	<b>21</b>
<b>4.7.2. Determinación de la Intensidad por grupo de movimientos. ....</b>	<b>23</b>
<b>4.7.3. Determinar la Intensidad por grupo de carriles. ....</b>	<b>24</b>
<b>4.7.4. Determinar el ajuste de la Intensidad de Saturación.....</b>	<b>24</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Características de la intersección semaforizada .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1.1. Caracterización del tramo .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1.2. Caracterización del transporte urbano .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.3. Caracterización de la intersección de estudio.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Toma de Información .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3. Volúmenes vehiculares y composición del tráfico.....</b>	<b>52</b>
<b>5.4. Problemática de la intersección .....</b>	<b>53</b>
<b>6. Análisis de capacidad de la intersección semaforizada con HCM 2010. ....</b>	<b>54</b>
<b>6.1. Parámetros de Entrada .....</b>	<b>54</b>
<b>6.2. Aplicación de la Metodología del HCM 2010 .....</b>	<b>56</b>
<b>Determinación de los grupos de movimiento y grupos de carriles .....</b>	<b>56</b>
<b>Determinación de la intensidad por grupos de movimientos .....</b>	<b>59</b>
<b>Determinación del ajuste de intensidad de saturación.....</b>	<b>59</b>
<b>Determinación de la capacidad y la proporción volumen – capacidad .....</b>	<b>61</b>
<b>Determinación de la Demora .....</b>	<b>64</b>
<b>Determinación del Nivel de Servicio .....</b>	<b>66</b>
<b>7. PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS .....</b>	<b>70</b>



<b>7.1. Introducción</b> .....	70
<b>7.2. Propuestas</b> .....	71
<b>7.2.1. Glorieta en superficie</b> .....	71
<b>7.2.2. Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie</b> .....	72
<b>7.2.3. Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria</b> .....	74
<b>8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS</b> .....	75
<b>8.1. Propuesta 1- Glorieta en Superficie</b> .....	75
<b>8.2. Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie</b> .....	76
<b>8.2.1. Aplicación de la metodología HCM 2010 en la propuesta 2</b> .....	77
<b>8.2.1.1. Estimación de costos para la propuesta 2 - Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie</b> .....	81
<b>8.3. Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria</b> 83	
<b>8.3.1. Aplicación de la metodología HCM 2010 en la propuesta 3</b> .....	83
<b>8.3.2. Estimación de costos para la propuesta 3 - Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria</b> .....	88
<b>9. Cálculo de la Amortización para las propuestas</b> .....	89
<b>10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....	91
<b>11. CONCLUSIONES</b> .....	93
<b>12. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	95
<b>13. BIBLIOGRAFIA</b> .....	96
<b>ANEXOS</b> .....	97



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intersección tipo Cruz. ....	4
Figura 2. Ortofoto que muestra la intersección objeto de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. ....	7
Figura 3. Tipos de movimientos en una intersección. ....	15
Figura 4. Grupo de carriles comunes aplicados en el análisis. ....	23
Figura 5. Resumen de fórmulas para los factores de ajuste. ....	34
Figura 6. Intersección tramo de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. ....	42
Figura 7. Parada de buses a ambos lados de la vía principal. ....	43
Figura 8. Metrobus que opera tramo de estudio. Fuente: Mibus. ....	44
Figura 9. Red Maestra de Metro de Panamá. Fuente: Metro de Panamá. ....	45
Figura 10. Accesos de la intersección en estudio. ....	46
Figura 11. Acceso 1. ....	47
Figura 12. Fotografía del acceso 1. Cruce de peatones y parada de buses. ....	47
Figura 13. En la fotografía del acceso 1, se puede observar el tráfico vehicular. ....	48
Figura 14. Acceso 2. ....	48
Figura 15. Fotografía del acceso 2. ....	49
Figura 16. Acceso 3. Vía Ricardo J. Alfaro. ....	49
Figura 17. Fotografía del acceso 3. ....	50
Figura 18. Acceso 4. Calle Juan Rivera Reyes. ....	50
Figura 19. Fotografía en el acceso 4. ....	51
Figura 20. Grupo de movimientos 1 y 2. ....	57
Figura 21. Grupo de movimientos 3 y 4. ....	57
Figura 22. Grupo de movimientos 5, 6 y 7. ....	58
Figura 23. Grupo de movimientos 8, 9 y 10. ....	58
Figura 24. Momento en que los vehículos de diferentes accesos se cruzan. ....	68
Figura 25. Acceso 3 en momentos de hora punta. ....	69
Figura 26. Tipología de vehículos observados. ....	69
Figura 27. Glorieta en superficie. Propuesta 1. ....	72
Figura 28. Propuesta 2. Glorieta en superficie y paso inferior. ....	73



Figura 29. Glorieta en superficie, paso inferior y puente. Propuesta 3. ....	74
Figura 30. Distribución de semáforos de la intersección. ....	97
Figura 31. Desglose de precios contrato de referencia, Corredor Vía Brasil Tramo I. ....	98
Figura 32. Desglose de precios contrato de referencia, Corredor Via Brasil Tramo II.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de servicio en intersecciones con semáforo. ....	19
Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril.....	26
Tabla 3. Factor de ajuste de progresión.....	38
Tabla 4. Niveles de servicio .....	40
Tabla 5. Datos de volúmenes vehiculares en hora punta.....	52
Tabla 6. Valores de la intensidad de saturación. Acceso 1.....	60
Tabla 7. Valores de intensidad de saturación. Acceso 2. ....	60
Tabla 8. Valores de intensidad de saturación. Acceso 3. ....	60
Tabla 9. Valores de intensidad de saturación. Acceso 4. ....	60
Tabla 10. Valores de Capacidad. Acceso 1. ....	62
Tabla 11. Valores de Capacidad. Acceso 2. ....	62
Tabla 12. Valores de capacidad. Acceso 3. ....	62
Tabla 13. Valores de capacidad. Acceso 4. ....	62
Tabla 14. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 1. ....	63
Tabla 15. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 2. ....	63
Tabla 16. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 2. ....	63
Tabla 17. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 4. ....	63
Tabla 18. Valores de demora para el acceso 1. ....	65
Tabla 19. Valores de demora para el acceso 2. ....	65
Tabla 20. Valores de demora para el acceso 3. ....	66
Tabla 21. Valores de demora para el acceso 4. ....	66
Tabla 22. Niveles de servicio. ....	66
Tabla 23. Niveles de Servicio de la intersección estudiada.....	67
Tabla 24. Tabla de intensidades para el tráfico futuro. Propuesta 2.....	77



Tabla 25. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.....	78
Tabla 26. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.....	78
Tabla 27. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.....	78
Tabla 28. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.....	78
Tabla 29. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 1.....	79
Tabla 30. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 2.....	79
Tabla 31. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 3.....	79
Tabla 32. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 4.....	79
Tabla 33. Valores de demora para el Acceso 1.....	80
Tabla 34. Valores de demora para el Acceso 2.....	80
Tabla 35. Valores de demora para Acceso 3.....	80
Tabla 36. Valores de demora para Acceso 4.....	80
Tabla 37. Resultado de los niveles de servicio para la propuesta 2.....	81
Tabla 38. Costos estimados para la obra de la propuesta 2.....	82
Tabla 39. Intensidad de saturación para los grupos de carriles.....	84
Tabla 40. Valores de capacidad del acceso 1 con la propuesta 3.....	84
Tabla 41. Valores de capacidad del acceso 2 de la propuesta 3.....	84
Tabla 42. Valores de capacidad del acceso3 de la propuesta 3.....	84
Tabla 43. Valores de capacidad del acceso 4 de la propuesta 3.....	85
Tabla 44. Valores de la relación volumen - capacidad.....	85
Tabla 45. Valores de la relación volumen - capacidad.....	85
Tabla 46. Valores de la relación volumen - capacidad.....	85
Tabla 47. Valores de la relación volumen capacidad.....	86
Tabla 48. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 1.....	86
Tabla 49. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 2.....	86
Tabla 50. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 3.....	86
Tabla 51. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 4.....	87
Tabla 52. Niveles de servicio de la propuesta 3.....	87
Tabla 53. Tabla comparativa de las demoras con las propuestas.....	90
Tabla 54. Costos Anuales ahorrados con las propuestas.....	90
Tabla 55. Amortización obtenida de las propuestas.....	91



---

Tabla 56. Niveles de servicios actual vs propuestas.....	91
Tabla 57. Tabla de datos del ciclo semafórico. ....	97





## 1. ANTECEDENTES

El presente estudio titulado “Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada en Vía Ricardo J. Alfaro y Calle Juan Rivera Reyes., El Dorado, Ciudad de Panamá -Panamá mediante la aplicación del Highway Capacity Manual 2010”, representa la propuesta de Trabajo de Fin del Máster de Transporte, Territorio y Urbanismo por la estudiante Yauruslaidis Iursveth Ibarra Arroyo, tutelado por el Ingeniero y Profesor Javier Soriano Ferriol, del departamento de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

Este estudio de investigación se clasifica como tipo II, el mismo se ha realizado en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de Panamá, quien suministró la información cartográfica.



## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Descripción general de área de estudio

La República de Panamá, es un país ubicado en Centroamérica, con aproximadamente 4.058.372 millones de habitantes según el Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de Panamá. Tiene una extensión de 75.517 km<sup>2</sup>. Su capital es la Ciudad de Panamá, una metrópolis dinámica que ha experimentado un crecimiento económico en la última década con un Producto Interno Bruto (PIB) que, en ocasiones, ha superado los dos dígitos. Este crecimiento se ha caracterizado por el desarrollo del sector inmobiliario y de la construcción, tanto a nivel público como privado, megaobras como la ampliación del Canal de Panamá, ampliación de puertos, construcción de líneas de metro, así como el incremento de las actividades logísticas y financieras. Tal crecimiento económico ha aumentado el tráfico en el centro de la ciudad y zonas aledañas, con un acrecentamiento del parque vehicular de más de 840 mil vehículos, de los cuales el 68% se concentra en el espacio urbano de la Provincia de Panamá.

Con lo antes expuesto, es de sumo interés la realización del siguiente estudio de funcionalidad y capacidad de una intersección ubicada en una de las zonas urbanas de mayor desarrollo en Panamá denominada El Dorado. Es una intersección en cruz, entre la Vía Ricardo J. Alfaro con una sección transversal típica de 32 metros de ancho, medidos desde el centro de la isleta central, y la calle Juan Rivera Reyes con una sección transversal típica de 20 metros de ancho, medidos desde el centro de calle.

### 2.2. Vías Urbanas

Las vías urbanas presentan frecuentemente una alta densidad de accesos para vehículos a viviendas colindantes, comercios, colegios, así como una alta densidad de cruces. En ellas el flujo de tráfico es interrumpido debido a la existencia de semáforos, cruces con prioridad fija y glorietas. Estas medidas se producen con una distancia igual o inferior a 2 millas (3.2 kilómetros).



Para el caso de la vía urbana de estudio, esta presenta una separación de 500 metros con la intersección que le antecede y la siguiente, todas ellas semaforizadas.

Continuando con el concepto de vía urbana, de acuerdo al HCM, una definición importante a tener en cuenta en este tipo de estudio es el de circulación interrumpida o discontinua, ya que presenta causas fijas que provocarán demoras o interrupciones periódicas en la corriente de tráfico, como pueden ser la existencia de semáforos o stops.

Los patrones que marcan el flujo de tráfico en una vía de circulación interrumpida son el resultado no solo de las interacciones entre vehículos y de estos con la geometría de la vía; lo serán también del tipo de regulación empleada en las intersecciones, así como la frecuencia de puntos de acceso a la vía.

### **2.3. Circulación interrumpida**

Los semáforos, por ejemplo, permiten designar movimientos que han de producirse únicamente durante cierta porción del ciclo semafórico, es decir, durante cierta porción de la hora. Esta regulación de semáforos es lo que genera problemas de circulación, ya que la vía no está disponible para la circulación continua. Además, la circulación también estará condicionada por el tipo de regulación empleada en dichos semáforos.

Los semáforos generan grupos de vehículos que viajan juntos a lo largo de la vía, pudiendo existir huecos significativos entre un grupo y el siguiente. Estas agrupaciones tienden a disgregarse según se van alejando de la intersección. Hay muchos factores que influyen en la rapidez con la que se disipa un grupo, incluyendo la velocidad de circulación y la cantidad de tráfico que se incorpora o deja la vía en el tramo comprendido entre dos intersecciones con semáforos.

### **2.4. Intensidades medidas y observadas**

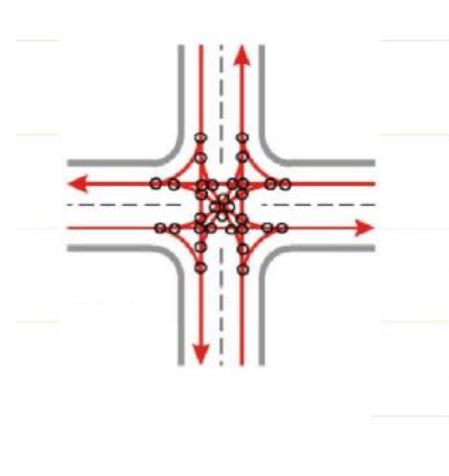
La observación directa de la capacidad es de difícil realización por varios motivos. El registro de puntas de intensidad (o incluso del valor máximo) de una vía dada no asegura que no pueda producirse un valor más elevado en otro momento. Además, la capacidad es algunas veces un estado inestable de circulación. Dependiendo de factores ambientales, de la

proporción de conductores habituales que conocen la infraestructura, etc., la capacidad que podría alcanzarse en un punto dado de una vía, podría variar de un día a otro.

Factores como la circulación de autobuses urbanos, el ancho de carril o la existencia de intersecciones próximas, pueden afectar sustancialmente la circulación y por lo tanto el resultado de las intensidades observadas.

### **2.5. Intersecciones con semáforos o semaforizadas**

Una intersección en cruz es aquella con cuatro ramales con ángulos entre cada dos contiguos no menores de 60 grados. Al referirnos a una intersección semaforizada, se le adiciona a la definición anterior, aquella cuya interacción está regulada por un sistema coordinado de luces (verde, ámbar, roja), que establecen el flujo de tráfico, tanto de vehículos, peatones y ciclistas.



*Figura 1. Intersección tipo Cruz.*

Otra definición, es que son aquellas intersecciones que cuentan con un dispositivo de control llamados semáforos, con los cuales se hace el cálculo de la distribución de los tiempos para ciertas condiciones prevalecientes dadas.

Rara vez, se encontrará que todos los accesos de una intersección funcionen en las mismas condiciones, por lo que se debe hacer referencia a las capacidades de los diferentes accesos para movimientos críticos en carriles simples o agrupados.



A diferencia de los sistemas viales de circulación continua, en las intersecciones semaforizadas la capacidad no está totalmente relacionada con determinado nivel de servicio, por lo que ambos conceptos deben analizarse separadamente.

El análisis de la capacidad implica la relación volumen/capacidad, mientras que en el nivel de servicio se estudia la demora media de los vehículos detenidos por la acción de los semáforos.

Una de las ventajas de la utilización de semáforos en intersecciones es que mejoran la seguridad de peatones en zonas con alto volumen peatonal, en zonas escolares; reducen la congestión, permiten realizar maniobras de vehículos de emergencia, se emplean como barreras para indicar aproximaciones de trenes o tranvías. Además, permiten reconocer la jerarquía viaria.

## **2.6. Problemas de congestión en intersecciones semaforizadas**

En una intersección semaforizada se pueden generar problemas con la capacidad y los niveles de servicios dependiendo de los ciclos semaforicos empleados, pero también por el diseño de la propia intersección, el comportamiento de los conductores, de los peatones, ciclistas y por las condiciones propias del tráfico en la zona.

La intersección con semáforos es uno de los ejemplos más típicos de un fenómeno de espera, puesto que por la presencia de la luz roja siempre existirá la formación de colas de vehículos.

Los elementos que caracterizan este fenómeno, bajo condiciones de tráfico no saturadas, son que para cada ciclo las llegadas son menores que la capacidad del acceso, de manera que los vehículos que se encuentran en cola no esperan más de un ciclo para ser servidos por el semáforo.

La capacidad de un acceso a la intersección con semáforos se expresa en términos de flujo de saturación.



Como referencia indicativa, la semaforización debe tenerse en cuenta cuando las intensidades de las vías confluyentes son del orden de los 300 vehículos por hora en cada uno, o 500 en la vía principal.

En el caso de la intersección semaforizada de este estudio, el funcionamiento llega en horas puntuales del día a un volumen de tráfico bastante alto, lo que conlleva a la congestión de ciertos ramales del enlace.

Al tratarse de una conexión en donde convergen vehículos provenientes de la autopista urbana llamada “Corredor Norte” de donde proviene un importante flujo vehicular de las periferias de la ciudad y, además, conecta con las áreas cercanas al centro bancario y comercial, se producen demoras en las horas de entrada y salida de la jornada laboral.

Adicional a esto, existen varias paradas de autobuses en torno a la zona de incidencia de la intersección y pasos de peatones no regulados por semáforos por lo que las personas tienden a cruzar por el paso de cebra sin control complicando la circulación de vehículos, aun cuando su ramal se encuentre en verde del semáforo.





Figura 2. Ortofoto que muestra la intersección objeto de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.



### 3. OBJETO DE ESTUDIO

El este estudio investigativo se pretende analizar la capacidad de una intersección semaforizada tipo cruz y determinar su nivel de servicio.

En primer lugar, se elabora el Estado del arte con la información necesaria para el cálculo de la capacidad, las variables y factores que influyen en el mismo, todo ello basado en el método estadounidense contenida en el Highway Capacity Manual 2010, que se emplea como guía.

Luego de analizar los datos y de realizar los cálculos respectivos, se procederá a explorar diferentes alternativas para solucionar el problema de la intersección en estudio.

Posteriormente se analizan las propuestas haciendo un comparativo de cada una de ellas y seleccionará la más apta en términos de capacidad, tiempos de viajes, costos y seguridad vial.

### 4. ESTADO DEL ARTE

#### 4.1. Introducción

De acuerdo con el Ayuntamiento de Madrid, se considera intersección semaforizada a aquella intersección vial que está regulada permanente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso.

La semaforización de intersecciones puede ser un instrumento eficaz para la reducción de la congestión, la mejora de la seguridad o para apoyar diversas estrategias de transporte (promoción del transporte público, reforzamiento de la jerarquía viaria, potenciación de peatones y ciclistas, etc).

Prácticamente, cualquier tipo de intersección es susceptible de semaforización. No obstante, un buen aprovechamiento de los sistemas modernos de semaforización puede requerir modificaciones en la localización de las intersecciones y en el diseño de sus elementos (isletas canalizadoras, etc). Son importantes este tipo de intersecciones en las vías urbanas ya





que mejoran la seguridad vial. Los accidentes urbanos ocurren en mayor medida en este tipo de cruces.

## **4.2. Dispositivos de control de tráfico**

Cada elemento que proporciona información a los conductores es parte del sistema de información de la vía. Las fuentes formales de esta información son los dispositivos de control de tráfico. Los dispositivos de control de tráfico añaden información útil a los conductores acerca de la calzada que de otro modo podría ser omitida. Estos dispositivos pueden ser barreras, conos, señales manuales y semáforos.

Como en este estudio se analiza una intersección semaforizada nos centramos en los semáforos como **dispositivos de control de tráfico**.

Primeramente, debemos preguntarnos: ¿Qué son los semáforos? Los semáforos son dispositivos eléctricos que tienen la función de regular, canalizar y ordenar el tráfico de vehículos y peatones en vías urbanas y carreteras mediante un sistema de luces (verde, ámbar y rojo), operados por una unidad de control.

De acuerdo con la operación que prestan, estos se clasifican en:

1. Semáforos para el control de tráfico de vehículos
  - No accionados por el tránsito
  - Accionados por el tránsito
  - Totalmente accionados
  - Parcialmente accionados
  
2. Semáforos para pasos peatonales
  - En zonas de alto volumen
  - En zonas escolares



### 3. Semáforos especiales

- De destello
- Para regular el uso de carriles
- Para puentes levadizos
- Para maniobras de vehículos de emergencia
- Con barreras para indicar la aproximación a trenes

Las instrucciones que indican las luces del semáforo son las siguientes:

- a) Rojo fijo: los conductores deben detenerse antes de la raya de parada. Los peatones no cruzarán la calle a menos que algún semáforo les indique el paso.
- b) Amarillo fijo: advierte a los conductores que está a punto de cambiar a luz roja. También a los peatones que no disponen de tiempo suficiente para cruzar cuando exista algún semáforo indicando el cruce. También facilita las frenadas para que no sean bruscas.
- c) Verde fijo: los conductores pueden continuar o girar a derechas o izquierda, a menos que una señal prohíba dichas vueltas. Los peatones que avancen hacia el semáforo podrán cruzar, a menos que algún otro indique lo contrario.
- d) Rojo intermitente: los conductores deberán hacer un alto obligatorio y se detendrán antes de la raya de parada.
- e) Amarillo intermitente: los conductores realizarán el cruce con precaución. Se empleará en la vía que tenga la preferencia.
- f) Verde intermitente: advierte el final del tiempo verde. Las flechas direccionales, deberán apuntar hacia el sentido de la circulación permitida.

Independientemente de la forma en que se controlen los semáforos, ya sea manual o por computadoras, quienes los operen requieren conocer algunos términos básicos. En una intersección con la que estudiamos, el flujo total de vehículos que llega a la misma de cada uno de los ramales debe ser dividido en **fases** de movimiento, en donde se genera un desplazamiento único en cada una.



Entre los términos más relevantes para el análisis del control de intersecciones reguladas por semáforos están:

**Indicación de señal:** es cuando se enciende alguna de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.

**Ciclo o longitud de ciclo:** es el tiempo requerido para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo (verde, más ámbar, más rojo).

**Duración del ciclo:** tiempo necesario por el semáforo para completar el ciclo, se mide en segundos.

**Movimientos:** conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.

**Intervalo:** cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones del semáforo, es decir, permanece constantes.

**Fase:** parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamientos simultáneos. En una fase se puede dar un solo movimiento o una combinación de movimientos de vehículos y peatones. Ella inicia con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla,

**Secuencia de fase:** es el orden preestablecido en que ocurren las fases del ciclo.

**Reparto:** porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las fases. Se mide en segundos.

**Intervalo verde:** intervalo de derecho de paso durante el cual la indicación de señal es verde.

**Tiempo de verde efectivo:** es el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase medido en segundos.



**Intervalo de cambio:** tiempo de exposición de la indicación amarilla del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente. Es el intervalo ámbar más rojo con la finalidad de que la intersección quede despejada, para dar paso a los siguientes movimientos.

**Tiempo de ámbar:** es el tiempo de cambio de verde a rojo, el cual oscila entre 3-4 segundos.

**Tiempo de rojo:** es el tiempo en el cual no se permite la circulación de vehículos, un movimiento específico o un conjunto de ellos. Representa la duración del ciclo menos el tiempo en verde efectivo para una fase específica.

**Intervalo de despeje o todo rojo:** tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara entrar a la intersección. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después de amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes de que los vehículos que lo ganan reciban el verde. Se aplica en aquellas intersecciones que sean excesivamente anchas. También para crear una fase exclusiva para peatones.

**Intervalo de cambio de fase:** intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio ámbar o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

### **4.3. Ventajas y desventajas del uso de semáforos**

#### Ventajas

- Ordenan la circulación del tráfico y, asigna el derecho para utilizar la intersección.
- Mejoran la capacidad de las calles
- Reducen la frecuencia de algunos accidentes
- De tener una sincronización óptima, pueden mejorar la velocidad comercial de autobuses.
- Permiten cruces seguros a estudiantes en zonas escolares.
- Económicamente pueden ser más rentables y prácticos que la utilización de policías de tránsito.



- Desventajas
- Con volúmenes de tráfico pequeños, provocan demoras innecesarias lo que molesta a conductores.
- Generan una percepción negativa en las personas, por lo que en algunos casos tienden a irrespetarlos.
- Aumentan el número de accidentes menores, de alcance principalmente.

El manual de capacidad 2010 (HCM), contempla dos tipos de operaciones o sistemas de coordinación para la señalización en semáforos: operación prefijada y operación accionada.

Primero definiremos la coordinación prefijada, es cuando la coordinación ejecutada tiene fases fijas, que se repiten ordenadamente a excepción del intervalo verde que es el único que cambiaría de acuerdo a las horas del día y día de la semana. Una razón para la implementación de este tipo de coordinación en semáforos es que es más económico.

La coordinación accionada por el tráfico, es aquella que responde a variaciones de la demanda del tráfico. Esta demanda es registrada por detectores conectados al semáforo que ajustan continuamente la duración del ciclo y fases para mejorar el flujo. Cuando existen varias fases, su secuencia también varía, ya que si no hay demanda, cualquiera fase puede ser omitida en el ciclo.

En el caso de la coordinación accionada, está puede ser de tres tipos:

- a) Control semiaccionado o semiactuado: se da cuando los detectores de tráfico son usados solo en algunos de los accesos de la intersección. En este control, el derecho de paso lo tiene la vía principal y es transferido a la calle secundaria o transversal de acuerdo a la demanda. Los detectores se ubican, por lo tanto, en las calles secundarias y en el momento en que detectan tráfico, de dará paso a los vehículos con un intervalo determinado.
- b) Control accionado o actuado: se emplea de la misma forma que el anterior, con detectores en todos los movimientos. Puede constar de dos fases, con un intervalo



inicial y el de vehículos, con extensiones y despejes. Al ser ambas fases actuadas, cualquiera de ellas puede ser suprimida si no hay demanda. En dicho caso, el verde se produce en la calle que lo solicitó de último. Cuando se requieren tres fases, por ciertos movimientos o por el diseño de la intersección, éstas trabajarán con el mecanismo descrito.

Hay casos excepcionales con intersecciones muy complejas que pueden tener hasta cuatro fases, cada una con las condiciones anteriores.

- c) **Control coordinado-actuado:** este se relaciona con el semiactuado, pero en la fase actuada se coordina con volúmenes menores de la intersección.

#### **4.4. Tipos de movimientos**

En las intersecciones semaforizadas se debe tener en cuenta la tipología de los movimientos de giro dentro de la secuencia de cada fase, esto como variable adicional a la asignación del tiempo en verde, ya que influyen en la capacidad de esta. Estos movimientos de giro pueden ser:

- a) **Movimiento de paso:** el vehículo mantiene la dirección que llevaba antes de llegar a la intersección. Con respecto al resto, este es el movimiento menos conflictivo.
- b) **Giro permitido:** en este movimiento de giro el vehículo que lo efectúa debe atravesar una corriente de tráfico peatonal o un flujo vehicular, que llega en sentido opuesto. Un ejemplo es un giro a la izquierda que se realice al mismo tiempo que el movimiento de tráfico en sentido opuesto que se considera permitido. También puede darse un movimiento de giro a la derecha simultáneamente con un cruce de peatones. Este tipo de movimientos requiere mayor consumo de tiempo en verde.
- c) **Giro protegido:** este giro es aquel que se presenta sin oposición alguna de vehículos o peatones. Es el caso de los giros a izquierda con una fase de semáforo exclusiva para la maniobra, una flecha verde adicional en el semáforo y/o giros a derecha con prohibición del cruce de peatones durante esa fase.

- d) **Giro sin oposición:** este movimiento se presenta en calles de un solo sentido o intersecciones en T que operan con dos fases separadas para cada intersección. Se diferencia del giro protegido, porque en este no se necesita una regulación de fase exclusiva, sino que el diseño de la intersección no genera conflictos o interferencias con el tráfico de paso.

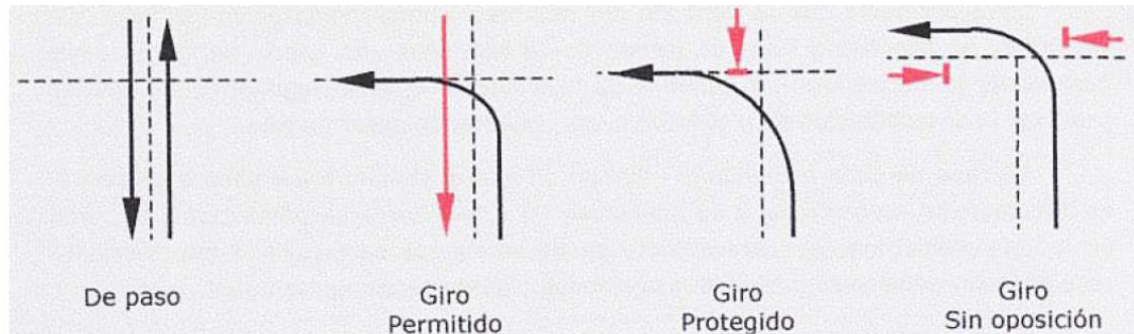


Figura 3. Tipos de movimientos en una intersección.

## 4.5. Capacidad de la intersección semaforizadas

### 4.5.1. Definición

La capacidad como concepto general es definida como la tasa máxima de flujo vehicular que puede soportar una carretera o calle. El mismo concepto aplica a las intersecciones, como la cantidad máxima de vehículos que pueden utilizar o cruzar la intersección en un tiempo determinado. Generalmente se utiliza la capacidad de 15 minutos, ya que es el intervalo más corto en el que se puede dar un flujo estable. Esta capacidad de la intersección estará condicionada por diferentes factores como la infraestructura vial, el tráfico y los controles.

### 4.5.2. Factores que condicionan la capacidad de una intersección

1. **Condiciones de la infraestructura vial:** son aquellas características físicas de la calle, entre las que se encuentran su geometría (ancho de carril, ancho de bermas, alineamiento horizontal y vertical, velocidad de proyecto, restricciones para



adelantamiento, carriles exclusivos, espacio para colas), así como las condiciones del entorno donde se encuentre la intersección.

2. **Condiciones del tráfico:** aquí figura la composición del tráfico en cuanto al tipo de vehículos (turismos, autobuses, camiones, motocicletas), al sentido dirección de la calle y la distribución de vehículos por carril o grupo de carriles y a la distribución tiempo-espacio.
3. **Condiciones de los controles:** son todos los dispositivos de control de tráfico que contenga la intersección como semáforos, señales (alto, ceda el paso, no estacionarse, etc) y las de límites de velocidad.
4. **Existencia de estacionamientos:** la presencia de vehículos estacionados en el perímetro de influencia de la intersección la afecta negativamente, ya que disminuye la capacidad de los carriles, además de perjudicar con las maniobras realizadas para estacionarse.
5. **Maniobras de giro:** como se explicó en el apartado de tipos de movimientos, existen diferentes maniobras que puede realizar un conductor en una intersección (giro a derecha, giro a izquierda, seguir la trayectoria, giro en “U”, lo que afecta la capacidad de la intersección, más aún cuando no hay una buena coordinación de dichos movimientos.
6. **Factor de Hora Punta (FHP):** para zonas urbanas, la máxima demanda u hora punta, para una intersección, en ocasiones es repetitiva y consistente durante los días de la semana. Esto varía de acuerdo con el tipo de calle o intersección, pero en cualquier caso se debe conocer las variaciones de volúmenes de tráfico y la duración de los flujos máximos.

Salvo que se tenga una distribución uniforme, el volumen de hora punta no conserva el mismo flujo durante toda la hora, es por ello que existen periodos cortos con flujos





mayores a la de la misma hora. Para la máxima demanda, existe una relación entre el volumen horario de máxima demanda y el volumen máximo que se presenta en periodo dado dentro de la hora. En otras palabras y definiendo el concepto de FHP según el HCM 2010, es “el cociente entre la intensidad de la hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos más cargados”.

$$FHP = \frac{I_{60}}{4 \cdot I_{15}} \quad [1]$$

El FHP es un indicador de las características del flujo en períodos máximos y de aplicación en intersecciones donde se afora la intensidad de hora punta (IHP) y no la máxima de los quince minutos, debido a que los criterios de nivel de servicio que adopta el Highway Capacity Manual 2010 se refiere a esta última. En zonas urbanas, este factor se halla comprendido entre 0,75 y 0,90 tomándose como valor medio 0,85.

7. **Situación de la intersección:** otro factor que condiciona la capacidad de la intersección es su ubicación dentro de la ciudad. Una intersección puede estar ubicado en el área del centro, un área intermedia, el centro periférico o residencial, cada uno con diferentes tipos de tráfico.

A continuación, describiremos cada una de las áreas mencionadas:

- **Zona centro:** es la zona caracterizada por actividades comerciales, financieras y de negocios. Predominan los peatones, los vehículos de carga y descarga de mercancías, gran cantidad de estacionamientos, generalmente en superficie y alta rotación de ellos.
- **Zona intermedia:** es aquella zona que continua a la zona centro y por lo tanto, también cuenta con actividad comercial, pero combinada con residencial de alta densidad. El número de peatones es moderado, y el tráfico que circula por esta zona, en su mayoría, no tiene ni de origen ni destino la misma.



- **Zona del centro periférico:** es un área con un sistema comercial y económico parecido al centro, pero de menor intensidad. El tráfico de esta zona es de paso y se mezcla con el de la propia zona.
- **Zona residencial:** área con uso de suelo dedicado a residencias, en donde el movimiento peatonal es bajo al igual que la renovación de estacionamientos.

### **Conclusiones**

Luego de abordar aspectos importantes para la comprensión de los términos técnicos de los que tratará el presente documento, y de las variables que se incluirán en el análisis de la capacidad de la intersección en estudio continuaremos con los elementos relacionados directamente a la geometría, el tráfico, los datos obtenidos en campo mediante aforos, los escenarios posibles para la mejora de la capacidad y la solución propuesta en base a su viabilidad.

## **4.6. Nivel de servicio**

### **4.6.1. Concepto**

Conocer la capacidad de una sección de carretera o vía urbana es necesario para poder diseñarla adecuadamente y que permita hacer frente a la demanda prevista. Sin embargo, en la práctica esto no es suficiente. Las carreteras urbanas o no, se deben proyectar de manera que funcione para intensidades inferiores a la capacidad. Por el contrario, si se proyecta muy por encima de la demanda se sobredimensionaría la vía, lo que implica un gasto innecesario.

Por lo tanto, la calidad del servicio que presta la carretera funciona con respecto a la perspectiva del usuario.

El concepto de nivel de servicio se emplea para medir la calidad del flujo vehicular. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Tales condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.



Por cada elemento o tipo de carretera se seleccionan distintos factores, ya que el Nivel de servicio en autopistas, carreteras convencionales, intersecciones o glorietas es diferente.

El Manual de Capacidad Vial del TRB (Transportation Research Board) introdujo desde 1965 el concepto de LOS (Level of Service), en español Nivel de servicio, el cual establece seis niveles que van de la A a la F, en donde A es el mejor funcionamiento desde la perspectiva del usuario y la F, la peor, estos se definen según las condiciones de operación sea de circulación continua o discontinua.

Estos niveles de servicio representan una forma más fácil de interpretar la capacidad vial, ya que traducen en letras, un complejo sistema numérico.

En el caso de las intersecciones reguladas por semáforos el factor que determina el nivel de servicio es el de tiempo de demora medio, porque con él se puede medir el grado de molestia, retraso en tiempo de viaje que pierde el conductor.

Los niveles A, B y C, representan flujos sin demoras significativas en periodos de hora punta, por lo que son positivos. Por otro lado, los niveles D y E, indican un empobrecimiento de la capacidad vial y, por último, el nivel F; indica que la demanda supera la capacidad de la intersección en esa sección.

Demora (segundos)	Nivel de Servicio
$\leq 10$	<b>A</b>
$> 10 - 20$	<b>B</b>
$> 20 - 35$	<b>C</b>
$> 35 - 55$	<b>D</b>
$> 55 - 80$	<b>E</b>
$> 80$	<b>F</b>

Tabla 1. Niveles de servicio en intersecciones con semáforo.



## **4.7. Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada.**

### **Introducción**

El procedimiento básico que establece el Manual de Capacidad de 2010, en su capítulo de intersecciones semaforizadas, para determinar la capacidad de la intersección muestra métodos para el análisis de capacidad y niveles de servicio.

El HCM aporta herramientas para ayudar a estimar el funcionamiento de los elementos individuales de un sistema de transporte para modos de múltiples viajes.

Para la aplicación de la metodología del HCM, se consideran tres niveles de análisis: Operacional, diseño y de planeamiento.

#### **➤ Análisis Operacional**

Este análisis necesita mayor precisión, respecto a las condiciones existentes o anticipadas de la infraestructura vial, el tránsito y los dispositivos de control, así como condiciones geométricas y de señalización. El análisis operacional es de utilidad cuando se requiere valorar el efecto de una medida en el tiempo (corto a mediano alcance), mejoras de bajo costo como dispositivos de control, cambio de la regulación de un semáforo, configuración de uso de carriles, espaciamiento, aumento de radio de curva en una carretera.

#### **➤ Análisis de Diseño**

Permite operar en nivel de servicio deseado a mediano y largo plazo utilizando para el análisis factores como el número básico de carriles requerido, ancho, necesidad de carriles auxiliares, pendientes longitudinales, longitud de carriles adicionales, dimensionamiento de bahías para buses, etc. Tales datos son relativamente detallados y parten de un diseño propuesto. Como



existe incertidumbre en el pronóstico de la demanda futura, la precisión de este tipo de análisis es intermedia.

➤ **Análisis de Planeamiento**

Está dirigido a estrategias a periodos de tiempo más largo o periodos consecutivos. Se planea un elemento del sistema vial, sin conocer todos los detalles necesarios respecto a la demanda, por lo que la aplicación es menos precisa y suele emplear valores por defecto.

La metodología establece que las condiciones de tráfico son constantes en el tiempo o para el periodo de análisis, por lo que se desprecia su variación. En tanto, este periodo de análisis varía entre 15 minutos a una hora, prestando atención a periodos mayores de una hora por tener condiciones poco estables.

Un enfoque de esta metodología se basa en utilizar los 15 minutos más cargados para el cálculo del Factor de Hora Punta, factor que definimos entre los que condicionan la capacidad de la intersección, como la relación entre la intensidad horaria en la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado.

En intersecciones reguladas por semáforo, la metodología contiene una serie de cálculos numéricos para elegir las posibles medidas de actuación. Los cálculos son los siguientes:

**4.7.1. Determinación de movimientos y grupos de carriles.**

Entre los parámetros de entrada, figuran las condiciones geométricas de la intersección, aquella que se refiere al número de carriles, ancho de carriles, movimientos por carril, entre otras.

Mencionaremos algunas reglas para la aplicación de la metodología en la determinación de los grupos de carriles:

- ✓ Un grupo de maniobras es aquel conjunto de movimientos realizados desde uno o más carriles exclusivos y no compartidos.



- ✓ Además, otras maniobras conformarían el conjunto de carriles no incluidos en el grupo anterior.

El concepto de grupo de carriles se emplea cuando existe un carril compartido presente en un enfoque que tiene dos o más carriles. A continuación, presentamos tres reglas para determinar el grupo de carriles:

- ✓ Uno o más carriles exclusivos de giro a izquierda se debe designar como grupo de carriles separado. Al igual que ocurre con los carriles exclusivos de giro a derechas.
- ✓ Un carril compartido debe ser categorizado como un grupo de carriles separado.
- ✓ Los carriles que no sean de giros exclusivos o compartidos deben agruparse.

Los grupos de carriles en una intersección pueden presentarse con la siguiente configuración:

- a) Carril (s) exclusivo de giro a la izquierda.
- b) Carril (s) exclusivo de giro a la derecha.
- c) Carril (s) exclusivo de movimiento al frente.
- d) Carril compartido de giro a la derecha y a la izquierda.
- e) Carril compartido directo y giro a la izquierda.
- f) Carril compartido de movimiento de frente y giro a la derecha.
- g) Carril compartido de giro a la derecha, movimiento de frente y giro a la izquierda.

La metodología también se aplica a cualquier combinación de estos grupos.

Segmentar la intersección en grupos de carril es un proceso relativamente simple que considera tanto la geometría de la intersección como la distribución de los movimientos del tráfico. En general, se debe utilizar el menor número de grupos de carriles que describa las características de la intersección. Esta distribución de grupos de carriles depende del volumen de tráfico en cada uno de los movimientos.



En la siguiente imagen se muestran los grupos de movimientos y grupos de carriles más comunes que se utilizan para el análisis.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Number of Possible Lane Groups
1	LT + TH + RT	① (Single-lane approach)
2	EXC LT TH + RT	②
2	LT + TH TH + RT	① OR ②
3	EXC LT TH TH + RT	② OR ③

Figura 4. Grupo de carriles comunes aplicados en el análisis.

#### 4.7.2. Determinación de la Intensidad por grupo de movimientos.

En este punto se debe calcular la intensidad para cada grupo de movimientos. Si el movimiento de giro es atendido por uno o más carriles exclusivos o no compartidos, entonces la intensidad de movimiento está designada a un grupo de movimientos.

La intensidad de giros a la derecha en rojo es sustraída de la intensidad de giros a la derecha, independientemente si el giro a la derecha sucede en un carril compartido o exclusivo.

En la intersección, el número de giros a derecha se debe determinar mediante la observación en campo.



### **4.7.3. Determinar la Intensidad por grupo de carriles.**

La Intensidad por grupo de carriles se emplea bajo dos principios:

- Si no existen carriles compartidos en la intersección o esta solo posee un carril, entonces hay una correspondencia igual entre los grupos de carriles y de movimientos, por lo que la intensidad es la misma.
- Si existe uno o más carriles compartidos en la actuación y el número de carriles es de dos o más, la intensidad dependerá de que los conductores elijan el carril que les represente menos demora en recorrer la intersección, donde la intensidad de saturación se utiliza para valorar las diferencias relativas en ese instante en los dos carriles.

### **4.7.4. Determinar el ajuste de la Intensidad de Saturación**

La Intensidad de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones existentes de tráfico y la propia calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo.

Los volúmenes por tipo de movimiento, la composición vehicular, las maniobras de estacionamiento, las paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas son parte de las condiciones respecto al tráfico.

En cuanto a las condiciones de la calle, involucran las características geométricas de los accesos, ancho de carril, pendientes y uso de carriles de estacionamientos.

El ajuste de la intensidad de saturación para cada carril de cada grupo de carril se calcula en base a la siguiente ecuación:





$$S = S_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{lpb} \cdot f_{Rpb} \quad [ 2 ]$$

siendo,

$S_0$  = intensidad de saturación base (1900 veh/hora/carril)

$f_w$  = factor de ajuste por ancho de carril

$f_{HV}$  = factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular

$f_g$  = factor de ajuste por inclinación o pendiente del acceso

$f_{bb}$  = factor de ajuste por defecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona

$f_a$  = factor de ajuste por tipo de área

$f_{LU}$  = factor de ajuste por utilización de carril

$f_{LT}$  = factor de ajuste por giros a la izquierda en un grupo de carriles

$f_{RT}$  = factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carriles

$f_{lpb}$  = factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones

$f_{Rpb}$  = factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas

#### a) Intensidad de Saturación base ( $S_0$ )

Es aquella que representa la media de intensidad para un tráfico con unas condiciones estimadas de uno (1), para cada valor de ajuste, es decir, 1900 vehículos por hora por carril.

#### b) Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )

El factor por ancho de carril tiene en cuenta el impacto que pueden ejercer los carriles angostos en la intensidad de saturación, y el aumento de intensidad producto de los carriles anchos. El ancho estándar es de 3.65 mts. Si el ancho de carril es superior a 4.8 mts, se analiza tomando en cuenta dos carriles estrechos. Cuando para el cálculo se utiliza dos carriles



estrechos, implica un aumento de la intensidad de saturación mayor que si fuera un solo carril, sin embargo, en ningún caso se debe calcular este factor para anchos inferior a 2.4 mts.

En los casos que los carriles son inferiores al estándar, los conductores se ven forzados a guardar entre ellos una distancia lateral que le ayude a mantener la velocidad deseada.

En la siguiente tabla se muestran los valores para los factores por ancho de carril.

Promedio de Ancho de Carril (m)	Factor de Ajuste ( $f_w$ )
< 3,0	0,96
$\geq 3,0 - 3,92$	1,00
> 3,92	1,04

Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril.

#### c) Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular ( $f_{HV}$ )

En este factor se considera el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados y las distintas paradas con respecto a los ligeros o turismos y la influencia de ellos en la intensidad de saturación.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV} (E_T - 1)} \quad [ 3 ]$$

Donde:

$P_{HV}$  = Porcentaje de vehículos pesados correspondientes a los grupos de movimientos.

$E_T$  = Equivalente en vehículos ligeros para cada vehículo pesado = 2.

#### d) Factor de ajuste por inclinación del acceso ( $f_g$ )

Este factor toma en cuenta el efecto de la inclinación en cualquier operación de todos los vehículos.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad [ 4 ]$$



Donde  $P_g$  es el efecto de la inclinación para un grupo de carriles correspondientes (%)

Este factor se mantiene en un rango de - 6,0% a +10,0%.

**e) Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento ( $f_p$ )**

En áreas urbanas, este factor es importante incluirlo como variable en el cálculo de la intensidad de saturación porque su efecto ejerce una fricción sobre el grupo de carriles en conjunto, así como en la capacidad de la vía debido a las entradas y salidas de los vehículos a los estacionamientos. Si no existe tal situación, el factor se considera igual a uno (1), si existiera, se toma en cuenta el tiempo de maniobras calculados en 18 segundos y el mismo debe evaluarse con la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18Nm}{3600}}{N} \geq 0,050 \quad [ 5 ]$$

Donde:

$Nm$  = maniobras por hora

$N$  = Número de carriles por grupo de carril.

**f) Factor de ajuste por los autobuses locales que se detienen dentro de la zona ( $f_{bb}$ )**

Toma en cuenta el efecto que produce en el área de influencia del estudio los autobuses que maniobran con la subida y bajada de pasajeros en la zona anterior o posterior a la intersección en una distancia comprendida entre 76 metros y la línea de parada. Los valores para el cálculo de este factor se muestran en la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4Nb}{3600}}{N} \geq 0,050 \quad [ 6 ]$$

Donde:

$Nb$  = Número de paradas (autobuses/hora)



$N$  = Número de carriles por grupo de carril.

Si en la intersección se presentan más de 250 autobuses/hora, se debe ajustar el número como límite práctico. El factor utilizado asume un tiempo medio de 14,4 segundos durante la fase verde.

**g) Factor de ajuste por tipo de área ( $f_a$ )**

El factor por tipo de área representa la ineficiencia o dificultad de una intersección entorno a zonas con desarrollo comercial si se compara con intersecciones ubicados entorno a otros usos de suelo, ya que genera diferentes tipos de congestión. Cuando esto sucede el factor que se toma es de 0,90.

**h) Factor de ajuste por utilización de carril ( $f_L$ )**

Se emplea cuando en un grupo de carriles, existe más de un carril exclusivo. Si el grupo posee un solo carril exclusivo o uno compartido, este valor es 1.

**i) Factor de ajuste por giros a la izquierda en un grupo de carriles ( $f_{LT}$ )**

Este factor muestra el efecto que produce la geometría en la intersección. Se calcula de la siguiente manera:

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad [7]$$

Donde:

$E_L$  = Vehículos que giran a la izquierda en modo protegido, equivale a 1,05.

En carriles compartidos o únicos este factor es igual a 0,85 y para doble carril es 0,75.



**j) Factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carriles ( $f_{RT}$ )**

Este factor muestra el efecto que produce la geometría en la intersección. Se calcula de la siguiente manera:

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad [ 8 ]$$

Donde:

$E_R$  = Vehículos que giran a la derecha en modo protegido, equivale a 1,18.

En carriles compartidos o únicos este factor es igual a 0,95 y para doble carril es 0,92.

Para una intersección en T es de 0,85 para un carril y 0,75 para dos carriles.

**k) Factor de ajuste para peatones y ciclistas ( $f_{Lpb}$  y  $f_{Rpb}$ )**

Para el cálculo de este factor se toma en cuenta la zona en conflicto por ocupación de peatones y ciclistas, haciendo un promedio para ambos casos.

Se emplean las siguientes ecuaciones:

• **Promedio de ocupación de peatones**

Lo primero es identificar el flujo peatonal durante el tiempo de servicios de los mismos

$$V_{epdg} = V_{epdg} \cdot \left( \frac{c}{G_p} \right) \leq 5000 \quad [ 9 ]$$

Donde:

$V_{epdg}$  = Flujo de peatones durante el tiempo de servicio (p/h)

$V_{ped}$  = Flujo de peatones en el cruce (caminando en ambas direcciones) (p/h)

$c$  = Ciclo (seg)

$G_p$  = Tiempo de servicio de peatones (seg)



Si el flujo de peatones durante el tiempo de servicio es menor o igual a 1000 p/h, la ocupación de peatones se calcula con la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = \left( \frac{V_{epdg}}{2000} \right) \quad [10]$$

Si el flujo es superior a 1000 peatones por hora (p/h),

$$OCC_{pedg} = 0.4 + \left( \frac{V_{epdg}}{2000} \right) \leq 0,90 \quad [11]$$

- **Promedio de ocupación de ciclistas**

Lo primero es identificar el flujo de ciclistas durante el tiempo de servicios de los mismos, lo mismo que el cálculo anterior de peatones.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$V_{bicg} = V_{bic} \cdot \left( \frac{c}{g} \right) \leq 1,900 \quad [12]$$

Donde:

$V_{bicg}$  = Flujo de ciclistas durante la fase verde (ciclistas/h)

$V_{bic}$  = Flujo de ciclistas (ciclistas/h)

$c$  = Ciclo (seg)

$g$  = Tiempo de servicio de verde (seg)

Luego de calcular el flujo de ciclistas/h, se procede con el cálculo de la ocupación de ciclistas promedio, de la siguiente manera:

$$OCC_{bicg} = 0,02 + \left( \frac{V_{bicg}}{2700} \right) \quad [13]$$



- **Zonas de conflicto ocupacional relevantes**

Para este cálculo mostraremos en primer lugar, la ecuación (14), que indica la zona de ocupación relevante utilizada para movimientos de giros a la derecha sin la interferencia de ciclistas, también para los movimientos de giro a la izquierda para una calle de un sentido (OCC<sub>r</sub>). En segundo lugar, la ecuación (15) que se utiliza para los movimientos de giro a la derecha.

En la ecuación (14), se toma en cuenta dos factores:

- El primero, el cruce de peatones se realiza durante el periodo del tiempo asociado a  $G_{ped}$ .
- El no cruzar ocurre durante el periodo de fase en verde  $G - G_{ped}$ , cuando existe este periodo de tiempo.

$$OCC_r = \left( \frac{G_{ped}}{g} \right) \cdot OCC_{pedg} \quad [14]$$

Donde  $OCC_r$  indica la zona de conflicto ocupacional relevante.

En la ecuación (15), se incluyen los movimientos de peatones y ciclistas, con las variables descritas con anterioridad.

$$OCC_r = \left( \frac{G_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \right) + OCC_{bicg} - \left( \frac{G_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \cdot OCC_{bicg} \right) \quad [15]$$

- **Cálculo para determinar el factor de ajuste**

Llegado a este punto, se procede a calcular el factor de ajuste ( $fL_{pb}$  y  $fR_{pb}$ ), para el movimiento a la derecha y para el movimiento a la izquierda, habiendo calculado ya los factores de ajuste para movimientos de giro en fase verde o permitida en peatones y ciclistas ( $A_{pbT}$ ).



El número de carriles de cruce ( $N_{turn}$ ) y de carriles receptores ( $N_{rec}$ ) se calcula a través de observaciones de campo o en situ, debido a que ciertos vehículos pueden dar giros ilegales o no permitidos desde un carril exterior, así como también se pueden dar movimientos de giro apropiados, pero que se obstaculizan por el estacionamiento que generan los vehículos en doble fila. Es por ello, que se van a considerar dos situaciones:

*“Si el número de carriles receptores es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giren van a tener la posibilidad de maniobrar evitando a los ciclistas y peatones; en este caso el factor de ajuste será la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada como se aprecia en la ecuación (16)”.*

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad [16]$$

*“Si el número de carriles receptores es superior o excede al número de carriles de giro, los vehículos que giren van a tener la posibilidad de maniobrar evitando a los ciclistas y peatones; limitando los efectos de la intensidad de saturación de peatones y ciclistas. Para esta situación se utiliza la ecuación (17)”.*

$$A_{pbT} = 1 - 0,6 \cdot OCC_r \quad [17]$$

Con los factores de ajustes ya calculados, se consideran los efectos de peatones y ciclistas en la intensidad de saturación de los vehículos que giran y que dependen de la proporción de tráfico que utilizan las fases protegidas.

Para las maniobras de giros a derecha permitidos en un carril exclusivo, la ecuación que se muestra a continuación (18), determina el factor de ajuste para ese tipo de movimiento (a derechas de peatones y ciclistas)

$$f_{Rpb} = A_{pbT} \quad [18]$$





Para las maniobras protegidas y permitidas en carril exclusivo, el factor de la ecuación anterior (18), se usa para el cálculo del ajuste de intensidad de saturación durante el periodo permitido. El valor que se utiliza es el de 1,0 para el cálculo de la intensidad de saturación durante el periodo protegido.

Para las maniobras de giro a la izquierda en las calles de un único carril, se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{Lpb} = A_{pbT} \quad [19]$$

Con esta ecuación (19) finaliza el cálculo de factores, en este caso en particular, para el ajuste por movimientos a izquierdas de peatones.



Factor	Formula	Definition of Variables	Notes
Lane width	$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$	W = lane width (m)	W ≥ 2.4 If W > 4.8, a two-lane analysis may be considered
Heavy vehicles	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% HV(E_T - 1)}$	% HV = % heavy vehicles for lane group volume	E <sub>T</sub> = 2.0 pc/HV
Grade	$f_g = 1 - \frac{\% G}{200}$	% G = % grade on a lane group approach	-6 ≤ % G ≤ +10 Negative is downhill
Parking	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N <sub>m</sub> = number of parking maneuvers/h	0 ≤ N <sub>m</sub> ≤ 180 f <sub>p</sub> ≥ 0.050 f <sub>p</sub> = 1.000 for no parking
Bus blockage	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N <sub>B</sub> = number of buses stopping/h	0 ≤ N <sub>B</sub> ≤ 250 f <sub>bb</sub> ≥ 0.050
Type of area	f <sub>a</sub> = 0.900 in CBD f <sub>a</sub> = 1.000 in all other areas		
Lane utilization	$f_{LU} = v_g / (v_{g1} N)$	v <sub>g</sub> = unadjusted demand flow rate for the lane group, veh/h v <sub>g1</sub> = unadjusted demand flow rate on the single lane in the lane group with the highest volume N = number of lanes in the lane group	
Left turns	Protected phasing: Exclusive lane: f <sub>LT</sub> = 0.95 Shared lane: $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	P <sub>LT</sub> = proportion of LTs in lane group	See Exhibit C16-1, Appendix C, for nonprotected phasing alternatives
Right turns	Exclusive lane: f <sub>RT</sub> = 0.85 Shared lane: f <sub>RT</sub> = 1.0 - (0.15)P <sub>RT</sub> Single lane: f <sub>RT</sub> = 1.0 - (0.135)P <sub>RT</sub>	P <sub>RT</sub> = proportion of RTs in lane group	f <sub>RT</sub> ≥ 0.050
Pedestrian-bicycle blockage	LT adjustment: $f_{Lpb} = \frac{1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})}{(1 - P_{LTA})}$ RT adjustment: $f_{Rpb} = \frac{1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})}{(1 - P_{RTA})}$	P <sub>LT</sub> = proportion of LTs in lane group A <sub>pbT</sub> = permitted phase adjustment P <sub>LTA</sub> = proportion of LT protected green over total LT green P <sub>RT</sub> = proportion of RTs in lane group P <sub>RTA</sub> = proportion of RT protected green over total RT green	Refer to Appendix D for step-by-step procedure

Figura 5. Resumen de fórmulas para los factores de ajuste.



- **Determinación de la duración de la fase del semáforo**

En la determinación de la duración de la fase del semáforo es imprescindible conocer que tipo de control está siendo utilizado por el semáforo en la intersección de estudio. Pueden darse varios casos: que el semáforo tenga un control prefijado y la duración de la fase sea una entrada y con ello se omite este paso en el cálculo. También puede darse que el control de la fase no se conozca y se deba calcular la duración de la fase prefijada en la base a la ecuación 20.

Si la intersección tiene un control actuado, se debe proceder con el mismo procedimiento para calcular la duración promedio de una fase actuada. Dicha fase puede ser actuada, coordinada y no coordinada.

El control totalmente accionado trabaja en base a la demanda registrada a través de los detectores. Si emplea dos fases, ambas constan del intervalo inicial y el de vehículos, así como de extensiones y despejes. Como ambas fases son accionadas, cualquiera puede ser suprimida en ausencia de la demanda. El tiempo en verde se accionará con la calle que lo solicitó de último.

Lo anterior es importante conocerlo para determinar los conceptos que definen la duración de la fase.

La duración de la fase actuada tiene cinco periodos de tiempo que procedemos a mencionar:

- a. El tiempo perdido mientras los vehículos en cola reaccionan a la fase verde.
- b. El tiempo de despeje requerido para la cola de vehículos.
- c. El tiempo de verde que se extiende de forma aleatoria a la llegada de los vehículos.
- d. El tiempo empleado para cambio a ámbar
- e. Por último, el tiempo de holgura de rojo.



En la ecuación siguiente (20), se representa la duración de una fase actuada:

$$D_p = 1_1 + g_s + g_e + Y + R_c$$

En donde,

$D_p$  = Duración de la fase en segundos (seg.)

$1_1$  = Tiempo perdido de puesta en marcha del vehículo (20 seg)

$g_s$  = tiempo de servicio de cola (seg)

$g_e$  = tiempo de prolongación de verde (seg)

$Y$  = Intervalo de cambio a ámbar

$R_c$  = Intervalo de holgura en rojo (seg)

- **Determinación de la capacidad y la proporción volumen - capacidad**

La capacidad de una intersección está condicionada a la intensidad de saturación, el tiempo de verde efectivo del grupo de carriles y al número de carriles en cada grupo. Esos grupos generan un movimiento o flujo de tráfico que determinan la capacidad y se describe con la siguiente ecuación:

$$c = \frac{N \cdot s \cdot g}{C} \quad [21]$$

En donde,

$c$  = capacidad de grupo de carriles (veh/h)

$N$  = número de carriles



$s$  = intensidad de saturación (veh/h)

$g/C$  = proporción de verde efectivo para el grupo de carriles

La proporción volumen - capacidad (v/h) para un grupo de carriles está definida como la proporción del volumen del grupo de carriles y su capacidad. Con ello, se tiene que:

$$X = \frac{v}{c} \quad [22]$$

Donde,

$X$  = Proporción volumen – capacidad

$v$  = flujo de demanda (veh/h)

$c$  = Capacidad (veh/h)

- **Determinación de la demora**

La demora es una medida compleja y depende de distintos valores entre los que se encuentran:

- La duración del ciclo
- La relación de verde
- La relación intensidad – capacidad para el grupo de carriles estudiado
- La calidad de la progresión

Para el cálculo de la demora se debe tomar en cuenta:

- La demora de control ( $d = s/\text{veh}$ )
- La demora uniforme ( $d_1 = s/\text{veh}$ )
- La demora incremental ( $d_2 = s/\text{veh}$ )
- La demora por la cola inicial ( $d_3 = s/\text{veh}$ )
- $PF$  = este representa el factor de ajuste de la progresión que considera éste efecto en la señal sobre la demora.



La ecuación utilizada es:

$$d = d_1 \cdot (PF) + d_2 + d_3 \quad [23]$$

La demora uniforme ( $d_1$ ) se determina asumiendo que las llegadas de vehículos son uniformemente distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. Si la intersección se encuentra en capacidad, la demora media será igual a la mitad del tiempo de rojo.

Si las llegadas se dieran solamente en el tiempo de verde, la demora sería nula. Este es el efecto que trata de tomar el factor de progresión, cuya influencia resulta mayor al de todos los otros juntos para la demora uniforme.

Si la progresión es buena, un gran grupo de vehículos llega a la intersección en verde y la demora uniforme tendrá poco efecto sobre la demora total, sin embargo, una progresión deficiente provoca que un gran porcentaje de vehículos lleguen en rojo, por lo tanto, la demora uniforme es importante.

El factor de ajuste PF se debe seleccionar en base a la siguiente tabla:

El factor de ajuste PF como una función del tiempo de verde						
Tipo de llegada	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
No coordinado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Coordinado * (PF= (1-[1,33 . g/C])/ 1 - (g/C))	0,92	0,86	0,78	0,67	0,50	0,22

Tabla 3. Factor de ajuste de progresión

Los valores por defecto sugeridos en el HCM 2010 para determinar el tipo de llegada y posteriormente calcular el factor de progresión están sostenidos en el espaciamiento entre los semáforos y en conceptos generales que pueden no ser correctamente interpretados para determinados casos particulares.



$$d_1 = \frac{0,5 \cdot c \cdot \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - \left[\min\left(1, X\right) \cdot \frac{g}{c}\right]} \quad [24]$$

Donde,

$d_1$  = demora uniforme (s/veh)

$C$  = duración del ciclo (seg) (duración del ciclo en señales preestablecidas, o promedio de duración de ciclo en controles autoajustables).

$g$  = Tiempo efectivo de verde para el grupo de carriles (seg)

$X$  = relación  $v/c$  del grupo de carriles

La demanda incremental ( $d_2$ ), se calcula por las llegadas no uniformes y los fallos temporales de ciclo, así como las causadas por periodos de sobresaturación. Esto depende de la relación  $v/c$  del grupo de carriles ( $X$ ), de la duración del periodo de análisis ( $T$ ) y la capacidad del grupo de vías ( $c$ ).

Con la siguiente ecuación se asume que no hay demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del periodo de análisis ( $T$ ).

$$d_2 = 900 \cdot T \left[ (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad [25]$$

Donde,

$d_2$  = demora incremental (s/veh)

$T$  = duración del ciclo (h)

$X$  = relación  $v/c$  del grupo de carriles

$c$  = capacidad (veh/h)

Por último, la demora por cola inicial ( $d_3$ ) representa la demora experimentada por todos los vehículos que llegan durante el periodo de análisis, incluyendo la demora que es experimentada en los periodos de tiempo subsecuentes. Por lo tanto esta demora, debe tomarse en cuenta en caso de que exista cola inicial. En caso contrario,



la demora por cola inicial es cero (0). La expresión que se utilizará para su cálculo es la que se describe en la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{1800 \cdot Q_b \cdot (1+u) \cdot t}{c \cdot T} \quad [26]$$

Donde,

$d_3$  = demora por cola inicial (s/veh)

$Q_b$  = cola inicial al comienzo del periodo T (veh)

$c$  = capacidad del grupo de carriles ajustada (veh/h)

$T$  = duración del periodo de análisis

$t$  = duración de la demanda insatisfecha en T (h)

$u$  = parámetro de demora.

Esta demora debe incluirse en caso de existencia de cola inicial. En este caso no existe cola inicial por lo que la demora por cola inicial es igual a cero (0).

- **Determinación del nivel de servicio**

Para determinar el nivel de servicio de cada grupo de carriles, se utiliza la tabla 1 evaluando cada planteamiento e intersección como conjunto. El nivel de servicio es una indicación de los niveles de demora admisibles de los vehículos en la intersección. También puede indicar una operatividad inaceptable por un grupo de carriles individual.

Demora (segundos)	Nivel de Servicio
$\leq 10$	<b>A</b>
$> 10 - 20$	<b>B</b>
$> 20 - 35$	<b>C</b>
$> 35 - 55$	<b>D</b>
$> 55 - 80$	<b>E</b>
$> 80$	<b>F</b>

Tabla 4. Niveles de servicio





## **5. CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA**

### **5.1. Características de la intersección semaforizada**

#### **5.1.1. Caracterización del tramo**

El tramo en estudio está localizado en la Ciudad de Panamá, República de Panamá. Se encuentra en una zona comercial y de paso hacia el centro de la Ciudad, donde se concentra la actividad económica y, por lo tanto, el lugar de destino de miles de trabajadores.

La intersección del tramo es tipo cruz regulada por semáforos, no cuenta con carriles exclusivos de giro a derecha, por lo que este movimiento también está regulado dentro de una fase. Además, se realizan giros a izquierdas y directos. El flujo vehicular en este punto es elevado para vehículos, bajo para peatones. Cuenta con una parada de buses cercana donde convergen muchas líneas, lo que complica más el funcionamiento de la intersección, ya que se hacen colas de autobuses que intentan entrar a la parada.

La intersección entre la Avenida Ricardo J. Alfaro y la Calle Juan Rivera Reyes es un sitio importante en los desplazamientos cotidianos entre los habitantes que se trasladan al Centro Comercial El Dorado, colegios, las zonas residenciales, a las naves industriales de la zona y hacia el centro y viceversa.

### 5.1.2. Caracterización del transporte urbano

Para el conocimiento del transporte urbano de una ciudad, un tramo y en este caso, de una intersección, se debe contar con la información sobre los movimientos que se producen en los centros atractores y receptores en el área de influencia de la intersección.

En el caso de la intersección, como ya lo mencionamos está próxima al centro comercial, por lo que se generan desplazamientos en autobuses y taxis hacia él. También, se encuentra la Universidad Tecnológica de Panamá a poco menos de 1km, lo que añade tráfico vehicular en hora punta aumenta.



Figura 6. Intersección tramo de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

En cuanto al transporte público, en la Ciudad de Panamá, funciona el sistema de Metrobus, operado por la **Empresa Pública Mibus**. Según datos publicados por dicha empresa, actualmente cuentan con 1236 buses con chasis y tecnología Volvo, que transportan a los usuarios diariamente en 250 rutas.

Las rutas (circuitos) que operan en la intersección de estudio son:

- **M181** (Tumba Muerto – Los Andes)
- **M500** (Tumba Muerto – Mañanitas)
- **M540** (Tumba Muerto – Roosevelt – Pedregal)
- **C918** (Marañón – Tumba Muerto – Avenida La Paz -Transístmica)
- **M100** (Tumba Muerto – Santa Librada)
- **M440** (Tumba Muerto – Roosevelt – La Doña)
- **M062** (Tumba Muerto – Ciudad Bolívar)
- **M201** (Directo – Tumba Muerto – Veranillo)
- **M181** (Directo – Tumba Muerto – Estación Los Andes)
- **M120** (Tumba Muerto – Mano de Piedra)
- **M140** (Tumba Muerto – Torrijos Carter)

Suman en total de 11 rutas que entran y salen a una **única parada, lo que complican la capacidad de la intersección.**

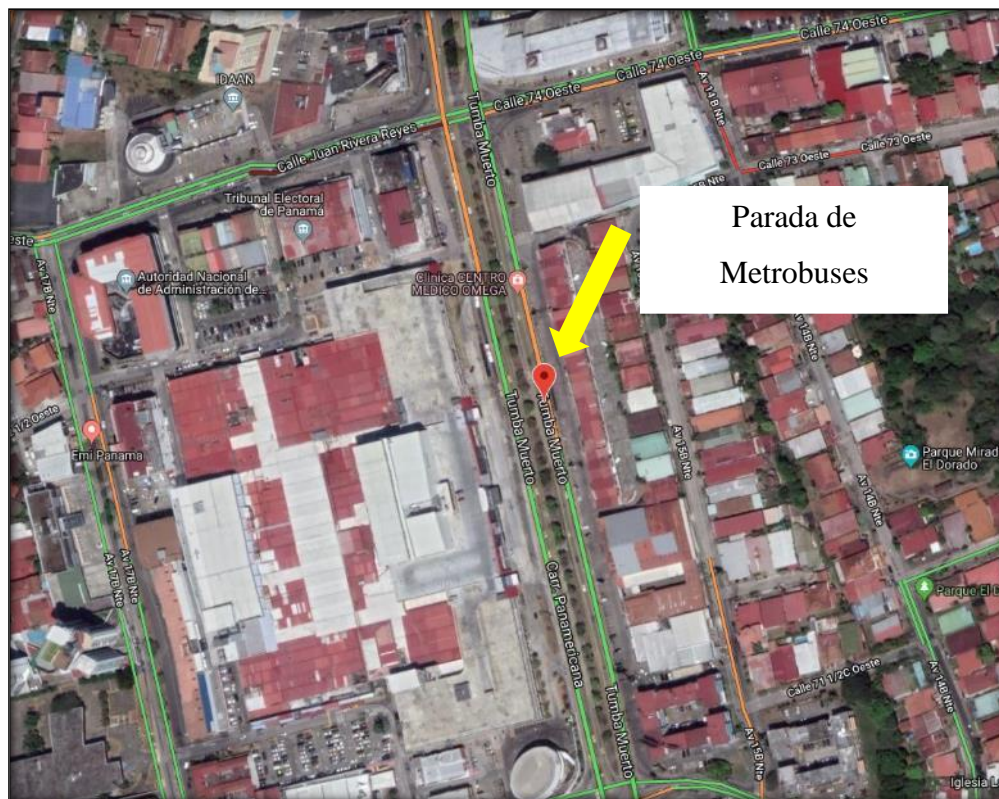


Figura 7. Parada de buses a ambos lados de la vía principal.



Los autobuses tienen una capacidad de 47 viajeros sentados y 30 de pie. Se distribuyen entre rutas troncales, circulares, transversales, rutas rápidas en las autopistas urbanas llamados Corredor Norte y Corredor Sur, ambos de peaje. La empresa cuenta con 7 Patios de mantenimiento con poco más de 300 colaboradores, y un centro de Operación y Ejecución.



Figura 8. Metrobus que opera tramo de estudio. Fuente: Mibus.

Además del sistema de Metrobus, en la Ciudad de Panamá actualmente está operando la Línea 1 del Metro de Panamá con un recorrido de Norte a Sur. La línea 2 de metro está parcialmente operativa, la cual conecta el Este de la ciudad con la línea 1 en la estación de San Miguelito. Ninguna de las dos líneas atraviesa o influye en la zona de estudio. En etapas futuras, se pretende continuar desde San Miguelito hasta la zona centro, la cual, sí atravesaría el tramo de estudio, y probablemente se construya una Estación en el área de El Dorado.



Figura 9. Red Maestra de Metro de Panamá. Fuente: Metro de Panamá.

### 5.1.3. Caracterización de la intersección de estudio

Para analizar la intersección en estudio se dividirá en accesos. En cada uno de ellos se designarán grupos de carriles y de movimientos, los cuales se analizarán por separado.

En la figura 10, se observa que los accesos presentan tipos de movimientos: giro a la derecha, giro a la izquierda y movimiento directo o de paso.

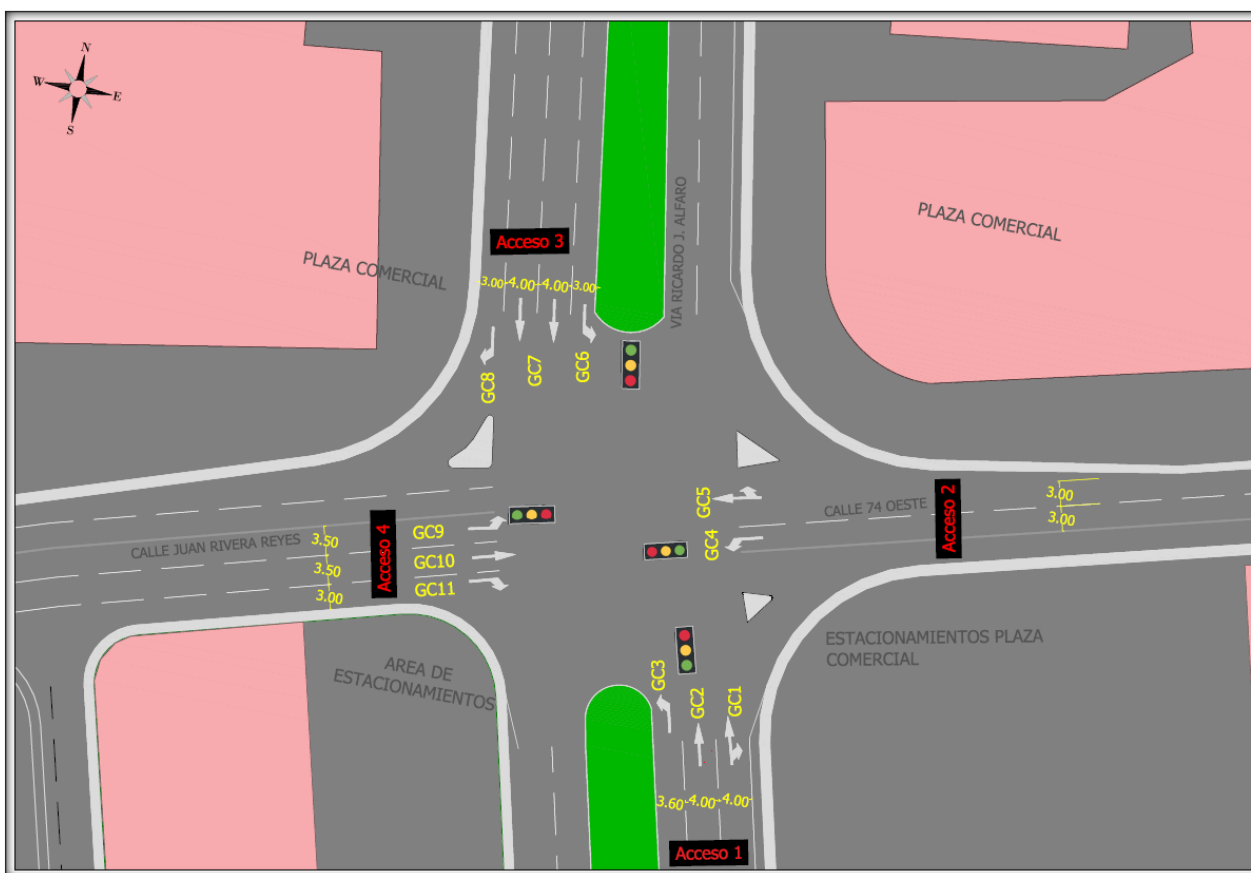


Figura 10. Accesos de la intersección en estudio.

### 5.1.3.1. Descripción física de la intersección

#### Accesos de la intersección

- **Acceso 1**

El acceso 1 se encuentra localizado en la vía principal, Ricardo J. Alfaro, cuenta con 3 carriles. El carril de giro a izquierda (sentido norte – oeste) tiene un ancho de 3.60m, el carril de paso (sentido norte – este) al igual que el mixto de paso y giro a derecha (sentido norte – este) tiene un ancho de 4.00 m.

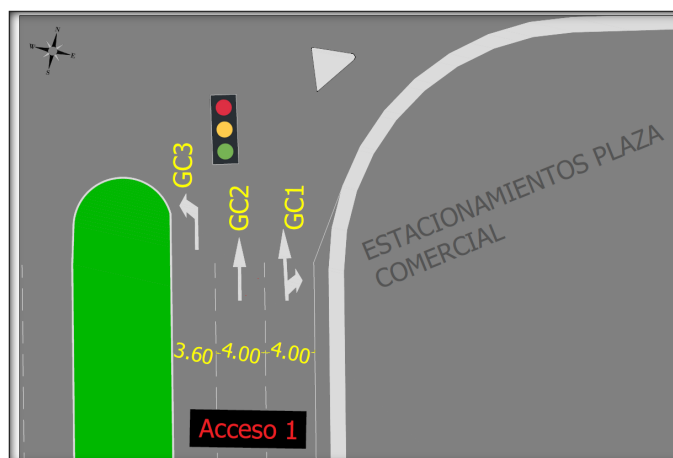


Figura 11. Acceso 1.



Figura 12. Fotografía del acceso 1. Cruce de peatones y parada de buses.



Figura 13. En la fotografía del acceso 1, se puede observar el tráfico vehicular.

- **Acceso 2**

El acceso 2 se encuentra localizado en la calle secundaria, 74 Oeste, cuenta con 2 carriles ambos de 3.0 m de ancho. El carril de giro a izquierda (sentido sur - este), y el mixto de paso y giro a derecha (sentido este - oeste) y (este – norte).



Figura 14. Acceso 2.





Figura 15. Fotografía del acceso 2.

- **Acceso 3**

El acceso 3 se encuentra localizado en la vía principal, Ricardo J. Alfaro, cuenta con 4 carriles, dos de ellos con 4.0 m de ancho de carril y los otros dos con 3.0 m de ancho. Cuenta con los siguientes movimientos: Giro a derecha en sentido sur – oeste, movimiento directo o de paso con sentido norte – sur y el giro a izquierda con sentido sur – este.

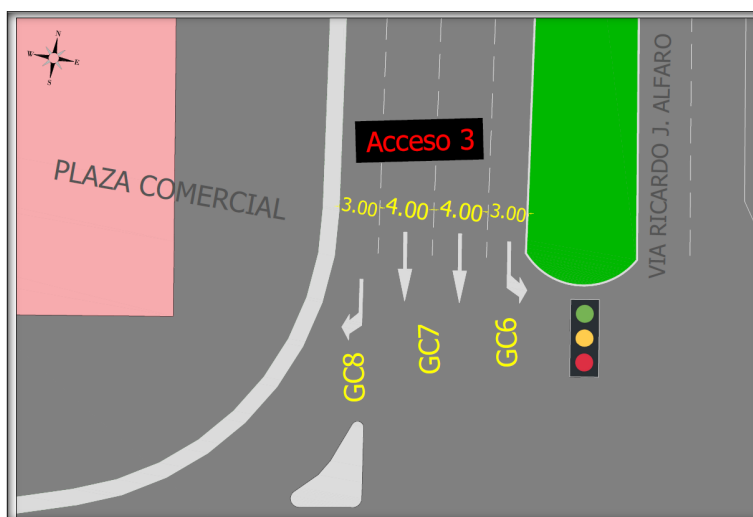


Figura 16. Acceso 3. Vía Ricardo J. Alfaro.



Figura 17. Fotografía del acceso 3.

- **Acceso 4**

El acceso 4 se encuentra localizado en la Calle Juan Rivera Reyes, cuenta con 3 carriles, 2 de 3.50m de ancho y uno de 3.0m. Cuenta con los siguientes movimientos: Giro a derecha en sentido sur – este, movimiento directo o de paso con sentido norte – este y el giro a izquierda con sentido sur – este.



Figura 18. Acceso 4. Calle Juan Rivera Reyes.



*Figura 19. Fotografía en el acceso 4.*

## 5.2. Toma de Información

En estudios de tráfico, el acceso a la información del comportamiento de los vehículos en la intersección o punto estudiado, es de gran valor para evaluar y analizar las condiciones que favorecen y perjudican el tráfico en dicho punto. Los resultados del análisis son la base para la propuesta de medidas que mejoren la circulación de vehículos y para la puesta en marcha de una solución a largo plazo que cumpla, esencialmente; aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Respecto a los datos de este estudio, se realizaron aforos manuales en la intersección, ya que Panamá no se contaba con datos de aforo de la intersección. Estos aforos se realizaron en la hora punta, entre las 6:00am y las 7:00 am para la entrada a la ciudad. Para la salida de la ciudad se realizaron aforos entre las 5:00 pm y 6:00pm. Se registraron la cantidad de vehículos, clasificándolos en ligeros y pesados. Además de tomar datos de peatones y maniobras de aparcamientos. No se tomaron datos de ciclistas, dado que en Panamá no es usual el uso de las bicicletas.



### 5.3. Volúmenes vehiculares y composición del tráfico

Los datos obtenidos de los volúmenes vehiculares sirven de base para el análisis de la capacidad y el nivel de servicio de la intersección semaforizada.

Con los aforos se obtienen los datos de tipo de vehículo, uso de carriles y los tipos de movimientos.

Los aforos fueron realizados durante días de la semana: martes, miércoles y jueves. El comportamiento en los otros días es variable por lo que se descartan en el análisis.

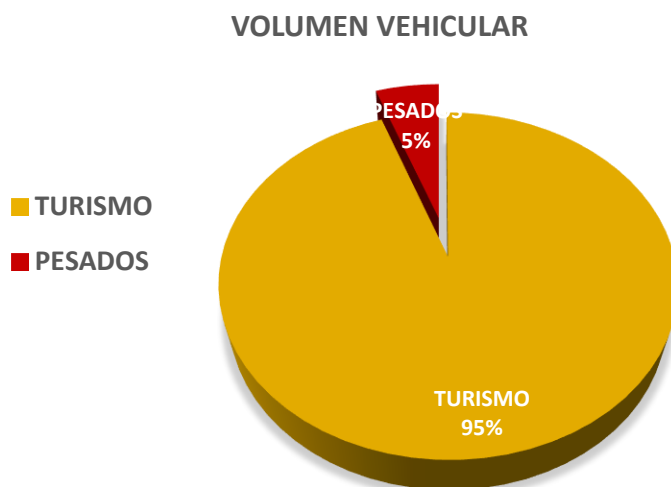
En el caso de la intersección en estudio, se tomaron los datos para las horas punta identificadas mediante observación del tráfico regular.

En la siguiente tabla se muestran los volúmenes vehiculares obtenidos:

FECHA DE AFORO	DIA 1	DIA 2	PROMEDIO VOLUMEN VEHICULAR
	28 de agosto	29 de agosto	
6:00 a. m. - 7: 00:00 am	4388	4508	4448
5:00 p. m. - 6: 00:00 pm	3816	4148	3982

*Tabla 5. Datos de volúmenes vehiculares en hora punta.*

Como se observa en la tabla la intersección presenta un gran volumen vehicular en las horas punta del día. Estas horas fueron identificadas mediante la observación de la intersección.



*Gráfico 1. Composición vehicular de la intersección.*

En el gráfico se puede observar claramente que el porcentaje de vehículos tipo turismo (livianos) es claramente superior al de pesados, por tratarse de un área urbana.

#### **5.4. Problemática de la intersección**

La emigración de personas hacia la ciudad capital de Panamá, provenientes de zonas rurales de otras provincias del país, así como de países vecinos, ha generado una extensión del área urbana y aumento significativo de la población, no vista en décadas anteriores. Sumado a esto, las zonas residenciales y áreas de trabajo se alejan del centro urbano y se dispersan en el territorio. Esta tendencia actual y futura, produce un mayor número de viajes y la longitud de los desplazamientos se incrementa. Las vías utilizadas para comunicar las zonas residenciales con las de trabajo, escolares y ocio, presentan las mismas condiciones geométricas desde hace más de 15 años, con un deterioro notorio del pavimento que las componen, lo que reduce su capacidad.

Los problemas que se pueden observar claramente en la intersección se presentan en las horas pico, entre las 6:00 -7:00 de la mañana, ya que inicia la jornada laboral y escolar, así como en horas de la tarde entre las 5:00 - 6:00 de la tarde, que las personas retornan a sus hogares.



Entre los diferentes aspectos que influyen en la problemática del funcionamiento de la intersección está el tranque o atasco generado en horas punta, por la gran cantidad de vehículos, en su mayoría turismos o privados, que entran en ella al ser un paso obligado por su conectividad con el centro urbano.

En el área de influencia de la intersección, los comercios cuentan con accesos directos a los grupos de carriles, sin carril de incorporación afectando el funcionamiento de la misma.

Adicional a los puntos anteriormente mencionados, en la Figura 10. Accesos de la intersección en estudio., se puede apreciar que la intersección presenta diferentes anchos y número de carriles por acceso, siendo el acceso 2, el más perjudicado por absorber gran número de vehículos en un único carril de salida, por lo que su capacidad es claramente inferior a la requerida y genera acumulación de los vehículos.

## **6. Análisis de capacidad de la intersección semaforizada con HCM 2010.**

En este punto del estudio haremos uso de la metodología del HCM, descrita en el apartado anterior para calcular la capacidad y el nivel de servicio de la intersección semaforizada, utilizando la metodología definida previamente, para mejorar la capacidad de la zona de estudio.

### **6.1. Parámetros de Entrada**

En la metodología mencionada (HCM 2010), se requieren unos datos que representan los parámetros de entrada, es decir, la información de partida para el cálculo. Estos datos están condicionados a la geometría de la intersección, el tráfico y la señalización.

#### **a) Parámetros condicionados por la geometría:**

- Número de carriles (N)
- Ancho de carril (W)

#### **b) Parámetros condicionados por el tráfico:**

- Volumen (veh/h)
- FHP (Factor de hora punta)





- Paradas de autobuses (buses/h)
  - Número de aparcamientos (Maniobras/h)
- c) Parámetros condicionados por la señalización:**
- Volumen de peatones ( $V_{ped}/h$ )
  - Volumen de ciclistas ( $V_{bic}/h$ )
  - Tiempo de ciclo (s)
  - Tiempo efectivo de verde (s)
  - Tiempo mínimo de peatones (s)

Estos parámetros se obtienen de las horas de mayor flujo de vehículos u horas punta, descrita en capítulos anteriores, a través de aforos. Para este estudio fue entre las 6:00 – 7:00 am.

En este apartado se muestran los parámetros que se requieren para el *análisis operacional* de la intersección estudiada.

### **Condiciones Geométricas**

En las condiciones geométricas tomaremos en cuenta, los grupos de carriles para describir cada uno de los anchos de carril.

- Grupo 1: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 4,0 m.
- Grupo 2: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 4,0 m.
- Grupo 3: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3,6 m.
- Grupo 4: Ubicado en la Calle 74 Oeste con un ancho de 3.0 m.
- Grupo 5: Ubicado en la Calle 74 Oeste con un ancho de 3.0 m.
- Grupo 6: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3,0 m.
- Grupo 7: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con dos carriles con un ancho de 4,0 m cada uno.
- Grupo 8: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3,0 m.
- Grupo 9: Ubicado en la Calle Juan Rivera Reyes con un ancho de 3,5 m.
- Grupo 10: Ubicado en la Calle Juan Rivera Reyes con un ancho de 3,5 m.
- Grupo 11: Ubicado en la Calle Juan Rivera Reyes con un ancho de 3,5 m.



### **Condiciones del tráfico**

Para los volúmenes de tráfico se ha seleccionado el volumen de la hora pico o punta.

- Grupo 1: 148 (veh/h), El 1.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 2: 922 (veh/h), El 2.8 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 3: 124 (veh/h), El 1.9 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 4: 148 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 5: 338 (veh/h), El 0.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 6: 172 (veh/h), El 0.3 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 7: 1138 (veh/h), El 1.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 8: 864 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 9: 370 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 10: 188 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 11: 36 (veh/h), El 2.8 % corresponde a vehículos pesados.

### **Condiciones de la señalización**

Por tratarse de una intersección ubicada en una zona de donde existe tráfico peatonal, tomaremos en cuenta para la aplicación de la metodología, los volúmenes peatonales, más no los volúmenes ciclistas, ya que no transitan ciclistas en la intersección.

El tiempo efectivo de verde será tomando en cuenta en base a la Tabla 57. Tabla de datos del ciclo semafórico., como se aprecia en el anexo 1.

## **6.2. Aplicación de la Metodología del HCM 2010**

### **Determinación de los grupos de movimiento y grupos de carriles**

Para determinar estos dos puntos, usaremos lo expuesto en apartados anteriores, ya que en cada intersección se generan una serie de grupos de movimientos y grupos de carriles, los que han sido establecidos basados en las maniobras de giro que realizan los conductores sobre los carriles.



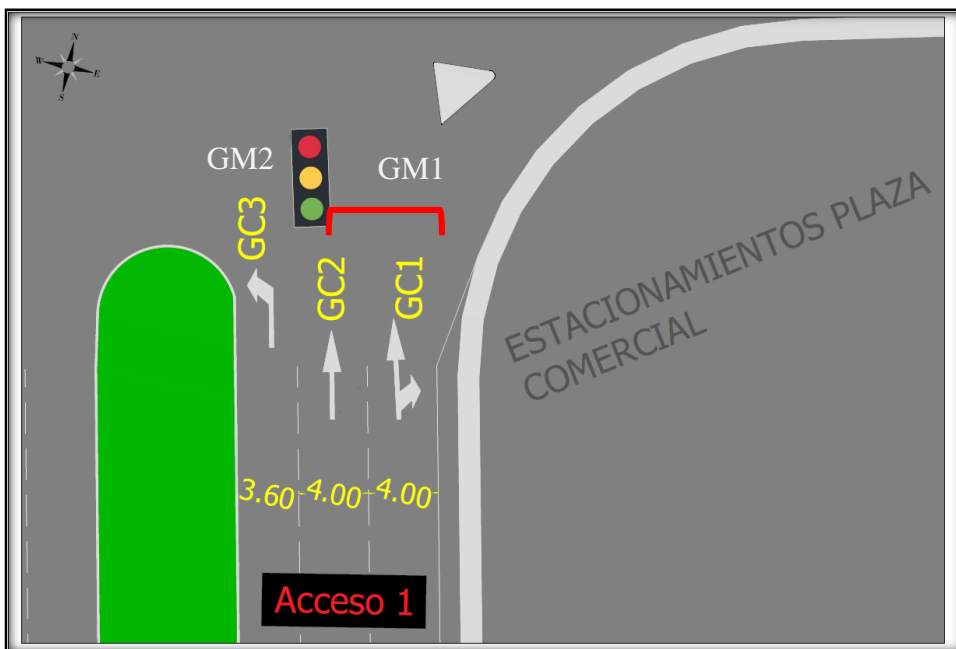


Figura 20. Grupo de movimientos 1 y 2.

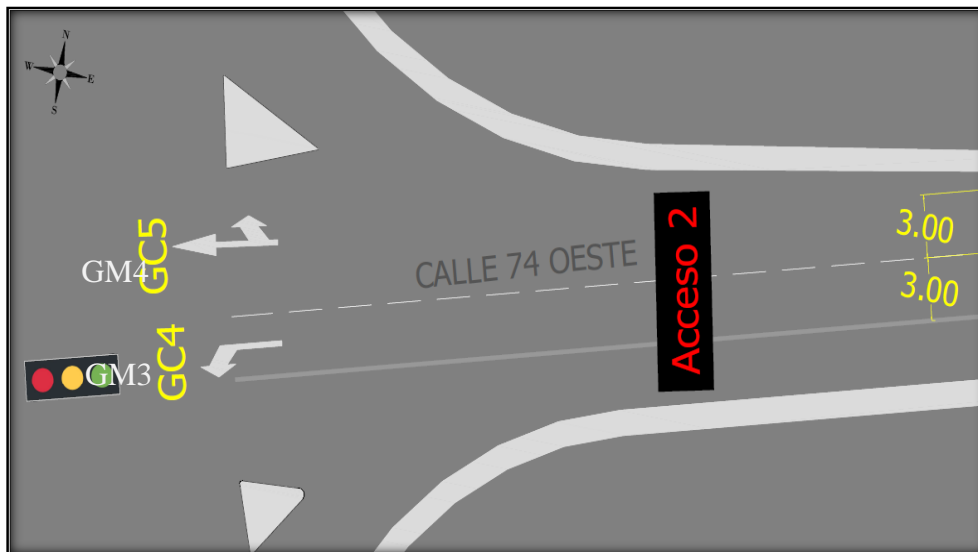


Figura 21. Grupo de movimientos 3 y 4.

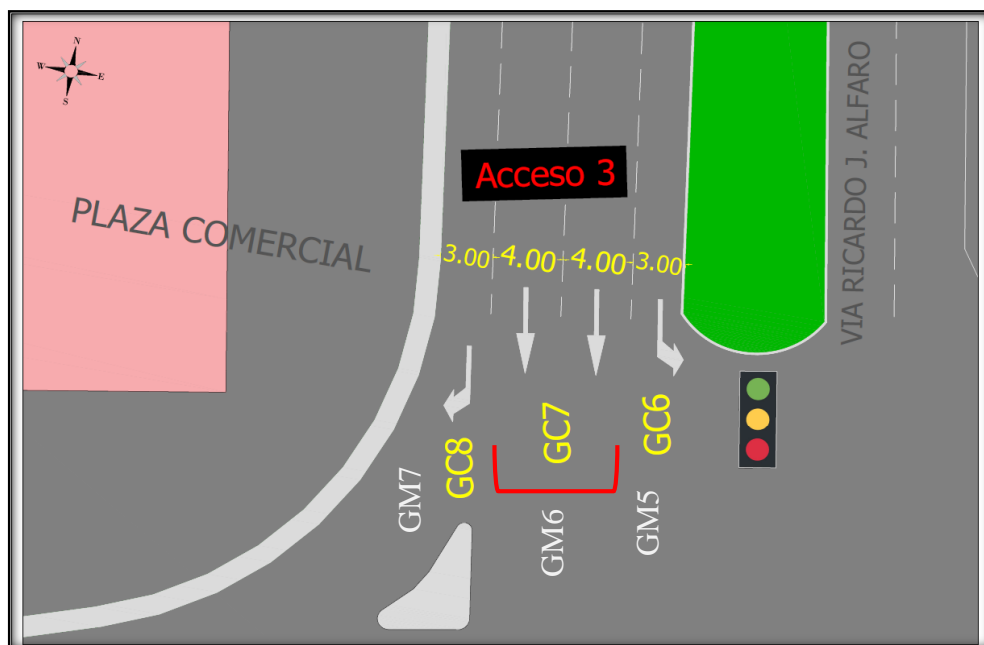


Figura 22. Grupo de movimientos 5, 6 y 7.



Figura 23. Grupo de movimientos 8, 9 y 10.



## Determinación de la intensidad por grupos de movimientos

Una vez identificados claramente los grupos de movimientos, se procede con el cálculo de la intensidad por hora, en la hora punta.

- Grupo 1: 1070 (veh/h), El 4.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 2: 124 (veh/h), El 1.9 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 3: 148 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 4: 338 (veh/h), El 0.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 5: 172 (veh/h), El 0.3 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 6: 1138 (veh/h), El 1.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 7: 864 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 8: 370 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 9: 188 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 10: 36 (veh/h), El 2.8 % corresponde a vehículos pesados.

## Determinación de la intensidad por grupos de carriles

- Grupo 1: 148 (veh/h), El 1.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 2: 922 (veh/h), El 2.8 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 3: 124 (veh/h), El 1.9 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 4: 148 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 5: 338 (veh/h), El 0.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 6: 172 (veh/h), El 0.3 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 7: 1138 (veh/h), El 1.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 8: 864 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 9: 370 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 10: 188 (veh/h), El 0.5 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 11: 36 (veh/h), El 2.8 % corresponde a vehículos pesados.

## Determinación del ajuste de intensidad de saturación

En el cálculo de la intensidad de saturación (S) aplicamos la ecuación del HCM 2010:



$$S = S_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Aplicamos un valor de 1900 (veh/h/carril) para la intensidad de saturación base, el valor del porcentaje de pesados en el cálculo del ajuste de vehículos pesados ( $f_{HV}$ ) y las condiciones geométricas y de tráfico descritas anteriormente en este apartado.

Luego de realizar los cálculos de los factores que integran la ecuación, se tiene las siguientes intensidades:

<b>ACCESO 1</b>		
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>
GC1	<b>1685</b>	veh/h
GC2	<b>1660</b>	veh/h
GC3	<b>1539</b>	veh/h

Tabla 6. Valores de la intensidad de saturación. Acceso 1.

<b>ACCESO 2</b>		
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>
GC4	<b>1573</b>	veh/h
GC5	<b>1657</b>	veh/h

Tabla 7. Valores de intensidad de saturación. Acceso 2.

<b>ACCESO 3</b>		
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>
GC6	<b>1557</b>	veh/h
GC7	<b>1675</b>	veh/h
GC8	<b>1631</b>	veh/h

Tabla 8. Valores de intensidad de saturación. Acceso 3.

<b>ACCESO 4</b>		
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>
GC9	<b>1581</b>	veh/h
GC10	<b>1663</b>	veh/h
GC11	<b>1613</b>	veh/h

Tabla 9. Valores de intensidad de saturación. Acceso 4.



### **Determinación de la duración de fase del semáforo.**

En la determinación de la duración de la fase del semáforo de la intersección estudiada, es necesario conocer el tipo de control que usa el semáforo. Como se describió anteriormente en este estudio, si el control del semáforo es prefijado, la duración de la fase es un dato de entrada y el proceso de omite. Si el dato es desconocido, se tiene que tomar en cuenta la duración prefijada indicando un procedimiento para calcularlo.

Para este caso, el procedimiento se omite puesto que se trata de un control prefijado.

### **Determinación de la capacidad y la proporción volumen – capacidad**

La capacidad de la intersección tiene como centro el concepto de intensidad de saturación, el tiempo de verde efectivo de un grupo de carriles y sus números de carriles.

Para este cálculo, utilizamos la ecuación [21], del procedimiento descrito en el apartado de determinación de la capacidad:

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

En donde,

c= capacidad de grupo de carriles (veh/h)

N= número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

g/C= proporción de verde efectivo para el grupo de carriles.

Luego de emplear la ecuación de capacidad en cada acceso a la intersección, obtenemos la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones de tráfico, de la vía y del semáforo. Se obtuvo los siguientes resultados:



<b>ACCESO - 1</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>C</b>	<b>Capacidad</b>
GC1	1685	veh/h	1	70	160	<b>737</b>
GC2	1660	veh/h	1	70	160	<b>726</b>
GC3	1539	veh/h	1	20	160	<b>192</b>

Tabla 10. Valores de Capacidad. Acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>C</b>	<b>Capacidad (veh/h)</b>
GC4	1573	veh/h	1	30	160	<b>295</b>
GC5	1657	veh/h	1	30	160	<b>311</b>

Tabla 11. Valores de Capacidad. Acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>C</b>	<b>Capacidad (veh/h)</b>
GC6	1557	veh/h	1	15	160	<b>146</b>
GC7	1675	veh/h	2	70	160	<b>1466</b>
GC8	1631	veh/h	1	70	160	<b>714</b>

Tabla 12. Valores de capacidad. Acceso 3.

<b>ACCESO - 4</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>C</b>	<b>Capacidad</b>
GC9	1581	veh/h	1	25	160	<b>247</b>
GC10	1663	veh/h	1	25	160	<b>260</b>
GC11	1613	veh/h	1	25	160	<b>252</b>

Tabla 13. Valores de capacidad. Acceso 4.

Teniendo ya la capacidad calculada de los cuatro accesos y sus respectivos grupos de carriles, procedemos a calcular la proporción volumen – capacidad (v/h), también llamado grado de saturación, a través de la siguiente fórmula:

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



Donde,

X = Proporción volumen – capacidad

v = flujo de demanda (veh/h)

c= Capacidad (veh/h)

<b>ACCESO - 1</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC1	737	148	<b>0.20</b>
GC2	726	922	<b>1.27</b>
GC3	192	124	<b>0.64</b>

Tabla 14. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC4	295	148	<b>0.50</b>
GC5	311	338	<b>1.09</b>

Tabla 15. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC6	146	172	<b>1.18</b>
GC7	1466	1138	<b>0.78</b>
GC8	714	864	<b>1.21</b>

Tabla 16. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 2.

<b>ACCESO - 4</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC9	247	370	<b>1.50</b>
GC10	260	188	<b>0.72</b>
GC11	252	36	<b>0.14</b>

Tabla 17. Valores de la relación volumen - capacidad. Acceso 4.



La relación de flujo observada en las tablas anteriores (14, 15, 16 y 17), muestra que cuando el resultado de  $X$  es mayor a 1.00, existe un exceso de demanda sobre la capacidad actual de la intersección.

Los grupos de carriles GC2, GC5, GC6, GC8, GC9; pueden considerarse los de flujo más alto y por ende, carriles con grado de saturación crítico.

## Determinación de la Demora

Para representar la demora media experimentada por todos los vehículos que llegan en el periodo de análisis, incluidas las demoras que ocurren antes del periodo de análisis cuando el grupo de carriles está sobresaturado, se debemos incluir el concepto de demoras en sus tres componentes: demora uniforme ( $d_1$ ), demora incremental ( $d_2$ ) y demora con cola inicial ( $d_3$ ). En este cálculo se incluye el factor de ajuste por coordinación o de progresión a la demanda uniforme (PF). La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3$$

La demora uniforme ( $d_1$ ) supone llegadas uniformes a la intersección, es decir, ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, como si no existiese saturación durante ningún ciclo. Se basa en la duración del ciclo, tiempo efectivo de verde y la relación de proporción volumen – capacidad. Se aplica la ecuación a continuación:

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot C \cdot \left(1 - \frac{g}{c}\right)^2}{1 - [\min(1, X) \cdot \frac{g}{c}]}$$

Por otro lado, la demora incremental ( $d_2$ ) supone llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el periodo de análisis, es decir, que no existe cola inicial al comienzo del periodo de análisis. Se basa en la duración del ciclo en horas, la relación de proporción volumen – capacidad y la capacidad de los grupos de carriles. Se expresa en la siguiente ecuación:





$$d_2 = 900.T \left[ (x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{c \cdot T}} \right]$$

La demora por cola inicial  $d_3$  supone una cola residual o remanente que existe antes del periodo de análisis, los vehículos experimentan una demora adicional debido a que la cola inicial deberá primero desalojar la intersección. En el caso que nos ocupa no existe cola inicial, por lo que el valor será igual a cero (0).

Luego de calcular la demora uniforme, demora incremental, hemos calculado la demora por cada grupo de carril, lo cual se refleja en las siguientes tablas:

<b>ACCESO - 1</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC1	0.74	28	0.61	<b>21.2</b>
GC2	0.74	57	132.17	<b>174.5</b>
GC3	0.95	67	15.47	<b>78.9</b>

Tabla 18. Valores de demora para el acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC4	0.92	58	5.99	<b>59.8</b>
GC5	0.92	66	76.60	<b>137.9</b>

Tabla 19. Valores de demora para el acceso 2.



ACCESO - 3				
Grupo de carril	PF	d1	d2	d (s/veh)
GC6	0.97	74	130.37	<b>201.7</b>
GC7	0.74	38	4.09	<b>32.6</b>
GC8	0.74	54	107.63	<b>147.6</b>

Tabla 20. Valores de demora para el acceso 3.

ACCESO - 4				
Grupo de carril	PF	d1	d2	d (s/veh)
GC9	0.94	74	244.10	<b>313.9</b>
GC10	0.94	64	16.04	<b>76.3</b>
GC11	0.94	58	1.19	<b>55.9</b>

Tabla 21. Valores de demora para el acceso 4.

## Determinación del Nivel de Servicio

Una vez calculados los valores de la demora para cada grupo de carril de la intersección estudiada, podemos obtener el nivel de servicio para cada uno de los grupos utilizando la tabla que se muestra:

Demora (segundos)	Nivel de Servicio
$\leq 10$	<b>A</b>
$> 10 - 20$	<b>B</b>
$> 20 - 35$	<b>C</b>
$> 35 - 55$	<b>D</b>
$> 55 - 80$	<b>E</b>
$> 80$	<b>F</b>

Tabla 22. Niveles de servicio.



<b>Niveles de Servicio</b>	
<b>Grupo de carril</b>	<b>Nivel de Servicio</b>
GC1	<b>C</b>
GC2	<b>F</b>
GC3	<b>E</b>
GC4	<b>E</b>
GC5	<b>F</b>
GC6	<b>F</b>
GC7	<b>C</b>
GC8	<b>F</b>
GC9	<b>F</b>
GC10	<b>E</b>
GC11	<b>E</b>

Tabla 23. Niveles de Servicio de la intersección estudiada.

Con los resultados mostradas en la Tabla 23, se observa claramente un problema de capacidad, al contar con niveles de servicio variables entre C, E y F; siendo estos dos últimos los que más se presentan en los grupos de carriles.

El flujo del tráfico en la intersección supera en gran medida la capacidad de la intersección actual en la hora punta.

El nivel de servicio E, nos indica que el funcionamiento está al límite de la capacidad, por lo que la velocidad de los vehículos es baja y uniforme. No cuentan con mucha libertad para maniobrar. El nivel de comodidad es bajo, siendo alta la frustración de los conductores de los vehículos.

Ligeras perturbaciones como la lluvia y accidentes menores cercanos producen colapsos en la circulación.



Por otra parte, el nivel de servicio F, representa una condición de flujo forzado en la intersección, es decir se forman colas y la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque inestables, produciendo lo que se conoce como “cuellos de botella”.

En las siguientes imágenes Figura 25, Figura 24 y Figura 26, se puede observar cómo se comporta la intersección en horas punta.



*Figura 24. Momento en que los vehículos de diferentes accesos se cruzan.*



*Figura 25. Acceso 3 en momentos de hora punta.*



*Figura 26. Tipología de vehículos observados.*





En la observación de campo del comportamiento de la intersección, a simple vista, se puede apreciar que la misma tiene problemas de congestión vehicular, lo cual se demostró con el análisis de niveles de servicio. Ciertamente el análisis técnico no contempla otros factores que también inciden en el comportamiento de la intersección como lo son:

- El estado en que se encuentran las vías de acceso
- Los vendedores ambulantes de periódicos y otros productos que obstaculizan el tráfico y hacen que la velocidad de los vehículos se reduzca.
- La falta de consistencia en la geometría de intersección al presentar carriles con diferentes anchos, como se aprecia en la figura 9.

## **7. PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS**

### **7.1.Introducción**

Las intersecciones semaforizadas en los cruces generan graves problemas de congestión vehicular en zonas urbanas de alta intensidad de tráfico rodado, estos problemas se intentan mitigar o resolver con actuaciones de tipo glorietas en superficie, puentes y/o pasos inferiores o a desnivel (trincheras). A ello se suma, un cambio en el ciclo semafórico, ajustando los tiempos de verde efectivo. También se evalúan las condiciones geométricas actuales, en busca de mejorar la capacidad.

En este estudio y como se pudo observar en los resultados de los niveles de servicio aplicando el HCM 2010, se aprecia que los giros a izquierda generan gran conflicto, ya que tienden a causar accidentes en las intersecciones y demoras por la falta de capacidad de la intersección.

Los valores de la intensidad de saturación son significativamente altos, la relación volumen – capacidad mostró que los grupos de carriles GC2, GC5, GC6, GC8 Y GC9, presentan un mayor flujo vehicular, del que puede asumir o para la que fue diseñada la intersección.



Como alternativas para disminuir los conflictos producidos por giros a izquierda y aumentar la seguridad vial, además de la capacidad vial del punto estudiado, presentamos tres propuestas, las cuales analizaremos aplicando la metodología HCM 2010. Como elemento adicional, evaluaremos las propuestas para una **vida útil de 20 años, con un crecimiento anual de 2.5 %**, de acuerdo a las ponderaciones utilizadas por el Ministerio de Obras Públicas en los pliegos de cargos N°2010-0-09-0-08-LV-004336 del Plan Maestro de Reordenamiento Vial de la Ciudad de Panamá, y estimaremos valores de costos globales, basados en el mercado de la construcción actual en Panamá. A lo anterior le añadiremos un cálculo estimado del tiempo de amortización de las obras.

## 7.2.Propuestas

### 7.2.1. Glorieta en superficie

La glorieta en superficie es una de las opciones que se puede plantear para canalizar los puntos de conflicto y reducir los tiempos de espera de los conductores, si se compara con una intersección regulada por semáforos. Las glorietas resultan más seguras al no permitir giros a izquierda.

A la glorieta se añadiría una mejora de la geometría, respecto a los anchos de carriles existentes. La propuesta considera un ancho de carril uniforme en los ramales de 3.65, utilizando el espacio disponible de la servidumbre vial.

Por otra parte, los pasos peatonales dispersos en las vías o la falta de ellos en otros casos, provoca cruce de peatones desordenados, lo cual se mejoraría ubicando nuevos pasos de cebra entorno a la glorieta para facilitar la movilidad peatonal.

A pesar de las mejoras geométricas y de movilidad peatonal, la glorieta o rotonda no soluciona el problema de la capacidad de la intersección, ya que al estar ubicada en una zona urbana, el tráfico varía durante todo el día. Además, la vía principal dejaría de tener prioridad en el cruce.

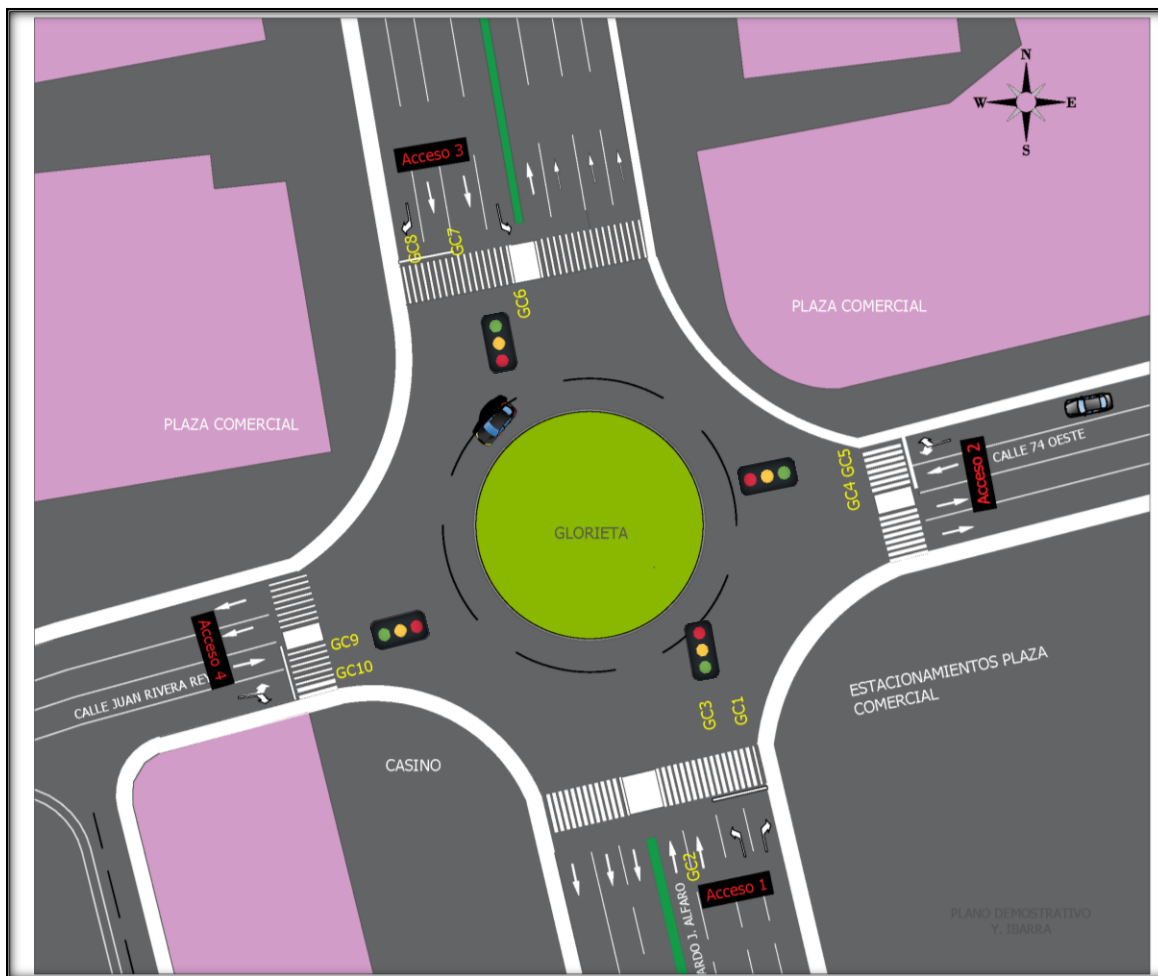


Figura 27. Glorieta en superficie. Propuesta 1.

### 7.2.2. Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie

Una segunda opción como solución al problema de congestión de la intersección estudiada, es la de construir una glorieta en superficie para mejorar la dirección de los flujos y adicionarle un paso inferior en la Vía Ricardo J Alfaro. Además, **al grupo de carriles GC8 se le añade un carril adicional.** En esta propuesta se integra la propuesta anterior, de incluir una glorieta en superficie, con un paso inferior que aumentaría la capacidad de la intersección. También incluirá la mejora de las condiciones geométricas



de las vías, utilizando un ancho de carril estándar de 3.65, pasos peatonales, ampliación de aceras y mejora de la señalización horizontal.

En cuanto al ciclo semafórico, se realizará un cambio de fases. Actualmente se opera en cinco fases, lo cual se reduciría a dos. **La fase A**, incluirá los accesos 1 y 3, que presentan los mayores flujos con un tiempo de verde de 60 segundos; y **la fase B**, incluiría los accesos 2 y 4 que corresponden a las vías secundarias con un tiempo de verde efectivo de 40 segundos.

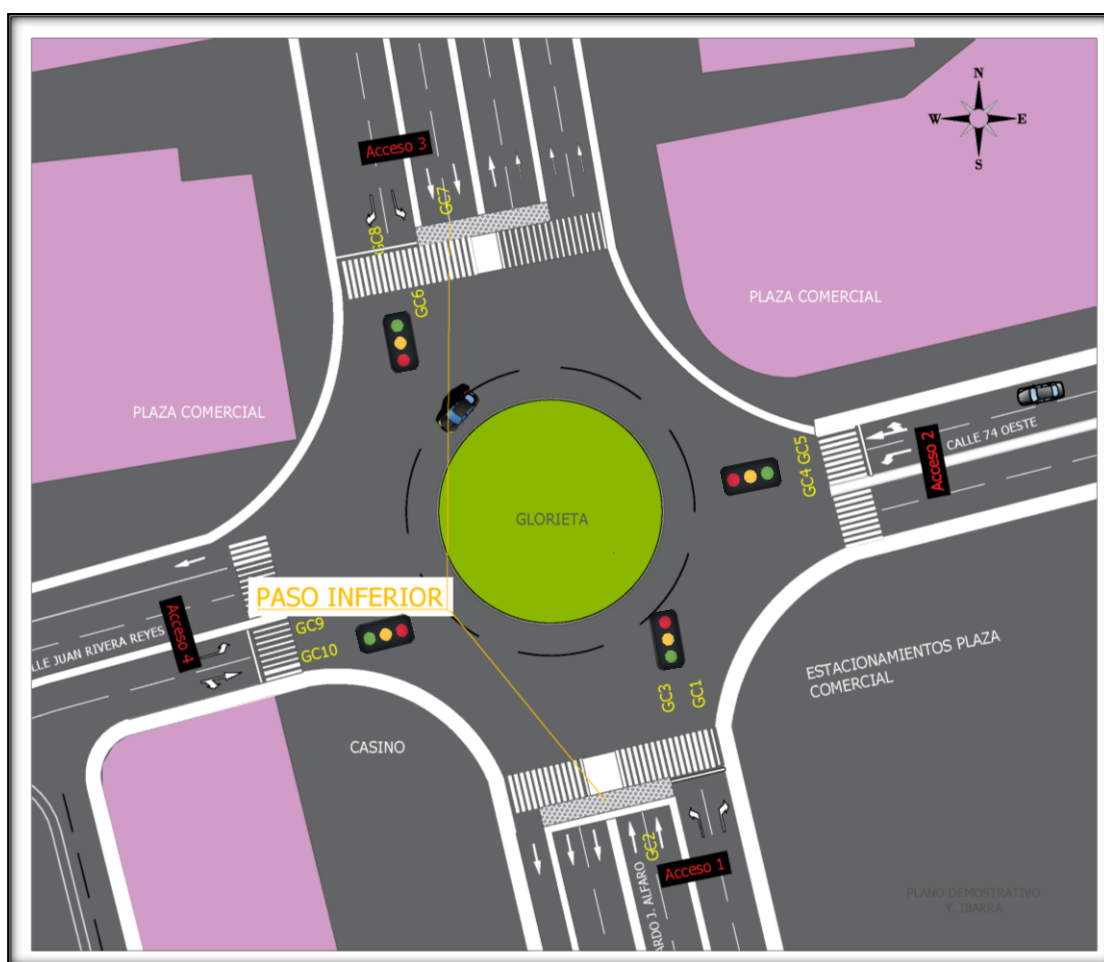


Figura 28. Propuesta 2. Glorieta en superficie y paso inferior.





## **8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS**

Este estudio trata de exponer diferentes propuestas para la mejora del flujo de vehículos en la intersección. Cada una de las soluciones está pensada en resolver técnicamente el problema del tráfico, sin embargo, a la hora de escoger la mejor opción, además de evaluar los aspectos técnicos, ésta deberá ser la opción más fácil de implementar respecto al tiempo de ejecución y costos.

Analizaremos los flujos vehiculares proyectados a 20 años, con una tasa de crecimiento anual de 2.5 %. En primer lugar y aplicando el HCM 2010, calcularemos la intensidad de saturación para cada uno de los grupos de carriles descritos en el apartado anterior. Una vez obtenidos los valores de la intensidad de saturación, calcularemos la capacidad de cada acceso, la proporción volumen – capacidad y por último las demoras. Al tener los valores de las demoras, procederemos a valorar el nivel de servicio de cada acceso. Este procedimiento se repite en cada propuesta.

### **8.1. Propuesta 1- Glorieta en Superficie**

La glorieta, aunque es una opción económicamente, más viable que las otras dos propuestas, no aumenta la capacidad de los accesos, solo posibilita los giros a izquierda de una manera más segura. Por otro lado, la propuesta genera una pérdida de prioridad tanto en el tronco principal como en las vías secundarias. En esta intersección las intensidades de los grupos de carriles que ingresan a ella no son del mismo orden de magnitud, son variables y altas, por lo que esta propuesta no resulta atractiva por las demoras que genera al tronco principal.



## 8.2. Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie

Todos los carriles serán de ancho estándar de 3.65 m regido por las normas del Ministerio de Obras Públicas de Panamá.

### Condiciones Geométricas

En las condiciones geométricas tomaremos en cuenta, los grupos de carriles para describir cada uno de los anchos de carril.

- Grupo 1: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3.65 m.
- Grupo 2: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con dos carriles de ancho de 3.65 m.
- Grupo 3: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3.65 m.
- Grupo 4: Ubicado en la Calle 74 Oeste con un ancho de 3.65 m.
- Grupo 5: Ubicado en la Calle 74 Oeste con un ancho de 3.65 m.
- Grupo 6: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con un ancho de 3,65 m.
- Grupo 7: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con dos carriles con un ancho de 3.65 m cada uno.
- Grupo 8: Ubicado en la Vía Ricardo J. Alfaro con dos carriles de ancho de 3.65 m.
- Grupo 9: Ubicado en la Calle Juan Rivera Reyes con un ancho de 3.65 m.
- Grupo 10: Ubicado en la Calle Juan Rivera Reyes con un ancho de 3.65 m.

### Condiciones del tráfico futuro

Para los volúmenes de tráfico se ha seleccionado el volumen de la hora pico o punta. Dichos volúmenes actuales se han estimado para una vida útil de 20 años, con una tasa de crecimiento anual de 2.5 %, como se expuso en el punto 8.

- Grupo 1: 230 (veh/h), El 2.5% corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 2: 1461 (veh/h), El 4.0% corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 3: 197 (veh/h), El 2.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 4: 223 (veh/h), El 1.0 % corresponde a vehículos pesados.



- Grupo 5: 511 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 6: 260 (veh/h), El 0.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 7: 1754 (veh/h), El 2.0 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 8: 1308 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 9: 562 (veh/h), El 1.0 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 10: 342 (veh/h), El 4.5% corresponde a vehículos pesados.

### 8.2.1. Aplicación de la metodología HCM 2010 en la propuesta 2.

Una vez descritos los volúmenes de tráfico para los diferentes grupos de carriles que se prevé a 20 años, se aplica la metodología del HCM 2010 y de esta manera verificar si se mejora la capacidad, a través de los parámetros de los niveles de servicio para la intersección estudiada utilizando la ecuación siguiente.

$$S = S_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Como resultado de la aplicación de la ecuación, obtenemos la tabla 24 que se muestra las intensidades de saturación:

Grupo de carril	Intensidad de Saturación Calculada	Unidad de medida
GC1	1653	veh/h
GC2	1619	veh/h
GC3	1570	veh/h
GC4	1606	veh/h
GC5	1694	veh/h
GC6	1619	veh/h
GC7	1664	veh/h
GC8	1694	veh/h
GC9	1606	veh/h
GC10	1679	veh/h

Tabla 24. Tabla de intensidades para el tráfico futuro. Propuesta 2.



A continuación, calculamos la capacidad de los grupos de carriles con las intensidades calculadas en la Tabla 24, en la cual se aprecia una reducción a 10 grupos, con la unificación del grupo 10 y 11 de la Tabla 9.

<b>ACCESO - 1</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>Capacidad</b>
GC1	1653	veh/h	1	60	100	<b>992</b>
GC2	1619	veh/h	2	100	100	<b>3238</b>
GC3	1570	veh/h	1	60	100	<b>942</b>

Tabla 25. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>Capacidad</b>
GC4	1606	veh/h	1	40	100	<b>642</b>
GC5	1694	veh/h	1	40	100	<b>678</b>

Tabla 26. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>Capacidad</b>
GC6	1619	veh/h	1	60	100	<b>971</b>
GC7	1664	veh/h	2	100	100	<b>3327</b>
GC8	1694	veh/h	2	60	100	<b>2032</b>

Tabla 27. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.

<b>ACCESO - 4</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>Capacidad</b>
GC9	1606	veh/h	1	40	100	<b>642</b>
GC10	1679	veh/h	1	40	100	<b>672</b>

Tabla 28. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.



Con la capacidad calculada y ajustada al nuevo ciclo semafórico, se procede al cálculo de la relación volumen – capacidad en cada grupo de carriles y acceso.

<b>ACCESO - 1</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC1	992	230	<b>0.23</b>
GC2	3238	1461	<b>0.45</b>
GC3	942	197	<b>0.21</b>

Tabla 29. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC4	642	224	<b>0.35</b>
GC5	678	512	<b>0.75</b>

Tabla 30. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC6	971	260	<b>0.27</b>
GC7	3327	1754	<b>0.53</b>
GC8	2032	1308	<b>0.64</b>

Tabla 31. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 3.

<b>ACCESO - 4</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC9	642	563	<b>0.88</b>
GC10	672	342	<b>0.51</b>

Tabla 32. Valores de la relación volumen -capacidad. Acceso 4.

Por último y antes de conocer el nivel de servicio de cada grupo de carril, calcularemos la demora uniforme, la demora incremental y por cola inicial, con lo cual obtenemos la demora



de cada grupo de carriles para la propuesta 2. **Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie.**

<b>ACCESO - 1</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC1	0.51	9	0.55	<b>5.2</b>
GC2	0.00	0	0.46	<b>0.5</b>
GC3	0.51	9	0.50	<b>5.1</b>

Tabla 33. Valores de demora para el Acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC4	0.78	21	1.49	<b>17.8</b>
GC5	0.78	26	7.64	<b>27.8</b>

Tabla 34. Valores de demora para el Acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC6	0.51	10	0.67	<b>5.5</b>
GC7	0.00	0	0.60	<b>0.6</b>
GC8	0.51	13	1.58	<b>8.2</b>

Tabla 35. Valores de demora para Acceso 3.

<b>ACCESO - 4</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC9	0.78	28	15.45	<b>37.1</b>
GC10	0.78	23	2.75	<b>20.4</b>

Tabla 36. Valores de demora para Acceso 4.





Ahora determinamos el nivel de servicio para cada grupo de carriles de la propuesta,

Grupo de carril	Nivel de Servicio
GC1	A
GC2	A
GC3	A
GC4	B
GC5	C
GC6	A
GC7	A
GC8	A
GC9	D
GC10	C

Tabla 37. Resultado de los niveles de servicio para la propuesta 2.

Como se aprecia en la Tabla 37. Resultado de los niveles de servicio para la propuesta 2., con la propuesta 2, de un paso inferior y rotonda en superficie se mejora significativamente los niveles de servicio de la intersección, sin embargo en el grupo de carriles GC9, sigue teniendo problemas de capacidad, por el flujo de tráfico que entra.

### 8.2.1.1. Estimación de costos para la propuesta 2 - Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie

Para efectos de este estudio, los costos son orientativos, para valorar el factor económico en el resultado y solución elegida.

Esta propuesta conllevaría los trabajos de movimiento de tierras (excavación), construcción del paso inferior en trinchera, obras de drenajes, pavimentación, estructuras, señalización, iluminación, reubicación de servicios públicos, Estudio de Impacto Ambiental, Fianzas, entre otros.

El costo utilizado de referencia está basado en el Contrato AL -1-110-11, del Ministerio de Obras Públicas de Panamá, Pliego de Cargos N° 2010-0-09-0-08-LV-004337, para el Plan



Maestro de Reordenamiento Vial de la Ciudad de Panamá: “Estudios, diseños, construcción de obras del Corredor Vía Brasil Tramo II”, que data del 11 de febrero de 2011., los mismos se muestran en el Anexo 2. Figura 32, pero tomando en cuenta los valores para una sola obra vial y no dos, como contempla el contrato, por lo tanto, los costos de servicios generales y costos asociados, se dividieron entre dos.

<b>COSTOS ESTIMADOS PARA PROPUESTA 2</b>				
<b>DETALLE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL en balboas (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL en euros (€)</b>
<b>SERVICIOS GENERALES</b>				
Movilización y campamento	Global	Todo	B/. 2,333,123.00	2,566,435.30 €
Estudio de Impacto Ambiental	Global	Todo	B/. 50,000.00	55,000.00 €
Administración de obra	Global	Todo	B/. 6,713,545.50	7,384,900.05 €
Seguros y fianzas	Global	Todo	B/. 2,250,000.00	2,475,000.00 €
<b>OBRAS DE CRUCE VIAL ROTONDA Y PASO INFERIOR</b>	Global	Todo	B/. 47,262,940.31	51,989,234.34 €
<b>COSTOS ASOCIADOS A INDEMNIZACIONES (EXPROPIACIONES), REUBICACION DE SERVICIOS PUBLICOS Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>	Global	Todo	B/. 15,000,000.00	16,500,000.00 €
Sub-total			B/. 73,609,608.81	80,970,569.69 €
Impuesto ITBMS 7%			B/. 5,152,672.62	5,667,939.88 €
<b>TOTAL</b>			<b>B/. 78,762,281.43</b>	<b>86,638,509.57 €</b>

Tabla 38. Costos estimados para la obra de la propuesta 2.

En la Tabla 38. Costos estimados para la obra de la propuesta 2., se emplea el Balboa (B./) Panameño, que como moneda tiene un valor equivalente a un dólar americano. El cambio empleado a euro, por consiguiente, se valoró respecto al mercado actual de julio 2019, siendo este de:

$$1 \text{ balboa} = 1 \text{ dólar americano} = 1.10 \text{ euros.}$$



Con lo cual el costo total de la propuesta sería de \$ 78,762,281.43 dólares americanos, que equivale a 86,638,509.57 €.

### **8.3.Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria**

Esta propuesta combina la propuesta 2, con un puente en la vía secundaria, para aumentar la capacidad en los grupos de carriles GC4, GC5, GC8, GC9 Y GC10, manteniendo las condiciones geométricas de la propuesta 2, sin embargo, en esta propuesta se considerará un ajuste en el ciclo semafórico. *Se conservarán las dos fases, la fase A incluirá los accesos 1 y 3, tendrán un tiempo de verde efectivo de 60 segundos y la fase B, que contempla los accesos 2 y 4, tendrá un tiempo efectivo de 30 segundos.*

#### **Condiciones del tráfico futuro**

Las condiciones de tráfico futuro se mantienen para esta propuesta.

- Grupo 1: 230 (veh/h), El 2.5% corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 2: 1461 (veh/h), El 4.0% corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 3: 197 (veh/h), El 2.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 4: 223 (veh/h), El 1.0 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 5: 511 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 6: 260 (veh/h), El 0.4 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 7: 1754 (veh/h), El 2.0 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 8: 1308 (veh/h), El 0.7 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 9: 562 (veh/h), El 1.0 % corresponde a vehículos pesados.
- Grupo 10: 342 (veh/h), El 4.5% corresponde a vehículos pesados.

#### **8.3.1. Aplicación de la metodología HCM 2010 en la propuesta 3.**

Aplicamos la ecuación de la Intensidad de saturación para obtener su valor en cada grupo de carriles obtenemos:



Grupo de carril	Intensidad de Saturación Calculada	Unidad de medida
GC1	1653	veh/h
GC2	1619	veh/h
GC3	1570	veh/h
GC4	1606	veh/h
GC5	1694	veh/h
GC6	1619	veh/h
GC7	1664	veh/h
GC8	1694	veh/h
GC9	1606	veh/h
GC10	1679	veh/h

Tabla 39. Intensidad de saturación para los grupos de carriles.

El paso siguiente, es calcular la capacidad para los grupos de carriles, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

ACCESO - 1						
Grupo de carril	Intensidad de Saturación Calculada	Unidad de medida	Nº de carriles	g	c	Capacidad
GC1	1653	veh/h	1	60	100	992
GC2	1619	veh/h	2	100	100	3238
GC3	1570	veh/h	1	40	100	628

Tabla 40. Valores de capacidad del acceso 1 con la propuesta 3.

ACCESO - 2						
Grupo de carril	Intensidad de Saturación Calculada	Unidad de medida	Nº de carriles	g	c	Capacidad
GC4	1606	veh/h	1	100	100	1606
GC5	1694	veh/h	1	40	100	678

Tabla 41. Valores de capacidad del acceso 2 de la propuesta 3.

ACCESO - 3						
Grupo de carril	Intensidad de Saturación Calculada	Unidad de medida	Nº de carriles	g	c	Capacidad
GC6	1619	veh/h	1	60	100	971
GC7	1664	veh/h	2	100	100	3327
GC8	1694	veh/h	2	60	100	2032

Tabla 42. Valores de capacidad del acceso3 de la propuesta 3.



<b>ACCESO - 4</b>						
<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación Calculada</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Nº de carriles</b>	<b>g</b>	<b>c</b>	<b>Capacidad</b>
GC9	1606	veh/h	1	100	100	<b>1606</b>
GC10	1679	veh/h	1	40	100	<b>672</b>

Tabla 43. Valores de capacidad del acceso 4 de la propuesta 3.

Continuando con la aplicación de la metodología HCM 2010, se procede a calcular la relación volumen – capacidad en los grupos de carriles.

<b>ACCESO - 1</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC1	992	230	<b>0.23</b>
GC2	3238	1461	<b>0.45</b>
GC3	628	197	<b>0.31</b>

Tabla 44. Valores de la relación volumen - capacidad.

<b>ACCESO - 2</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC4	1606	224	<b>0.14</b>
GC5	678	512	<b>0.75</b>

Tabla 45. Valores de la relación volumen - capacidad.

<b>ACCESO - 3</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC6	971	260	<b>0.27</b>
GC7	3327	1754	<b>0.53</b>
GC8	2032	1308	<b>0.64</b>

Tabla 46. Valores de la relación volumen - capacidad.



<b>ACCESO - 4</b>			
<b>Grupo de carril</b>	<b>Capacidad</b>	<b>V</b>	<b>X</b>
GC9	1606	563	<b>0.35</b>
GC10	672	342	<b>0.51</b>

Tabla 47. Valores de la relación volumen capacidad.

Una vez obtenida la relación volumen – capacidad, procedemos a calcular la demora para la propuesta 3 en cada acceso. Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

<b>ACCESO - 1</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC1	0.51	9	0.55	<b>5.2</b>
GC2	0.00	0	0.46	<b>0.5</b>
GC3	0.78	21	1.30	<b>17.3</b>

Tabla 48. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 1.

<b>ACCESO - 2</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC4	0.00	0	0.18	<b>0.2</b>
GC5	0.78	26	7.64	<b>27.8</b>

Tabla 49. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 2.

<b>ACCESO - 3</b>				
<b>Grupo de carril</b>	<b>PF</b>	<b>d1</b>	<b>d2</b>	<b>d (s/veh)</b>
GC6	0.51	10	0.67	<b>5.5</b>
GC7	0.00	0	0.60	<b>0.6</b>
GC8	0.51	13	1.58	<b>8.2</b>

Tabla 50. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 3.



ACCESO - 4				
Grupo de carril	PF	d1	d2	d (s/veh)
GC9	0.00	0	0.60	<b>0.6</b>
GC10	0.78	23	2.75	<b>20.4</b>

Tabla 51. Valores de demora para la propuesta 3. Acceso 4.

Con los datos de demora calculados, obtenemos los niveles de servicio de cada acceso.

Grupo de carril	Nivel de Servicio
GC1	A
GC2	A
GC3	B
GC4	A
GC5	C
GC6	A
GC7	A
GC8	A
GC9	A
GC10	C

Tabla 52. Niveles de servicio de la propuesta 3.



### 8.3.2. Estimación de costos para la propuesta 3 - Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria

Para efectos de este estudio, los costos son orientativos, para valorar el factor económico en el resultado y solución elegida.

Esta propuesta, al igual que la propuesta 2, conllevaría los trabajos de movimiento de tierras (excavación), construcción del paso inferior en trinchera, obras de drenajes, pavimentación, estructuras, señalización, iluminación, reubicación de servicios públicos, Estudio de Impacto Ambiental, Fianzas, entre otros.

El costo utilizado de referencia está basado en el Contrato AL -1-109-11, del Ministerio de Obras Públicas de Panamá, Pliego de Cargos N° 2010-0-09-0-08-LV-004336, para el Plan Maestro de Reordenamiento Vial de la Ciudad de Panamá: “Estudios, diseños, construcción de obras del Corredor Vía Brasil Tramo I”, que data del 11 de febrero de 2011., los mismos se muestran en el Anexo 2, Figura 31, pero tomando en cuenta los valores para una sola obra vial y no dos, como contempla el contrato, por lo tanto, los costos de servicios generales y costos asociados, se dividieron entre dos.

COSTOS ESTIMADOS PARA PROPUESTA 3				
DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL en balboas (\$)	PRECIO TOTAL en euros (€)
<b>SERVICIOS GENERALES</b>				
Movilización y campamento	Global	Todo	B/. 2,345,789.50	2,580,368.45 €
Estudio de Impacto Ambiental	Global	Todo	B/. 50,000.00	55,000.00 €
Administración de obra	Global	Todo	B/. 6,900,305.50	7,590,336.05 €
Seguros y fianzas	Global	Todo	B/. 2,700,000.00	2,970,000.00 €
<b>OBRAS DE CRUCE VIAL ROTONDA Y PASO INFERIOR</b>	Global	Todo	B/. 85,541,683.00	94,095,851.30 €
<b>COSTOS ASOCIADOS A INDEMNIZACIONES (EXPROPIACIONES), REUBICACION DE SERVICIOS</b>	Global	Todo	B/. 15,000,000.00	16,500,000.00 €





<b>PUBLICOS Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>				
Sub-total			B/. 112,537,778.00	123,791,555.80 €
Impuesto ITBMS 7%			B/. 7,877,644.46	8,665,408.91 €
<b>TOTAL</b>			<b>B/. 120,415,422.46</b>	<b>132,456,964.71 €</b>

Se aplica el valor de cambio en la moneda utilizado en la propuesta 2, que es igual a:

1 balboa = 1 dólar americano = 1.10 euros.

Basado en lo anterior, el costo total de la propuesta sería de **\$ 120,415,422.46** dólares americanos, que equivale a **132,456,964.71 €**.

Cabe mencionar que para equiparar la propuesta, se ajustó el valor de afectaciones respecto del pliego tomado como referencia Figura 31. Desglose de precios contrato de referencia, Corredor Vía Brasil Tramo I., y se utiliza un mismo valor, ya que las indemnizaciones por expropiaciones son de mismo lugar: Zona de El Dorado.

## 9. Cálculo de la Amortización para las propuestas

Tomando en cuenta la escala salarial en Panamá, en donde el salario mínimo es de **SETECIENTOS VEINTIÚN (721) BALBOAS**, vigente desde enero de 2018, de acuerdo a la **Gaceta Oficial No. 28433-A**, en donde aparece el **Decreto Ejecutivo No. 75**, con un **costo por hora de 4.10 balboas**, y partiendo de la premisa de que muchos de los viajes que realizan los conductores son por ocio u otras razones, utilizaremos como base un total de **2500** horas anuales de congestión, hacemos un cálculo de la amortización de la obra, basados en los costos del **apartado 8.2.1.1, y 8.3.2**, los cuales presentamos en las siguientes tablas:



<b>DEMORA(segundos/vehículos)</b>					
<b>Grupo de carril</b>	<b>Situación Actual</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Reducción Propuesta 2 vs actual</b>	<b>Reducción Propuesta 3 vs actual</b>
GC1	21.24	5.24	5.24	<b>16.00</b>	<b>16.00</b>
GC2	174.51	0.46	0.46	<b>174.05</b>	<b>174.05</b>
GC3	78.94	5.12	17.35	<b>73.82</b>	<b>61.59</b>
GC4	59.85	17.80	0.18	<b>42.05</b>	<b>59.66</b>
GC5	137.90	27.75	27.75	<b>110.14</b>	<b>110.14</b>
GC6	201.71	5.49	5.49	<b>196.22</b>	<b>196.22</b>
GC7	32.59	0.60	0.60	<b>31.99</b>	<b>31.99</b>
GC8	147.64	8.16	8.16	<b>139.48</b>	<b>139.48</b>
GC9	313.91	37.06	0.60	<b>276.85</b>	<b>313.31</b>
GC10	76.33	20.38	20.38	<b>55.95</b>	<b>55.95</b>
GC11	55.88	0.00	0.00	<b>55.88</b>	<b>55.88</b>
<b>Total en segundos/veh</b>				<b>1172.44</b>	<b>1214.28</b>

Tabla 53. Tabla comparativa de las demoras con las propuestas.

<b>Grupo de carril</b>	<b>AMORTIZACION</b>				<b>AHORRO ANUAL (balboas)</b>	
	<b>Horas punta anuales</b>	<b>Total de ahorro anual en horas propuesta 2</b>	<b>Total de ahorro anual en horas propuesta 3</b>	<b>Intensidad de saturación calculada (veh/h) propuesta 2</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>
GC1	2500.00	11.113	11.113	1653.27	B/. 75,328.71	B/. 75,328.71
GC2	2500.00	120.870	120.870	1619.23	B/. 802,436.54	B/. 802,436.54
GC3	2500.00	51.265	42.773	1569.85	B/. 329,961.80	B/. 275,306.82
GC4	2500.00	29.200	41.434	1605.94	B/. 192,263.33	B/. 272,813.26
GC5	2500.00	76.487	76.487	1694.35	B/. 531,342.49	B/. 531,342.49
GC6	2500.00	136.267	136.267	1618.75	B/. 904,382.90	B/. 904,382.90
GC7	2500.00	22.213	22.213	1663.68	B/. 151,516.63	B/. 151,516.63
GC8	2500.00	96.859	96.859	1693.68	B/. 672,599.68	B/. 672,599.68
GC9	2500.00	192.259	217.576	1606.09	B/. 1,266,016.19	B/. 1,432,729.75
GC10	2500.00	38.853	38.853	1679.07	B/. 267,471.90	B/. 267,471.90
GC11	2500.00	38.805	38.805		B/. -	B/. -
<b>TOTALES</b>		<b>814.19</b>	<b>843.25</b>		<b>B/. 5,193,320.17</b>	<b>B/. 5,385,928.68</b>

Tabla 54. Costos Anuales ahorrados con las propuestas.



	Tiempo de amortización propuesta 2	Tiempo de amortización propuesta 3
<b>Costo</b>	B/. 78,762,281.43	B/. 120,415,422.46
<b>Ahorro en tiempo</b>	B/. 5,193,320.17	B/. 5,385,928.68
<b>Años</b>	<b>15</b>	<b>22</b>

Tabla 55. Amortización obtenida de las propuestas.

## 10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En primer lugar, analizaremos el aspecto técnico de las propuestas. Elaboramos un cuadro comparativo de los niveles de servicio obtenidos:

Tabla comparativa de niveles de servicios "Actual vs propuestas"				
Grupo de carril	Nivel de Servicio Actual.	Nivel de Servicio Propuesta 2.	Nivel de Servicio Propuesta 3.	Observaciones
GC1	C	A	A	Mejora
GC2	F	A	A	Mejora
GC3	E	A	B	Mejora
GC4	E	B	A	Mejora
GC5	F	C	C	Mejora
GC6	F	A	A	Mejora
GC7	C	A	A	Mejora
GC8	F	A	A	Mejora
GC9	F	D	A	Mejora
GC10	E	C	C	Mejora
GC11	E	--	--	

Tabla 56. Niveles de servicios actual vs propuestas.

En la Tabla 56. Niveles de servicios actual vs propuestas. se muestra una comparativa de los niveles de servicio de la intersección, partiendo de los niveles actuales, como ya se analizó en la **página 66. Determinación del Nivel de Servicio**, de este estudio, se observa que en los grupos de carriles GC2, GC3, GC4, GC5, GC6, GC8, GC9, GC10 y GC11, existe una deficiencia en la capacidad respecto a la intensidad de tráfico, con niveles de



servicio entre “E” y “F”. Con la implementación de la propuesta **“Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie”**, se mejoraría en todos los grupos de carriles de los diferentes accesos a la intersección, sin embargo, el grupo GC9 mejora levemente su nivel de servicio debido a la alta intensidad, con un nivel “D”, éste sigue presentando problemas de capacidad, ya que muchos vehículos se detendrían por tener un ciclo largo. Con la implementación de la propuesta “Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria”, la mejora de la capacidad es aún mayor que en la propuesta 2, ya que los grupos de carriles GC1, GC2, GC4, GC6, GC7, GC8 y GC9, obtienen un nivel de servicio “A”, lo que significa que la demora no supera los 10 segundos por vehículo, indicando que la relación volumen – capacidad es baja. En el caso del grupo de carriles GC10, mantiene el nivel de servicio de la propuesta 2 al igual que el GC5 al disminuir la fase de verde efectivo de 50 segundos a 40 segundos.

Luego de hacer el análisis técnico, analizaremos el aspecto económico de las propuestas, si bien es cierto, que aplicando la metodología del HCM 2010, se obtienen mejoras significativas en los niveles de servicio con las propuestas 2 - **Paso inferior en vía principal y glorieta en superficie** y la propuesta 3 - **Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria**, desde el punto de vista económico la propuesta 2 resulta más baja costando B/41,653,141.03 millones de dólares menos que la propuesta 3, al no tener que construir un puente y sus estructuras, por ende, el tiempo de ejecución sería menor. Por consiguiente, de haber limitaciones presupuestarias, la propuesta 2 sería la adecuada para optimizar las operaciones en la intersección, sin embargo la propuesta 3, dará muchos años más de vida útil, para una ciudad dinámica con Panamá.

Escoger una propuesta definitiva para la intersección implica evaluar otros elementos, además del técnico y económico; interesa conocer el impacto ambiental de las propuestas, el social producto de las expropiaciones necesarias, que para efectos de Panamá, se prevén indemnizaciones privadas, puesto que por la Resolución 009-11 del 20 de enero de 2011 (Gaceta Oficial 26713-A), los propietarios de suelo tienen el derecho a ser indemnizados por el terreno que el Estado necesite utilizar para obra pública.



Por otro lado, existe un riesgo implícito al establecer un nivel de crecimiento de la demanda futura, ya que no se han elaborado otros estudios paralelos como: estudio a detalle de origen – destino de los conductores, estudio de los proyectos que se desarrollarán en torno a la zona, la inversión central del gobierno en otros modos de transporte para fomentar una movilidad más sostenible y que permita reducir el uso del vehículo privado, la migración nacional y extranjera hacia la ciudad, el nivel de crecimiento económico del país, entre otros, por lo tanto la estimación de la demanda futura puede presentarse como conservadora.

En conclusión, basados en los puntos anteriores, y dándole mayor relevancia al aspecto técnico se elige la **propuesta N° 3 - 8.3 Paso inferior vía principal, glorieta en superficie y puente en la vía secundaria**, ya que la misma aporta una mayor capacidad a la intersección, seguridad vial y de peatones, absorbería con mayor facilidad flujos superiores a los establecidos, garantizando una vida útil más allá de la establecida en el estudio, tomando en cuenta que se trata de una zona de gran crecimiento.

## **11.CONCLUSIONES**

La metodología del HCM, es ideal y de fácil comprensión para realizar estudios puntuales en diferentes intersecciones, tanto en áreas urbanas, semi-urbanas, rurales y conexiones entre ellas, ya que permite conocer a través de la clasificación en niveles de servicio, la capacidad de cada una de ellas, con lo cual se pueden evaluar oportunidades de mejora. Pero además de ello, para optimizar las actuaciones en un determinado sitio, será necesario planear, proyectar y construir modernos sistemas de regulación semafórica, de transporte público y regular la tipología de los vehículos de mercancías, para que en conjunto, todas las actuaciones sirvan para perfeccionar la capacidad la intersección estudiada y las intersecciones continuas.

La pieza fundamental en la aplicación de esta metodología, es la de contar con datos fiables de los volúmenes vehiculares, por consiguiente, el plan de aforos se debe planificar



adecuadamente, obteniendo la mayor cantidad de mediciones, durante todo el año, utilizando la última tecnología disponible para tal fin.

Un punto importante a mencionar, es que la metodología HCM no contempla todos los factores que pueden influir en la estimación de capacidad y funcionalidad de la intersección, por ejemplo, el comportamiento de los conductores. Para esta intersección estudiada, entre la Vía Ricardo J. Alfaro y la Calle Juan Rivera Reyes, se genera un mayor atasco, producto del manejo desordenado de algunos conductores, principalmente, taxistas, los cuales no respetan las señales de tránsito, el alto de la luz en rojo, ocasionando demoras en la zona central de la intersección. Intentan cambiar de carril en el último tramo del acceso, para evitar hacer la cola del carril en el cual deben estar.

Continuando con el punto anterior, el HCM no toma en cuenta, el estado de conservación de las vías, los vendedores ambulantes que se ubican en los accesos, aprovechando el tiempo de fase roja, para ofertar sus productos, y que el proceso de compra y venta, trasciende la fase roja en algunos casos, añadiendo retrasos a los otros conductores.

La metodología tampoco toma en cuenta los grupos de carriles de salida, siendo importantes, ya que el desalojo de la intersección depende también de cuantos carriles de salida tenga cada ramal, si es sólo uno como originalmente ocurría en el acceso 2 de la intersección con las condiciones actuales, provoca una cola de vehículos en la zona centro de la intersección, al no lograr salir, porque el carril de salida está colapsado. Por ello, en las propuestas mejoramos las condiciones geométricas y de tráfico al agregar un carril de salida.

Al enfocar el estudio en una intersección puntual, no se considera la demora provocada por la fase roja de las intersecciones que están antes y después de la estudiada, ya que no existe buena coordinación entre las diferentes intersecciones.

En cuanto a las propuestas, se eligió la alternativa 3, que a pesar de ser más costosa, asegurará una mayor vida útil para una zona urbana en crecimiento como la estudiada. Al contar con nuevos pasos peatonales, se añaden zonas verdes, se aumentarán los niveles de seguridad vial.



Con el paso inferior se elimina la fase de semáforo para los grupos de carriles GC2 y GC7, con lo cual se reduce la demora y aumenta el nivel de servicio. Por su parte, el puente en las calles secundarias, aumentan la capacidad de los grupos de carriles GC4 y GC9.

Para finalizar, es recomendable estudiar el comportamiento de las diferentes intersecciones de la zona urbana de la ciudad de Panamá, optimizar la coordinación semafórica, pero además destinar recursos a la inversión en otros modos de transporte como las líneas de metro, y el sistema de autobuses urbano, para que el modelo de ciudad que se empiece a planificar esté proyectada a implantar un movilidad sostenible, reduciendo la polución y el uso de combustibles fósiles.

## **12. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Un aporte importante de este tipo de estudios, es que permite continuar con estudios en otros puntos congestionados de la ciudad de Panamá, presentado alternativas de solución a los diferentes problemas que empeoran la calidad de vida de los habitantes de la zona urbana y de los conductores que viven en zonas alejadas de la urbe.

Otros estudios que pueden surgir a partir de este análisis son:

- ✓ Estudio para la Implementación de carriles bici en las intersecciones urbanas.
- ✓ Estudio de origen destino de los conductores de las diferentes zonas.
- ✓ Estudio de carril exclusivo para transporte público.
- ✓ Estudio de tipologías de vehículos de mercancías para zonas centro.
- ✓ Estudios de implementación de zonas 30 para el área urbana.



### **13. BIBLIOGRAFIA**

- (1) Cárdenas, V., Herce Vallejo, M. Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización. Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio, abril 2005.
- (2) Instrucción para el Diseño de la Vía Pública. Gerencia Municipal de Urbanismo. Ayuntamiento de Madrid, diciembre 2000.
- (3) Highway Capacity Manual 2010. Washington, DC. Transportation Research Board, National Research Council, 2010.
- (4) Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito. Guatemala: Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). 2014.
- (5) American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO. 2010.
- (6) Cal y Mayor, Rafael; Cárdenas, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones. Editorial Alfaomega Grupo Editor S.A. Octava Edición. México 2007.
- (7) Pérez Acebo, Heriberto. Carreteras. Volumen I: Red Viaria y Tráfico. Universidad del País Vasco. 2018.
- (8) Pliego de Especificaciones Técnicas Generales. Ministerio de Obras Públicas de Panamá. Segunda Edición. 1995.



## ANEXOS

### 1. Mediciones de aforo para el ciclo semafórico.

MEDICIONES DE AFORO						
Sentido del movimiento		1	2	3	4	5
Tiempo de ciclo (seg)		160	160	160	160	160
Tiempo de verde efectivo (seg)	Directo	70				
Tiempo de verde efectivo (seg)	Izquierda		30	15	25	20

Tabla 57. Tabla de datos del ciclo semafórico.

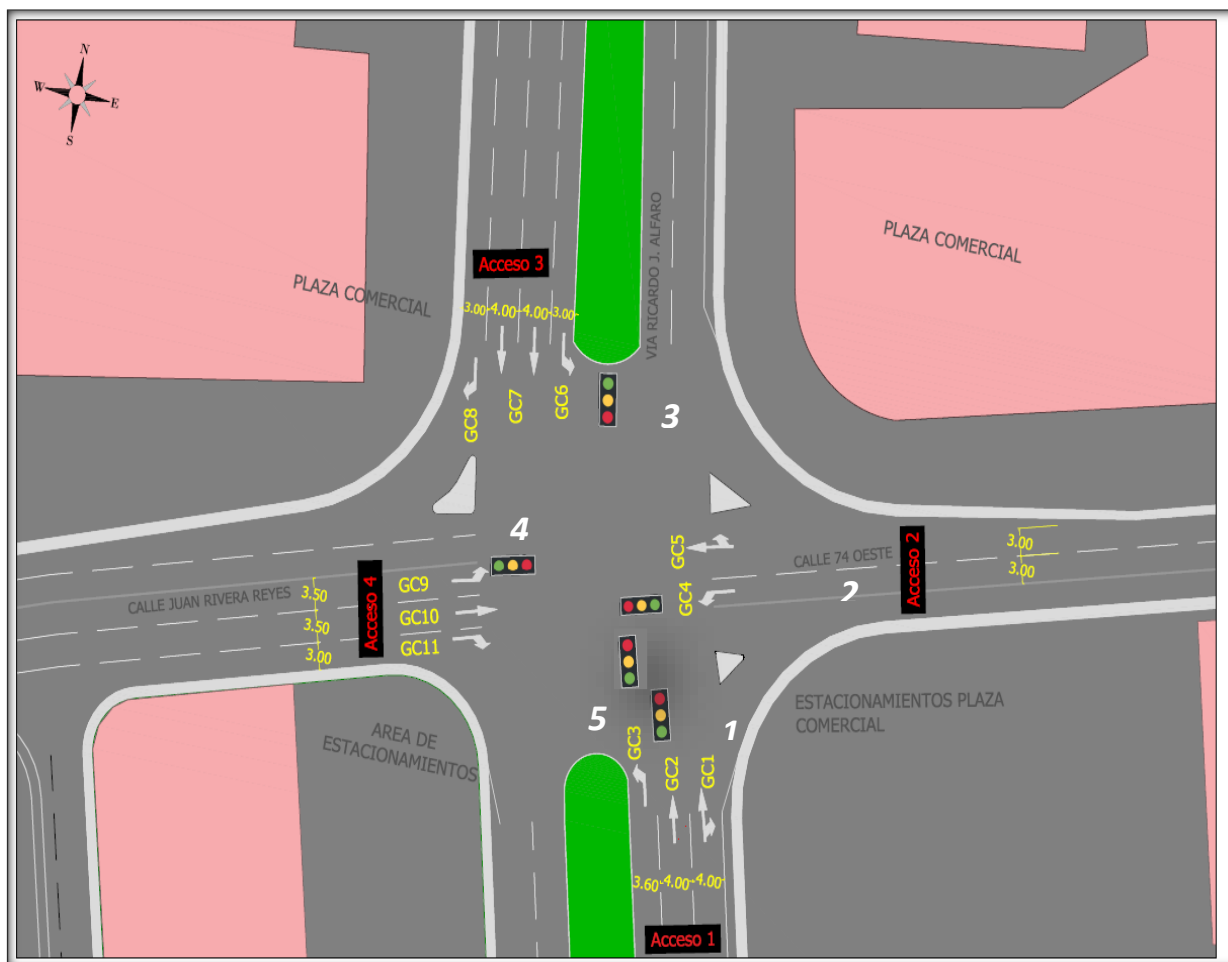


Figura 30. Distribución de semáforos de la intersección.



2. Costos de obras

**CUARTA: MONTO DEL CONTRATO.**

EL ESTADO reconoce y pagará a EL CONTRATISTA, por la ejecución total de la obra detallada en el presente contrato, la suma de DOSCIENTOS DIEZ MILLONES CUATROCIENTOS NOVENTA Y UN MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y NUEVE BALBOAS CON 99/100 (B/.210,491,449.99) ("el Monto del Contrato"), incluido ITBMS, de conformidad con lo que presentó en su propuesta EL CONTRATISTA, por el trabajo ejecutado, y cuyo pago acepta recibir mediante Cuentas de Pago Parcial, tal como se definen en la cláusula sexta, de acuerdo a los establecido en el Anexo 4 – Medición y Pago, como se describe a continuación:

Nº	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
				(B/.)
<b>A</b>	<b>SERVICIOS GENERALES</b>			
	a) Movilización y Campamento	Global	Todo	4,691,579.16
	b) Estudio de Impacto Ambiental	Global	Todo	100,000.00
	c) Administración de Obra	Global	Todo	13,800,611.16
	d) Seguros y Fianzas	Global	Todo	5,400,000.00
<b>B</b>	<b>OBRAS DE CRUCE VIAL EN INTERSECCIONES DE VÍA BRASIL CON AVE. RICARDO J. ALFARO</b>	Global	Todo	85,541,683.40
<b>C</b>	<b>OBRAS DE CRUCE VIAL EN INTERSECCIONES DE VÍA BRASIL CON AVE. SIMÓN BOLIVAR</b>	Global	Todo	82,187,107.58
<b>D</b>	<b>COSTOS ASOCIADOS AL MOP: AFECTACIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS, REUBICACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS, PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>	Global	Todo	5,000,000.00
<b>E</b>	<b>SUB-TOTAL OBRAS A+B+C+D, INCLUIDO FINANCIAMIENTO</b>			196,720,981.30
<b>F</b>	<b>ITBMS OBRAS 7% E</b>			13,770,468.69
<b>GRAN TOTAL DE LA OFERTA U PROPUESTA ECONÓMICA: E + F, INCLUIDO FINANCIAMIENTO</b>				<b>210,491,449.99</b>

El "Monto del Contrato" se ajustará el día de emisión de la Orden de Proceder para tomar en cuenta la evolución de las tasas de interés de mercado entre la fecha de la oferta y la fecha de emisión de la Orden de Proceder. La fórmula de ajuste del monto del contrato esta evolución de la tasa de interés se detalla en la Cláusula SEXTA.

EL ESTADO se compromete a reforzar la partida presupuestaria para dar cumplimiento a los pagos que deriven de la ejecución del presente Contrato en las próximas vigencias fiscales, de acuerdo a lo establecido en el último párrafo del Artículo 23 de la Ley N° 22 de 27 de junio de 2006 y sus posteriores modificaciones. De conformidad a la Certificación N.006, con fecha 5 de julio de 2011 del Ministerio de Economía y Finanzas.

Figura 31. Desglose de precios contrato de referencia, Corredor Vía Brasil Tramo I.



**CUARTA: MONTO DEL CONTRATO.**

EL ESTADO reconoce y pagará a EL CONTRATISTA, por la ejecución total de la obra detallada en el presente contrato, la suma de CIENTO SETENTA Y CINCO MILLONES TRES MIL DOSCIENTOS BALBOAS CON 00/100 (B/.175,003,200.00) ("el Monto del Contrato"), Includo ITBMS, de conformidad con lo que presentó en su propuesta EL CONTRATISTA, por el trabajo ejecutado, y cuyo pago acepta recibir mediante Cuentas de Pago Parcial, tal como se definen en la cláusula sexta, de acuerdo a lo establecido en el Anexo 4 – Medición y Pago, según se describe a continuación:

Nº	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL (B/.)
A	SERVICIOS GENERALES			
	a) Movilización y Campamento	Global	Todo	4,666,246.89
	b) Estudio de Impacto Ambiental	Global	Todo	100,000.00
	c) Administración de Obra	Global	Todo	13,427,091.39
	d) Seguros y Fianzas	Global	Todo	4,500,000.00
B	OBRAS DE CRUCE VIAL EN INTERSECCIONES DE VÍA BRASIL CON CALLE 50'	Global	Todo	43,618,106.13
C	OBRAS DE CRUCE VIAL EN INTERSECCIONES DE VÍA BRASIL CON VÍA ISRAEL	Global	Todo	47,252,948.31
D	COSTOS ASOCIADOS AL MOB: AFECTACIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS, REUBICACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS, PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	Global	Todo	60,000,000.00
E	SUB-TOTAL OBRAS A+B+C+D, INCLUIDO FINANCIAMIENTO			163,564,392.62
F	ITBMS OBRAS 7% E			11,448,807.40
GRAN TOTAL DE LA OFERTA U PROPUESTA ECONOMICA E + F, INCLUIDO FINANCIAMIENTO				175,003,200.00

El "Monto del Contrato" se ajustará el día de emisión de la Orden de Proceder para tomar en cuenta la evolución de las tasas de interés de mercado entre la fecha de la oferta y la fecha de emisión de la Orden de Proceder. La fórmula de ajuste del monto del contrato esta evolución de la tasa de interés se detalla en la Cláusula SEXTA.

EL ESTADO se compromete a reforzar la partida presupuestaria para dar cumplimiento a los pagos que deriven de la ejecución del presente Contrato en las próximas vigencias fiscales, de acuerdo a lo establecido en el último párrafo del Artículo 23 de la Ley Nº 22 de 27 de junio de 2006 y sus posteriores modificaciones. De conformidad a la Certificación N.004, con fecha 5 de julio de 2011 del Ministerio de Economía y Finanzas.

Figura 32. Desglose de precios contrato de referencia, Corredor Via Brasil Tramo II