



# Universidad Politécnica de Valencia



*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y  
Puertos*

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL TRAFICO Y LA FUNCIONALIDAD EN LA INTERSECCION SEMAFORIZADA DE LA CARRETERA MELLA Y AV. SAN VICENTE DE PAUL EN LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO ESTE, REPUBLICA DOMINICANA.

---

***Master en Transporte, Territorio y Urbanismo***

***Trabajo de Fin de Máster***

***Septiembre 2018***

**Presentado por:  
Katherine Lucía Henríquez Valenzuela**

**Dirigido por:  
Javier Soriano Ferriol**



## Índice

I. Índice de gráficas.....	I
II. Índice de figuras.....	II
III. Índice de tablas.....	III
1. Antecedentes.....	2
2. Introducción.....	3
2.1 Intersecciones a nivel.....	3
2.2 Intersecciones semaforizadas.....	4
2.3 Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas en servicio.....	5
3. Objeto de estudio.....	6
4. Estado del arte.....	7
4.1 Semáforos.....	7
4.2 Tipos de movimientos.....	9
4.3 Capacidad en intersecciones semaforizadas.....	11
4.3.1 Factores que afectan la capacidad en una intersección.....	11
4.4 Niveles de Servicio.....	16
4.5 Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada.....	17
5. Caracterización de la intersección semaforizada.....	40
5.1 Características de la intersección.....	40
5.1.1 Caracterización del tramo.....	40
5.1.2 Caracterización del transporte urbano.....	41
5.1.3 Caracterización de la intersección semaforizada.....	44
5.2 Toma de información.....	49
5.2.1 Volúmenes vehiculares.....	50
5.2.2 Composición vehicular.....	52
5.3 Problemática.....	53
6. Análisis de capacidad de la intersección semaforizada con el HCM 2010.....	54



7. Presentación de propuestas.....	75
7.1 Propuestas.....	76
7.1.1 Paso inferior y puente.....	76
7.1.2 Ampliación de la vía.....	77
7.1.3 Paso inferior combinado con una glorieta en superficie.....	77
7.2 Evaluación de las propuestas.....	78
8. Análisis de capacidad de las propuestas.....	83
9. Resultados.....	97
10. Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	99
11. Bibliografía.....	101
12. Anexos.....	102



## Índice de graficas

Grafica 1. Cantidad de vehículos destinados al transporte publico según su tipo...43	43
Grafica 2. Volúmenes vehiculares en la intersección.....52	52
Grafica 3. Composición vehicular.....52	52



## Índice de figuras

Figura 1. Tipos de movimientos de una intersección .....	10
Figura 2. Grupos de carriles comunes en el análisis.....	21
Figura 3. Intersección semaforizada en estudio.....	40
Figura 4. Accesos de la intersección en estudio .....	44
Figura 5. Acceso 1.....	45
Figura 6. Acceso 2.....	46
Figura 7. Acceso 3.....	47
Figura 8. Acceso 4.....	48
Figura 9. Ubicación de los aforos .....	49
Figura 10. Grupos de movimientos y carriles de la intersección en estudio .....	57
Figura 11. Ámbito de estudio acceso 1 .....	60
Figura 12. Ámbito de estudio acceso 2 .....	61
Figura 13. Ámbito de estudio acceso 3 .....	61
Figura 14. Ámbito de estudio acceso 4 .....	62
Figura 15. Acceso de la intersección en estudio.....	71
Figura 16. Acceso de la intersección en estudio.....	71
Figura 17. Acceso de la intersección en estudio.....	72
Figura 18. Acceso de la intersección en estudio.....	72
Figura 19. Vista aérea de la intersección semaforizada en estudio .....	73



Figura 20. Propuesta 1. Paso inferior y puente .....	76
Figura 21. Propuesta 3. Paso inferior combinado con glorieta.....	77
Figura 22. Ampliación de los carriles .....	79
Figura 23. Foto aérea de Mega Centro.....	80
Figura 24. Intersección 2 .....	80
Figura 25. Posición de los grupos de carriles con la propuesta 1 .....	83
Figura 26. Posición de los grupos de carriles con la propuesta 3 .....	90
Figura 27. Organización de los giros con la glorieta.....	98



## Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de servicio en función de la demora media.....	17
Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril .....	24
Tabla 3. Factor de ajuste de progresión... ..	37
Tabla 4. Volúmenes vehiculares a lo largo del día en la intersección .....	51
Tabla 5. Capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	63
Tabla 6. Capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	63
Tabla 7. Capacidad de los grupos de carriles acceso 3 .....	64
Tabla 8. Capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	64
Tabla 9. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	64
Tabla 10. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	65
Tabla 11. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 3 .....	65
Tabla 12. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	65
Tabla 13. Demora de los grupos de carriles acceso 1.....	65
Tabla 14. Demora de los grupos de carriles acceso 2.....	67
Tabla 15. Demora de los grupos de carriles acceso 3.....	68
Tabla 16. Demora de los grupos de carriles acceso 4.....	68
Tabla 17. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas .....	70
Tabla 18. Niveles de servicio para los grupos de carriles .....	70
Tabla 19. Intensidad de saturación de los grupos de carriles propuesta 1 .....	84



Tabla 20. Capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	85
Tabla 21. Capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	85
Tabla 22. Capacidad de los grupos de carriles acceso 3 .....	85
Tabla 23. Capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	86
Tabla 24. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	86
Tabla 25. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	86
Tabla 26. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 3.....	87
Tabla 27. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	87
Tabla 28. Demora de los grupos de carriles acceso 1.....	87
Tabla 29. Demora de los grupos de carriles acceso 2.....	88
Tabla 30. Demora de los grupos de carriles acceso 3.....	88
Tabla 31. Demora de los grupos de carriles acceso 4.....	88
Tabla 32. Niveles de servicio para los grupos de carriles con la propuesta 1.....	89
Tabla 33. Intensidad de saturación de los grupos de carriles propuesta 3 .....	91
Tabla 34. Capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	92
Tabla 35. Capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	92
Tabla 36. Capacidad de los grupos de carriles acceso 3 .....	92
Tabla 37. Capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	93
Tabla 38. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 1 .....	93
Tabla 39. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 2 .....	93
Tabla 40. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 3 .....	94
Tabla 41. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles acceso 4 .....	94
Tabla 42. Demora de los grupos de carriles acceso 1.....	94



Tabla 43. Demora de los grupos de carriles acceso 2.....	95
Tabla 44. Demora de los grupos de carriles acceso 3.....	95
Tabla 45. Demora de los grupos de carriles acceso 4.....	95
Tabla 46. Niveles de servicio de los grupos de carriles propuesta 3 .....	96



## 1. Antecedentes

El estudio que se muestra a continuación, se presenta como el Trabajo Fin de Master de la estudiante Katherine Lucia Henríquez Valenzuela. Fue tutelado por Javier Soriano Ferriol, profesor del Departamento de Ingeniería e Infraestructura de Los Transportes de La Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El trabajo de Fin de Master tiene por título: “Estudio de alternativas para la mejora del tráfico y la funcionalidad en la intersección semaforizada de la Carretera Mella y Av. San Vicente de Paul en la ciudad de Santo Domingo Este, Republica Dominicana aplicando el High Capacity Manual 2010.”

Este trabajo se encuentra catalogado como tipo II debido a que se trata de un estudio de investigación.

El estudio se ha realizado en colaboración con la Universidad Autónoma de Santo Domingo y con el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones de la Republica Dominicana.



## 2. Introducción

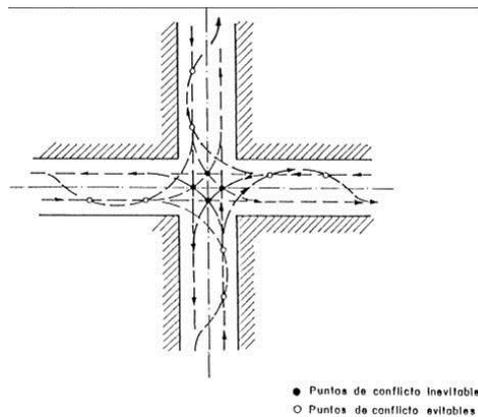
En general entendemos por intersecciones viales a las zonas comunes entre dos o más vías que se cortan tanto a nivel como desnivel, estas permiten a los usuarios el cambio de dirección de una ruta.

Hay diferentes tipos de intersecciones, las mismas se diferencian por su complejidad, desde un simple cruce, con solo dos caminos que se cruzan entre sí en ángulo recto, hasta las más complejas en la que se cruzan tres o más caminos.

Si bien como algo positivo las intersecciones permiten a los usuarios el cambio de sentido en la ruta que circulan, también pueden presentar problemas. Cuando el flujo vehicular aumenta y el tipo de intersección no tiene la capacidad de servicio necesaria, se produce congestión en las horas punta, agravándose esto aún más cuando no existe un control o regulación para el paso de los vehículos y los peatones.

### 2.1 Intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel son como su nombre lo indica intersecciones que se cruzan o se cortan en un mismo nivel. Cuando hablamos de este tipo de intersección, es habitual referirse con el término de acceso a la intersección vial que ingresa a la zona de conflicto. La zona de conflicto se define como la suma de las áreas donde se interceptan las trayectorias de los diferentes posibles movimientos. Los movimientos son los posibles destinos que puede seleccionar un vehículo accediendo a la intersección. En general existen cuatro tipos de movimientos: giro a la derecha, movimiento directo, giro a la izquierda y movimiento en U.



Frecuentemente las intersecciones a nivel tienen carriles exclusivos de giro a la derecha o a la izquierda, con el fin de aumentar la capacidad de la misma y para evitar el bloqueo de otros vehículos por aquellos que están a la espera.

## 2.2 Intersecciones semaforizadas

Las intersecciones semaforizadas son las intersecciones que se encuentran controladas en la mayor parte del tiempo por sistemas de luces que fijan las prioridades de paso por la intersección.

La semaforización en las intersecciones puede ser de gran utilidad para la reducción del congestionamiento, la mejora de la seguridad y la capacidad, así como también para estimular el uso del transporte público, potenciación de peatones y ciclistas y el reforzamiento de la jerarquía viaria.



### **2.3 Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas en servicio**

La capacidad y los niveles de servicio de una intersección semaforizada estarán condicionados por el diseño de la misma, la actuación de los conductores, y las características del tráfico. La eficiencia de la intersección es máxima cuando la repartición de los orígenes y destinos se uniforme. Cuando los flujos están descompensados, el funcionamiento de la intersección es admisible siempre y cuando el volumen global de demanda sea pequeño.

Cada vez existen más intersecciones semaforizadas que alcanzan situaciones de alta demanda y congestión, también hay bastantes que, sin llegar a volúmenes elevados de demanda se saturan, por presentar descompensación entre los diferentes accesos.

En el caso de la intersección semaforizada que se estudiara, existe un gran problema de congestión, debido al cruce de un volumen elevado de vehículos, los autobuses sin paradas específicas y la gran cantidad de peatones que transitan en la zona.



### 3. Objeto de estudio

El siguiente trabajo contiene el método de evaluación para el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas y el tratamiento de la información actual de la intersección semaforizada en estudio.

Primero, para la creación del Estado del arte se ha seleccionado información sobre el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas, tomando en consideración los factores que se estudian en los procedimientos de cálculo y, así como también, se describió el método para determinar la capacidad a partir del método analítico estadounidense.

Por otra parte, el estado del conocimiento se enfoca en la explicación de las características de la intersección en estudio, además de la toma de datos de información y de la problemática actual.

Se propondrán diferentes alternativas para la solución de los problemas de la intersección. Después de esto se realizará un análisis de las propuestas sugeridas y se seleccionará y se implementará la alternativa más viable para la optimización de la capacidad de la intersección, reducir los tiempos de viaje y mejorar la seguridad.



## 4. Estado del arte

Como se mencionó anteriormente las intersecciones semaforizadas son aquellas que están organizadas permanentemente o la mayor parte del tiempo mediante sistemas de luces que disponen las prioridades de paso a través de la intersección.

Las intersecciones están establecidas de acuerdo a las circunstancias del tráfico, dicho de otro modo, de acuerdo a unos tiempos determinados que son dados para mantener un nivel de servicio óptimo y evitar atascos. Para el funcionamiento idóneo de la capacidad de una intersección, los sistemas de luces o semáforos reparten el tiempo entre los movimientos conflictivos que se dan en la intersección para así no saturar sus accesos.

### 4.1 Semáforos

Los semáforos juegan un papel muy importante en la regulación del tráfico, los mismos tienen operaciones que afectan directamente a la circulación como son: el plan de fases, la asignación de los tiempos de verde, la duración del ciclo, los giros protegidos, entre otros.

A continuación, se definen algunos de estos conceptos:

- Ciclo: Es la secuencia completa de indicaciones de un semáforo, es decir, tiempo total de “verde”, más “ámbar”, más “rojo”.
- Duración de ciclo: Es el tiempo total que necesita un semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos.



- Intervalo: Es el periodo de tiempo en el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.
- Fase: Es el tiempo en el cual no se produce ningún cambio de color en los semáforos.
- Reparto: Es la duración en segundos de cada una de las fases.
- Tiempo de “ámbar”: Es el tiempo para el cambio de verde a rojo, actualmente fijo con una duración de 3-4 segundos.
- Tiempo de cambio: Intervalos “ámbar” más el “rojo” con la finalidad de que la intersección quede totalmente despejada, para que se puedan poner en funcionamiento los siguientes movimientos.
- Tiempo de “verde”: Es el tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento. Estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque.
- Tiempo de “verde” efectivo: Es el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase expresado en segundos.
- “Rojo” efectivo: Es el tiempo durante el cual no se permite la circulación, algún movimiento específico o un conjunto de movimientos. Es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica expresado en segundos.

Por otra parte, según el Highway Capacity Manual 2010, existen dos tipos de operaciones en el control de semáforos: operación prefijada y operación accionada.

La operación prefijada es una acción que consiste en una secuencia de fases fijas, que están en un orden repetitivo, la duración de cada fase es precisa siempre con los mismos tiempos (intervalos de cada cambio prefijados), pero el intervalo de verde puede variar dependiendo el día de la semana o se acomoda a unas horas determinadas.



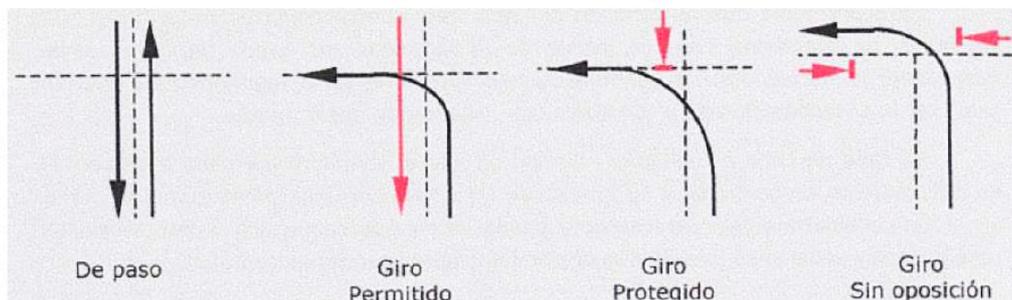
La operación accionada es la fase de la secuencia en la que la presentación de cada fase depende o está asociada a los movimientos del tráfico. Este tipo de operación se puede describir como: actuado, semiactuado y coordinado actuado.

- Control actuado: En este todas las fases serán actuadas y todos los movimientos de tráfico de la intersección están manipulados por detectores. Este tipo de control no está vinculado con un ciclo constante y así las duraciones del ciclo y los tiempos de verde pueden cambiar continuamente según la demanda que se tenga.
- Control semiactuado: En este se utilizan las fases actuadas para ejercer los menores movimientos (calles secundarias) de una intersección, mientras que los mayores movimientos que se realizan en una intersección están manipulados con fases no actuadas, tratando siempre de estar en la fase verde, así cuando las calles secundarias localicen un flujo vehicular, se les dará paso con un intervalo de tiempo determinado.
- Control coordinado-actuado: Este tipo de control tiene un parecido al anterior y vincula la fase coordinada aquellos movimientos menores en la intersección.

#### **4.2 Tipos de movimientos**

En las intersecciones controladas por semáforos, aparte de la asignación del tiempo de verde también debe de tomarse en cuenta la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases ya que esto influye de gran manera en su capacidad. En una intersección se pueden ver cuatro tipos de movimientos: de paso, giro permitido, giro protegido y giro sin oposición.

- **Movimiento de paso:** El vehículo sigue en la misma dirección que llevaba antes de cruzar la intersección. De los diferentes movimientos, es el de menor requerimiento por parte del sistema.
- **Giro permitido:** El vehículo que realiza este tipo de movimiento debe atravesar bien una corriente peatonal, bien un flujo vehicular en sentido contrario. Un ejemplo de esto sería un giro a la izquierda que se efectúe al mismo al mismo tiempo que un movimiento de tráfico en sentido contrario. Por igual, un giro a la derecha simultáneo con un cruce de peatones también lo será. Esta clase de movimiento demanda un mayor consumo de tiempo de verde.
- **Giro protegido:** El vehículo no presenta oposición vehicular o peatonal a la hora de realizar una maniobra. Ejemplo de esto serían los giros a la izquierda efectuados en una fase exclusiva para ellos, una flecha verde adicional en el semáforo y otro serio giro a la derecha con impedimento de cruce para los peatones mientras la fase está en acción.
- **Giro sin oposición:** En este tipo de movimiento, a diferencia del anterior, no necesita una regulación de fase exclusiva, ya que la forma de la intersección no permite que se presenten conflictos o interferencias con el tráfico de paso. Estos se dan en calles de un solo sentido o intersecciones tipo que operan con dos fases separadas para cada intersección.



**Figura 1. Tipos de movimientos en una intersección.**



### 4.3 Capacidad en intersecciones semaforizadas

En una intersección semaforizada definimos capacidad como la máxima cantidad de vehículos que pueden cruzarla en un intervalo de tiempo determinado (regularmente una hora), en las condiciones de tráfico, geométricas y de regulación real.

Existen una serie de conceptos importantes referentes a intersecciones semaforizadas, estos se especifican a continuación.

- Ciclo: Es el tiempo que se necesita para que se dé una sucesión completa de indicaciones en los semáforos que están conectados a un mismo regulador.
- Fase: Es el tiempo en el cual se permite uno o varios movimientos paralelos a través de la intersección.
- Despeje: Es el tiempo que se necesita para que los vehículos que ya han entrado a la intersección salgan de esta zona y la despejen.
- Reparto de ciclo: Es la asignación de este entre los distintos ramales que confluyen en la intersección.

#### 4.3.1 Factores que afectan la capacidad en una intersección

La capacidad de una intersección puede estar afectada por diferentes factores, algunos de estos son de tipo geométrico (ancho de carril, inclinación de la rasante, entre otros), y otros de tipo circunstancial, que reflejan el uso que le dan los usuarios a la intersección (vehículos, peatones y ciclistas) a la intersección.



## **Geometría**

El ancho de vía es el factor más importante en la evaluación de la capacidad de una intersección. La anchura del acceso no varía únicamente con la de la vía, sino que depende de otros factores como la ubicación de las marcas viales o la existencia de isletas u otros obstáculos.

La cantidad de filas en que se dispone el tráfico no depende únicamente de la existencia de señalización, ya que frecuentemente, especialmente en las horas punta, los vehículos se colocan formando más filas que las establecidas por las marcas viales. Esto no indica que una buena demarcación de carriles no contribuya al aumento de la capacidad, por norma general.

Además de los factores mencionados anteriormente, existe otro que ejerce influencia sobre la capacidad: la inclinación de la rasante. Esta puede favorecer o hacer difícil el movimiento de los vehículos, principalmente de los pesados.

## **Composición del tráfico**

La cantidad de vehículos pesados que existe en el flujo de tráfico se hace exclusiva en la capacidad individual de cada acceso y en la intersección en conjunto.

Los vehículos pesados son más lentos y voluminosos que los vehículos ligeros, sus maniobras en ámbito urbano están más restringidas debido a su radio de giro.

Por otro lado, tenemos los autobuses. Estos influyen en doble proporción ya que, aparte de ser vehículos pesados, tienen una frecuencia de parada y esto modifica la capacidad de acceso en las zonas donde se realicen.



### **Estacionamiento**

La existencia de vehículos estacionados o parados cerca de la intersección, es un factor que afecta mucho a la capacidad de la misma. Con la presencia de vehículos realizando maniobras de estacionamiento se reduce la anchura eficaz del acceso y se retrasa la circulación de los vehículos.

Con lo anteriormente mencionado, la capacidad de la vía se reduce considerablemente. Por otro lado, si se destina una zona de la vía para este fin, se pueden obtener mejoras significativas en la capacidad.

### **Maniobras de giro**

En una intersección semaforizada, dependiendo siempre de su tipología y regulación, los conductores de los vehículos tienen una serie de posibles recorridos a seguir, que generalmente son: girar a la izquierda, girar a la derecha o continuar recto en la dirección que lleva.

Se ha demostrado experimentalmente que el porcentaje de vehículos que efectúan maniobras de giro afectan perjudicialmente a la capacidad en la intersección. En el caso de giro a la derecha, la existencia de peatones con prioridad de paso disminuye aún más su capacidad.

En circunstancias concretas puede ser recomendable proteger los giros. Los giros protegidos son aquellos que se realizan en una fase exclusiva, sin obstrucción de

ninguna corriente, ya sea peatonal o de tráfico. Los giros protegidos no afectan la capacidad del acceso.



### **Factor de hora punta**

El momento más grave para la intersección en lo que se refiere a capacidad es durante la hora punta. Será necesario tener en cuenta el factor de hora punta (FHP), definido por el Highway Capacity Manual 2010 como “cociente entre la intensidad de hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos más cargados.”

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

El FHP es 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.

### **Estado de la intersección**

Igualmente, a la influencia del tamaño de la ciudad en la fluidez del tráfico, también ejerce cierta influencia la ubicación de la intersección en la misma. En el cálculo se diferencian cuatro zonas:

- Centro: En esta zona el uso del suelo es principalmente en actividad mercantil y de negocios. Se caracteriza por el número elevado de peatones, por la gran cantidad de vehículos que cargan y descargan mercancías, por la gran demanda de estacionamiento y por la alta rotación del mismo.



- Zona intermedia: Zona posterior al centro, en esta se mezcla la actividad mercantil con suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico no tiene su origen ni su destino dentro de la zona, y se caracteriza por un número moderado de peatones.
- Subcentros o centros periféricos: Zona de menor entidad que el centro, pero de características parecidas, diferenciándose en que se observa una mezcla de tráfico de paso con el que existe en la zona.
- Zonas residenciales: Zonas en las que prevalece el uso residencial, y se caracteriza por tener una densidad peatonal y renovación de estacionamiento baja.

### **Conclusiones**

Como hemos observado, hay un sinnúmero de factores que influyen en la capacidad de una intersección. En las zonas urbanas, a parte de los factores, se puede dar que, por cuestiones de tiempos de recorrido o seguridad en la intersección, algunos vehículos de transporte público como autobuses o tranvías, tengan prioridad en la incorporación a la intersección.

En el método de determinación que veremos más adelante se presentan diferentes parámetros que se relacionan con la geometría y con el tráfico.



#### 4.4 Niveles de Servicio

Para la estimación de la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, son una medida cualitativa de las condiciones de la circulación.

Los niveles de servicio tienen en cuenta el efecto de diferentes factores como son: velocidad y tiempo de recorrido, seguridad, comodidad de conducción, y los costes de funcionamiento. La forma de combinar estos factores va a depender del tipo de carretera que se esté estudiando, por lo que la definición de cada nivel de servicio individual es diferente, por ejemplo, en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc.

El análisis y estudio de los volúmenes de tráfico es útil para comprender la naturaleza general del tráfico en un área específica, pero no nos da la capacidad de la vía para absorber un flujo adicional, ni tampoco nos describe el funcionamiento de la vía o intersección. Por esta razón se ha desarrollado este concepto de nivel de servicio.

El Highway Capacity Manual 2010 define los niveles de servicio a través de uno o dos factores instrumentales que se pueden medir y que son más representativos del estado de la circulación para la clase de elemento de carretera que se está estudiando. Se utilizan seis niveles de servicio que se simbolizan de mejor a peor, por las letras mayúsculas de la "A" a la "F". Los niveles de servicio en las intersecciones semaforizadas se obtienen a partir de la demora media obtenida, concepto que se atribuye a molestias, retrasos o tiempos de viaje perdidos por el conductor. Los niveles de servicio A, B y C muestran unas condiciones de tráfico en las cuales los vehículos no tienen grandes demoras en los periodos punta de demanda.



Los niveles de servicio D y E indican un agravamiento progresivo de las condiciones operacionales en los periodos punta, mientras que el nivel de servicio F indica que la demanda excede la capacidad de la intersección.

Demora (s)	Nivel de Servicio
≤10	A
> 10-20	B
> 20-35	C
> 35-55	D
> 55-80	E
> 80	F

**Tabla 1. Niveles de servicio en función de la demora media.**

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

Para determinar la capacidad en una intersección semaforizada, el Highway Capacity Manual 2010, en el capítulo de intersecciones semaforizadas, explica una metodología para evaluar la capacidad y niveles de servicio. A parte de esto, incluye una serie de medidas de actuación que describen el funcionamiento de la intersección para modos de viajes múltiples. Estas medidas sirven como clave para reconocer el origen de los problemas y proveer información sobre el desarrollo de estrategias de mejora.



En la aplicación de esta metodología, el nivel de análisis puede describirse en tres niveles:

- Operacional
- Diseño
- Planificación e ingeniería preliminar

El análisis operacional es la aplicación más minuciosa y solicita información sobre el tráfico, condiciones geométricas y condiciones de señalización.

El análisis de diseño también necesita información detallada sobre condiciones de tráfico y niveles de servicio, también sobre condiciones geométricas y de señalización. Este análisis persigue determinar unos valores razonables para las condiciones no previstas.

Finalmente, la planificación en ingeniería preliminar necesita solo de información del analista. Para otros datos de entrada se toman unos valores por defecto.

El periodo de estudio es el intervalo de tiempo simbolizado por la evaluación de actuación. Está formado por uno o más periodos de análisis consecutivos. Un periodo de análisis es el intervalo de tiempo evaluado por una sola aplicación de la metodología.

La metodología se fundamenta en la hipótesis de que las condiciones de tráfico son constantes mientras este el periodo de análisis, dicho de otro modo, el cambio sistemático en el tiempo es despreciable. Por ello, el periodo de análisis varía desde 0,25 hasta 1 hora. Hay que tener especial cuidado con los periodos de análisis que



exceden de 1 hora, debido a que las condiciones de circulación por lo general no son estables durante extensos periodos de tiempo.

Uno de los enfoques que más se utiliza consiste en la evaluación de la cantidad de vehículos en los 15 minutos más cargados del periodo de estudio. El periodo de análisis es de 0.25 horas. De tal forma, describiremos como el factor de hora punta a la relación entre intensidad horaria de la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado de esta hora punta.

La metodología para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas presenta una secuencia de cálculos imprescindible para valorar las medidas de actuación. Dichos cálculos se explican a continuación:

### **1. Determinar movimientos y grupos de carriles.**

La designación de un grupo de movimientos es conveniente para especificar los datos de entrada mientras que el grupo de carril es conveniente para la descripción de los cálculos asociados con la metodología.

Las reglas que se muestran a continuación son usadas para determinar grupos de movimientos en una intersección:

- Se denomina como grupo de maniobras de giro al conjunto de movimientos realizados desde uno o más carriles exclusivos y carriles no compartidos.
- Otro grupo de maniobras pertenece al conjunto de carriles no asignado en el grupo anterior.



El concepto de grupo de carriles es apropiado cuando un carril compartido está presente en un enfoque que tiene dos o más carriles. Las reglas que se presentan a continuación son usadas para determinar los grupos de carriles en una intersección:

- Uno o más carriles exclusivos de giro a izquierda se debe designar como grupo de carriles separado. De igual manera ocurre con los carriles exclusivos de giro a derecha.
- Cualesquiera de los carriles compartidos deben ser designados como grupo de carriles separado.
- Los carriles que no sean de giros exclusivos o compartidos deben de combinarse en un grupo de carriles.

Estas reglas son el producto de la asignación de una o más de las siguientes posibilidades de grupos de carriles en una intersección.

- Carril(es) exclusivo(s) de giro a la izquierda.
- Carril(es) exclusivo(s) de movimiento de frente.
- Carril(es) exclusivo(s) de giro a la derecha.
- Carril compartido directo y giro a la izquierda.
- Carril compartido de giro a la derecha y giro a la izquierda.
- Carril compartido de movimiento de frente y giro a la derecha.
- Carril compartido de giro a la derecha, movimiento de frente y giro a la izquierda.

La metodología se puede aplicar a cualquiera de las combinaciones lógicas de estos grupos de carriles. La siguiente tabla muestra los grupos de movimientos y grupos de carriles más frecuentemente utilizados para el análisis.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:

Figura 2. Grupos de carriles comunes para el análisis.

## 2. Determinación de la intensidad por grupo de movimientos

En esta parte, se determina la intensidad para cada grupo de movimientos. Si el movimiento de giro es atendido por uno o más carriles exclusivos o no compartidos, entonces las intensidades de los movimientos son designadas 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 una dirección real, el número de giros a la derecha en rojo debe ser definido mediante observación en campo.

### **3. Determinación de la intensidad de grupo de carriles**

En esta parte se obtiene la intensidad por grupo de carriles. Si no existen carriles compartidos en la intersección o la misma solo posee un carril, hay una correspondencia exacta entre el grupo de carriles y el grupo de movimientos, por lo que la intensidad de los grupos de carriles va a ser igual a la intensidad de los grupos de movimientos.

Si existe uno o más carriles compartidos en la actuación y dos o más carriles, entonces la intensidad por grupo de carriles está basada en el deseo que asumen los conductores al preferir el carril que disminuya su tiempo de servicio en la intersección, donde la intensidad de saturación se utiliza para valorar las diferencias relativas en ese momento en los distintos carriles.

### **4. Determinar el ajuste de la intensidad de saturación**

El ajuste de la intensidad de saturación para cada carril de cada grupo de carril se calcula basado en la siguiente ecuación. Esta intensidad está afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base ( $S_0$ ) con condiciones específicas que se presentan en la intersección. La ecuación que se presenta a continuación se usa para carriles exclusivos con modo protegido sin interacción de peatones ni ciclistas.

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



Donde:

$S_0$  = 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 de acceso

$f_p$  = Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento

$f_{bb}$  = Factor de ajuste por efecto 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 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

### Intensidad de saturación base ( $S_0$ )

Esta representa el promedio de intensidad para un tráfico con unas condiciones estimadas de 1 para cada valor de ajuste, con lo que su valor es igual a 1900 vehículos por hora por carril.

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

El factor por ancho de carril toma en cuenta el impacto que podrían ejercer los carriles estrechos en la intensidad de saturación, así como también el aumento de intensidad producido por carriles anchos. El ancho estándar es de 3,65 metros. Si se presenta que el carril es superior a los 4,8 metros de ancho, se debe analizar tomando en cuenta dos

carriles estrechos. La utilización de dos carriles va a conllevar siempre una intensidad de saturación mayor que si fuera un solo carril, pero en ninguno de los casos se ha de calcular este factor para anchuras inferiores a 2,4 metros. A continuación, en la próxima tabla se muestran los valores de estos factores.

Promedio ancho carril ( <i>m</i> )	Factor de ajuste ( <i>f<sub>w</sub></i> )
<3,0	0,96
≥ 3,0-3,92	1,00
>3,92	1,04

**Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril.**

Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular (*f<sub>HV</sub>*)

El factor de ajuste por vehículos pesados toma en cuenta el espacio extra que ocupan estos vehículos y sus distintas paradas en relación con los vehículos ligeros.

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

Donde:

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

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



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 movimiento correspondiente (%). Este factor mantiene un rango entre: -6% - 10%.

Factor de ajuste por existencia de estacionamiento ( $f_p$ )

Este factor toma en cuenta el efecto de fricción que el carril de estacionamiento practica sobre el grupo de carriles en conjunto, así como también la obstrucción ocasional de estos carriles por los vehículos que entran y salen de los estacionamientos. Si no existe aparcamiento, el factor será igual a 1, si hay, se debe tomar en cuenta que las maniobras duran un promedio de 18 segundos, y deberá ser evaluado con la ecuación que se presenta a continuación:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad [5]$$

Donde:

$N_m$  = Maniobras por hora

$N$  = Número de carriles por grupo de carril



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

Este factor toma en cuenta el impacto causado por los autobuses de circulación local al montar y desmontar pasajeros en zonas anteriores y posteriores a la intersección, en una distancia comprendida entre 76 metros y la línea de parada. Los valores de este factor de muestran a partir de la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad [6]$$

Donde:

$N$  = Número de carriles en un grupo de carriles

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

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

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

Este factor toma en cuenta la ineficiencia de las intersecciones cuando se encuentran en zonas comerciales, comparándolas con aquellas zonas localizadas en otros lugares, y se debe fundamentalmente a la dificultad y congestión general en el entorno en las zonas comerciales. Cuando esto sucede el factor toma un valor de 0,90.

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

Este factor se utiliza para valorar la intensidad de saturación para un grupo de carriles que tienen más de un carril exclusivo. Si el grupo de carriles posee un carril compartido o un carril exclusivo, entonces este factor es 1.

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

Este factor trata de reflejar el efecto de la geometría. El valor se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

$E_L$  = Equivalente de vehículos que giran a la izquierda en modo protegido = 1,05

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

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

Este factor trata de reflejar el efecto de la geometría. El valor se calcula con la siguiente ecuación:

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



Donde:

$E_R$  = Equivalente de vehículos que giran a la derecha en modo protegido = 1,18

Para carril compartido o único este valor será 0,95 y para doble carril 0,92. Para una calle en intersección en T se utiliza un valor de 0,85 para un carril y 0,75 para dos carriles.

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

El método utilizado para determinar estos factores se basa en cuatro pasos; primero se determina el promedio de ocupación de los peatones y los ciclistas, luego se determina de la ocupación de la zona relevante en conflicto, que se tiene en cuenta tanto para los peatones como para los ciclistas y, por último, determinar el factor de ajuste. Las cantidades determinadas para la zona relevante en conflicto también se tienen en cuenta si existe otro tráfico en conflicto. La proporción del tiempo de verde para la zona relevante determinada en función de la ocupación y número de carriles que existen.

#### 1. Determinación de la ocupación promedio de peatones.

Para esto se necesita conocer el flujo de peatones durante el tiempo de servicio de estos ( $V_{pedg}$ ), el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{pedg} = V_{ped} \cdot \left( \frac{C}{g_{pedg}} \right) \leq 5000 \quad [9]$$



Donde:

$V_{pedg}$  = 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)

$g_{ped}$  = Tiempo de servicio de peatones (seg)

Si el flujo de los peatones es igual a 1000 p/h durante el tiempo de servicio, la ocupación de peatones es calculada mediante la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = \frac{V_{pedg}}{2000} \quad [10]$$

Dónde  $OCC_{pedg}$  es la ocupación de peatones. Del mismo modo, si excede de 1000 p/h, entonces se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = 0,4 + \frac{V_{pedg}}{1000} \leq 0,90 \quad [11]$$

## 2. Determinación de la ocupación promedio de ciclistas:

En esta parte se procede de la misma forma que para la determinación de la ocupación promedio de peatones. El flujo de ciclistas durante la fase de verde se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{bicg} = V_{bic} \frac{c}{g} \leq 1,900 \quad [12]$$

Donde:

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

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

$c$  = Ciclo (seg)

$g$  = Tiempo efectivo de verde (seg)

Ya obtenido el flujo de ciclistas/hora, se calcula el promedio de ocupación de ciclistas mediante la siguiente ecuación:

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

Donde  $OCC_{bicg}$  es la ocupación de ciclistas.

### 3. Determinación de las zonas de conflicto ocupacional relevantes

La ecuación 14 y 15, definen la zona de conflicto de la zona de ocupación empleado para los movimientos de giros a la derecha sin interferencia de ciclistas o para movimientos de giro a la izquierda para una calle de un sentido  $OCC_T$ . La ecuación 14 se basa en dos factores. A) El cruce de peatones se realiza durante el tiempo asociado con la  $g_{ped}$  y B) el no cruzar sucede durante el periodo de fase en verde  $g_{ped}$  cuando existe este periodo de tiempo.

$$OCC_r = \frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \quad [14]$$

Donde  $OCC_r$ , es la zona de conflicto ocupacional relevante.

Por otra parte, la ecuación 15 se usa para movimientos de giro a la derecha incluyendo el movimiento de peatones y ciclistas, con todas las variables previamente ya definidas en los apartados anteriores.

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

#### 4. Determinación del factor de ajuste

Para determinar este factor ( $f_{Rpb} - f_{Lpb}$ ), tanto para el movimiento de giro a la derecha como giro a la izquierda, se ha de determinar previamente los factores de ajuste para movimientos de giro en la fase permitida de peatones y ciclistas ( $A_{pbT}$ ).

El número de carriles de cruce ( $N_{turn}$ ) y de carriles receptores ( $N_{rec}$ ), será determinado mediante observaciones en campo, debido a que algunos vehículos pueden realizar giros ilegales desde un carril exterior o ya que los movimientos de giro apropiados se encuentran obstruidos por el estacionamiento de vehículos en doble fila. Por esta razón se consideran dos condiciones:

- Cuando 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; el factor de ajuste entonces es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada como se aprecia en la ecuación 16.

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

- Cuando el número de carriles receptores excede el número de carriles de giro, los vehículos que giran podrán maniobrar para evitar peatones y ciclistas, disminuyendo los efectos de la intensidad de saturación de peatones y ciclistas. En este caso se calcula con la ecuación 17.

$$A_{pbT} = 1 - 0.6 \cdot occ_r \quad [17]$$

Ya determinados estos factores de ajuste, los factores de ajuste de intensidad de saturación toman en consideración los efectos de peatones y ciclistas en la intensidad de saturación de vehículos que giran, y dependen de la magnitud de tráfico de giro que utilizan fases protegidas. Para las operaciones de giro a la derecha que son permitidos en un carril exclusivo, la ecuación 18 calcula el factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas.

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

Para las operaciones protegidas y permitidas en carril exclusivo, el factor de la ecuación 18 se utiliza para el cálculo del ajuste de intensidad de saturación durante el periodo permitido. El factor tiene un valor de 1,0 cuando es usado para el cálculo del ajuste de intensidad de saturación durante el periodo protegido.

Por último, para las operaciones de giro a la izquierda en calles de un solo carril, la ecuación 19 es usada para el cálculo del factor de ajuste por movimientos a la izquierda de los peatones.

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

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

La duración de fase del semáforo va a depender del tipo de control que se utiliza en la intersección. Si en la intersección hay control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se salta. Si la duración de fase es desconocida, entonces el método para valorar la duración de la se prefijada se calcula en base a la ecuación 20 que se muestra más adelante.

De igual forma, si la intersección tiene un control actuado, entonces se seguirá el mismo método para valorar la duración promedio de una fase actuada. En este método se diferencia entre tipos de fase actuada, coordinada y no coordinada.

Esto es conveniente al momento de determinar los diferentes términos que definen la duración de fase. Algunos términos son específicos para las operaciones actuadas, a pesar de ello la mayoría de las construcciones son también aplicables a operaciones prefijadas.

La duración de una fase actuada está formada por cinco periodos de tiempo. El primer periodo representa el tiempo perdido mientras la cola reacciona a la indicación de cambio de fase a verde. El segundo representa el tiempo requerido para despejar la cola de vehículos. El tercero representa que el tiempo de verde es extendido aleatoriamente a la llegada de los vehículos. Esto concluye cuando existe un hueco en el tráfico o el verde se extiende hasta un límite máximo. El cuarto periodo representa el intervalo de cambio a ámbar, y el quinto periodo representa el intervalo de holgura de rojo. La duración de una fase actuada se define por la ecuación 20.

$$D_p = 1_1 + g_s + g_e + Y + R_c \quad [20]$$



Donde:

$D_p$  = Duración de fase (seg)

$l_1$  = Tiempo perdido de puesta en marcha = 20 seg

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

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

$Y$  = Intervalo de cambio a ámbar (seg)

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

#### *6. Determinación de la capacidad y la proporción volumen-capacidad*

La capacidad de una intersección está fundamentada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles. La capacidad está dada para los grupos de carriles de un movimiento de tráfico y está determinada por la ecuación 21.

$$c = N \cdot s \cdot g/C \quad [21]$$

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 del grupo de carriles



Por otra parte, la proporción volumen-capacidad ( $v/c$ ) para un grupo de carriles está definida como la proporción del volumen del grupo de carriles y su capacidad. Se calcula usando la ecuación 22.

$$X = v/c \quad [22]$$

Donde:

$X$  = Proporción volumen-capacidad

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

$c$  = Capacidad (veh/h)

### 7. Determinación de la demora

La demora es una medida compleja y depende de distintos valores entre los que están: la calidad de progresión, la duración del ciclo, la relación de verde y la relación intensidad-capacidad para el grupo de carriles en cuestión.

Para determinar la misma, se debe tener en consideración tres conceptos: demora uniforme ( $d_1$ ) demora incremental ( $d_2$ ) y demora por la cola inicial ( $d_3$ ). Con esto se consigue lo siguiente:

$$d = d_1 \text{ (PF)} + d_2 + d_3 \quad [23]$$



Donde:

$d$  = Demora de control (s/veh)

$d_1$  = Demora uniforme (s/veh)

$PF$  = Factor de ajuste de progresión que considera los efectos de la progresión de la señal sobre la demora

$d_2$  = Demora incremental (s/veh)

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

El cálculo de la demora uniforme ( $d_1$ ) se hace asumiendo llegadas uniformemente repartidas a lo largo del tiempo del ciclo. Si la intersección está en capacidad, la demora media será igual a la mitad del tiempo de rojo.

Si las llegadas se dan solamente en el tiempo de verde, la demora será nula. Este es el efecto que intenta tomar el factor de progresión, cuya influencia resulta superior al de todos los otros juntos para el término de demora uniforme.

Si la progresión es buena, una gran parte de los vehículos llega a la intersección en verde y la demora uniforme tendrá poco efecto sobre la demora total, mientras que una mala progresión hace que una gran proporción de vehículos lleguen en rojo y, en consecuencia, la demora uniforme es importante.

El factor de ajuste de progresión PF es seleccionado mediante la siguiente tabla:

Tipo de llegada	El factor de ajuste de progresión PF como una función de la proporción de verde					
	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*	0,92	0,86	0,78	0,67	0,50	0,22

**Tabla 3. Factor de ajuste de progresión PF**

Los valores por defecto sugeridos en el HCM 2010 para determinar el tipo de llegada (para luego calcular el factor de progresión) están fundamentados en el espaciamiento entre semáforos y en argumentos generales que pueden no ser correctamente interpretadas 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 estima debido a las llegadas no uniformes y a fallos temporales de ciclo, así como las ocasionadas por periodos de sobresaturación. Esto es sensible a la relación  $v/c$  del grupo de carriles ( $X$ ), la duración del periodo de análisis

( $T$ ) y la capacidad del grupo de vías ( $c$ ). La ecuación 25 asume que no existe demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del periodo de análisis ( $T$ ).

Por último, el termino de demora incremental es permitido para todos los valores de  $X$ , incluyendo sobresaturaciones altas en los grupos de carriles.

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

Donde:

$d_2$  = Demora incremental (s/veh)

$T$  = Duración del ciclo (h)

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

$c$  = Capacidad (veh/h)

Finalmente, 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 consiguiente, esta demora debe agregarse en caso de existencia de cola inicial. En el caso opuesto, la demora por cola inicial es igual a 0.

A continuación, se presenta una evaluación de la demora por cola inicial por vehículo (en segundos) cuando se muestra una cola inicial de tamaño  $Q_b$  al inicio del periodo de análisis  $T$ .

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

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 (h)

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

$u$  = Parámetro de demora

#### *8. Determinación de los niveles de servicio*

Para determinar el nivel de servicio de cada grupo de carriles, se utiliza la tabla 1, evaluándose cada planteamiento y cada intersección como un 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.

## 5. Caracterización de la intersección semaforizada

### 5.1 Características de la intersección

#### 5.1.1 Caracterización del tramo

El tramo en estudio está localizado en la Ciudad de Santo Domingo Este, República Dominicana. Se encuentra entre los sectores: Reparto de Alma Rosa, Mi Hogar, Altos de Cancino y Los Mina, específicamente donde se intersectan la Carretera Mella y la Avenida San Vicente de Paul.

Como podemos observar en la figura, el tramo es una intersección tipo cruz controlada por semáforos, cuenta con carriles exclusivos de giro a la derecha y aparte se efectúan movimientos directos y giros a la izquierda. Tiene un flujo elevado tanto de vehículos como peatones, así como también un gran número de vendedores ambulantes que caminan sobre la calzada.



**Figura 3. Intersección semaforizada en estudio.**



La intersección de la carretera Mella con la Avenida San Vicente de Paul es un punto de gran importancia para el desarrollo vial de la ciudad de Santo Domingo, se encuentra ubicada próximo a zonas residenciales, centros bancarios, talleres de mecánica, discotecas y centros comerciales, cabe destacar que uno de estos es el más grande del municipio, Mega Centro.

Por este tramo circulan la mayor parte de los usuarios que se desplazan desde sus hogares en Santo Domingo Este hacia el centro de la ciudad y viceversa.

### **5.1.2 Caracterización del transporte urbano**

Para el total conocimiento del transporte urbano que se maneja sobre las intersecciones de una ciudad en específico, se debe obtener información de cómo está estructurado el mismo y los movimientos que se producen en los centros atractores y receptores. Como mencionamos anteriormente la intersección en estudio se encuentra próxima a Mega Centro, esto causa un gran flujo de tráfico en las horas punta ya que los que se dirigen al centro comercial la utilizan.

A parte de lo mencionado anteriormente existen más problemas; en la ciudad de Santo Domingo existen rutas controladas por sindicatos de choferes con flotillas para el transporte de pasajeros, así como también por choferes independientes o “piratas”. Este transporte se efectúa en autobuses, minibuses, microbuses, carros públicos y motos.

Los autobuses, minibuses y microbuses también llamados “guaguas” son vehículos cuya capacidad varía según el tipo y tamaño.



Los carros públicos o popularmente llamados “carros de concho” son automóviles de cuatro puertas, utilizados para el transporte de pasajeros. Estos transportan a 7 personas como máximo, dos en la parte de adelante más el chofer y cuatro en la parte de atrás, en condiciones no confortables.



Las motos o llamadas también “moto conchos”, son las motocicletas supuestas a movilizar a dos personas, y a veces hasta tres.

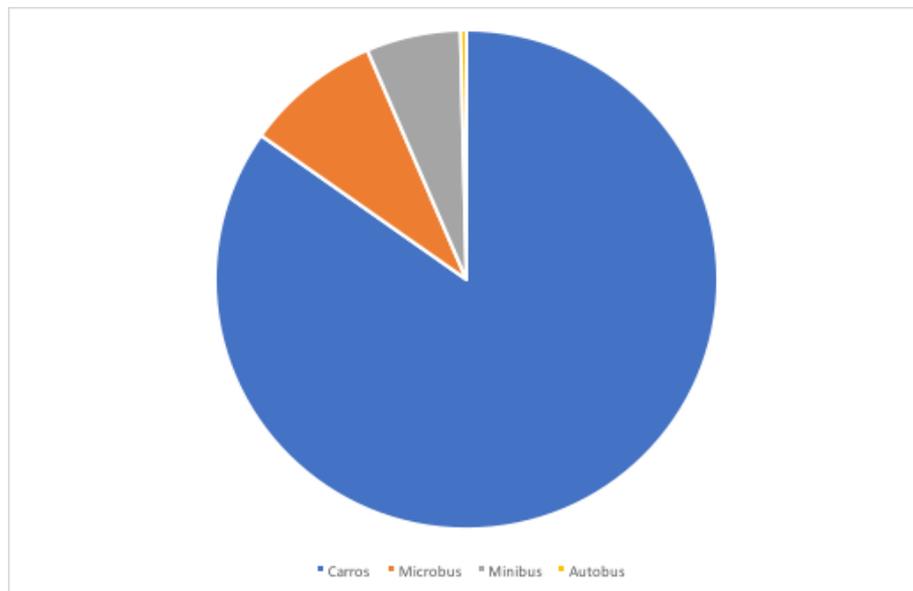


A parte de estos vehículos, el transporte urbano en la ciudad de Santo Domingo, cuenta con un metro; pero a diferencia de los demás, este tipo de transporte se encuentra muy limitado debido al poco alcance geográfico que tiene.



En la actualidad, en la ciudad de Santo Domingo, se estiman unos 3.5 millones de personas por día, movilizándose en toda la zona metropolitana, siendo gran parte de estas residentes en Santo Domingo Este. De esta cantidad, 2.5 millones se movilizan a través del transporte público urbano y alrededor de un millón en vehículos privados.

En la siguiente grafica se muestran la cantidad de vehículos destinados al transporte público según su tipo (motor, carro, autobús, etc.)



**Grafica 1. Cantidad de vehículos destinados al transporte publico según su tipo.**

Como mencionamos anteriormente, la intersección en estudio se encuentra localizada en una zona comercial y residencial, esto implica un gran volumen de tráfico en las horas punta, ya que utilizan esta intersección para desplazarse de un lugar a otro, tanto dentro como fuera de Santo Domingo Este.

De los diferentes tipos de transporte público que se utilizan en la ciudad de Santo Domingo, todos menos el metro, circulan por esta intersección.

Las rutas que frecuentan esta intersección son: 69, 16, 11,20, ruta Caribe Tours, 31 y 55; todas estas incrementan significativamente el volumen de tráfico en la zona, aparte de esto el mal comportamiento y el irrespeto a las leyes de tránsito por parte de los choferes públicos producen un caos tanto para los vehículos privados como para el peatón que transita por la vía.

### 5.1.3 Caracterización de la intersección semaforizada

Para un mejor análisis, la intersección será dividida en accesos. En cada uno de estos se identifican diferentes grupos de movimientos y carriles, los mismos se analizarán individualmente.

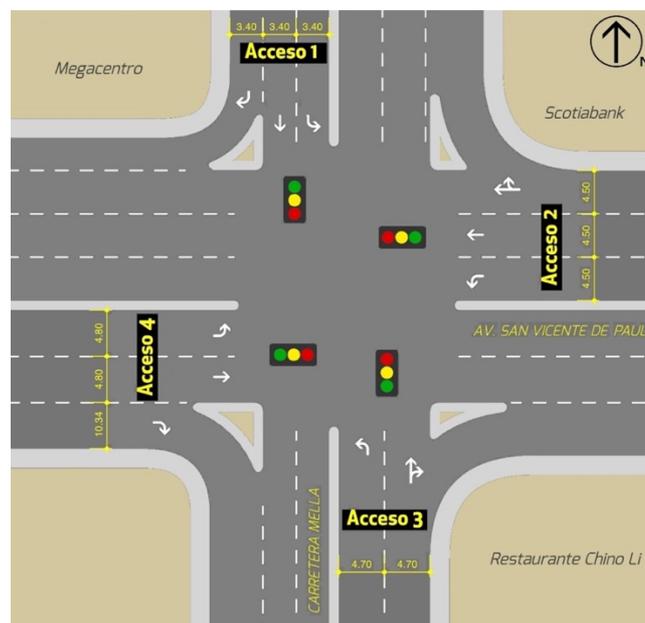


Figura 4. Accesos de la intersección en estudio.

Como podemos ver en la figura 4, los accesos presentan los mismos tipos de movimientos: giro a la derecha, movimiento directo, giro a la izquierda.

### Descripción física de la intersección

#### Accesos de la intersección

##### Acceso 1

El acceso 1 se encuentra localizado en la Carretera mella, cuenta con 3 carriles cada uno con 3.4 m de ancho. Cada carril cuenta con diferentes movimientos: giro a la derecha (en sentido norte-oeste), directo (en sentido norte-sur) y giro a la izquierda (en sentido norte-este).



Figura 5. Acceso 1.

## Acceso 2

El acceso 2 se encuentra localizado en la Avenida San Vicente de Paul, cuenta con 3 carriles cada uno con 4.5 m de ancho. Cada carril cuenta con diferentes movimientos: giro a la derecha (en sentido este-norte), directo (en sentido este-oeste) y giro a la izquierda (en sentido este-sur).

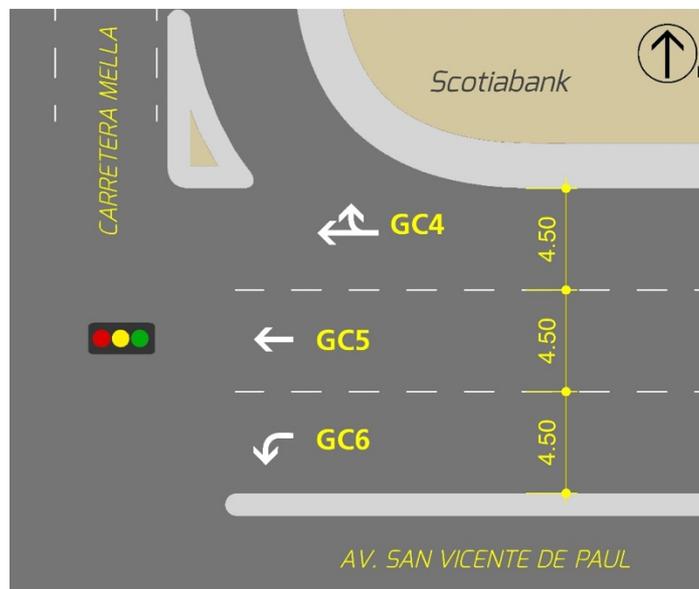


Figura 6. Acceso 2.

### Acceso 3

El acceso 3 se encuentra localizado en la Carretera mella, cuenta con 2 carriles cada uno con 4.7 m de ancho. Cada carril cuenta con diferentes movimientos: giro a la derecha (en sentido sur-este), directo (en sentido sur-norte) y giro a la izquierda (en sentido sur-oeste).

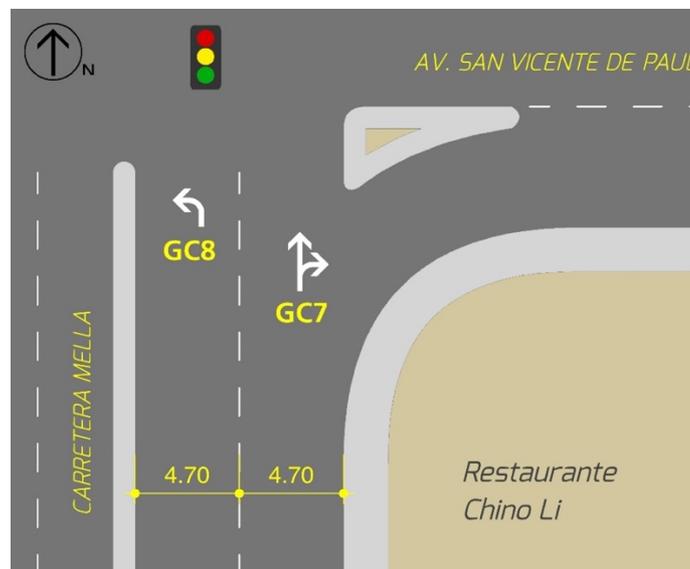


Figura 7. Acceso 3.

### Acceso 4

El acceso 4 se encuentra localizado en la Avenida San Vicente de Paul, cuenta con 3 carriles dos de estos con un ancho de 4.8 m y el otro con un ancho de 10.34 m. Cada carril cuenta con diferentes movimientos: giro a la derecha (en sentido oeste-sur), directo (en sentido oeste-este) y giro a la izquierda (en sentido oeste-norte).

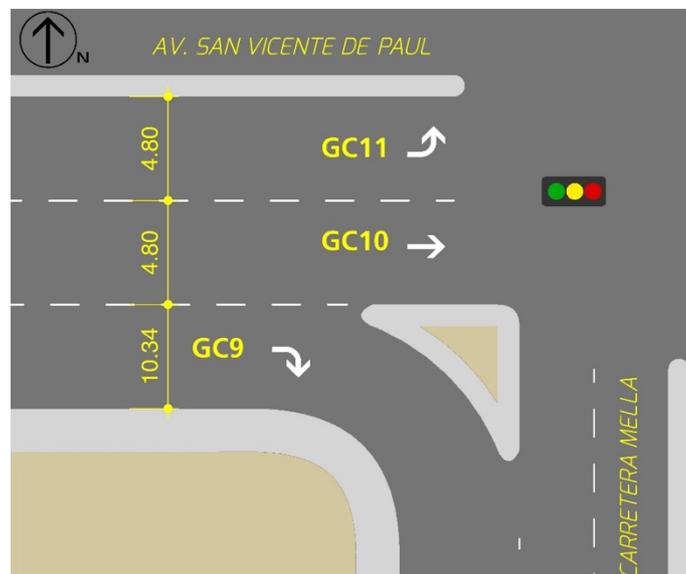


Figura 8. Acceso 4.

## 5.2 Toma de información

En los estudios de tráfico la toma de información es de suma importancia para el análisis; con estos datos de la situación actual se podrán proponer y ejecutar soluciones en base a los resultados obtenidos y así darle una solución efectiva al problema.

Para este estudio se han obtenido datos sobre los vehículos que transitan en la intersección, estos fueron sacados de aforos realizados en diferentes horas del día, con ayuda de un personal en las zonas que se muestran a continuación.

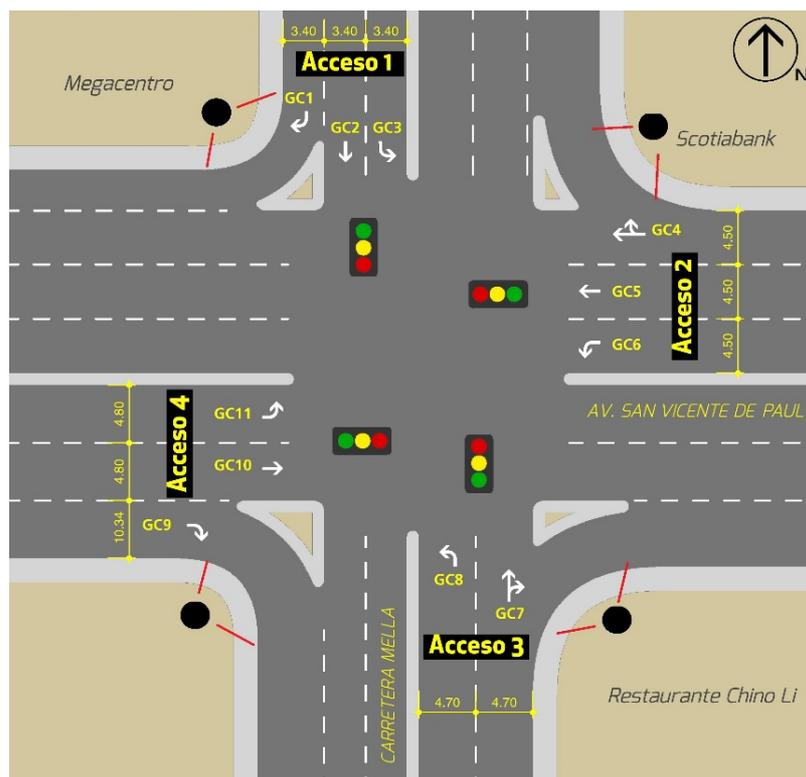


Figura 9. Ubicación de los aforos.



### 5.2.1 Volúmenes vehiculares

Los datos obtenidos de los volúmenes vehiculares son sacados con la finalidad de realizar un análisis de la capacidad y el nivel de servicio de la intersección hoy en día. Con los aforos se consigue:

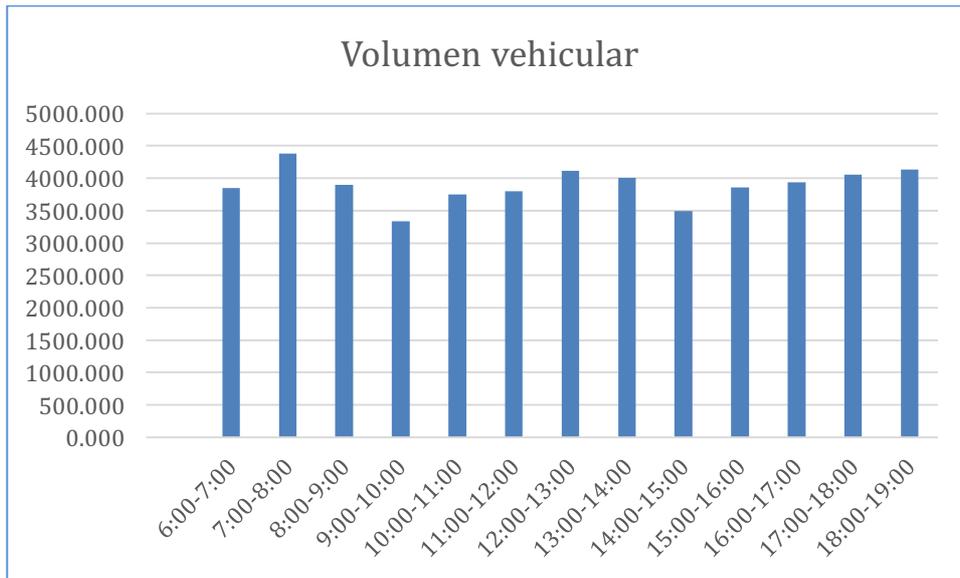
- Uso de los carriles.
- Clasificación de los vehículos.
- Tipos de movimientos en las intersecciones.

Los aforos fueron realizados durante días de semana: martes, miércoles y jueves respectivamente. Los demás días fueron descartados ya que el comportamiento es variable.

En la tabla 4 se muestran los volúmenes resultantes del estudio, así como también una gráfica de los mismos.

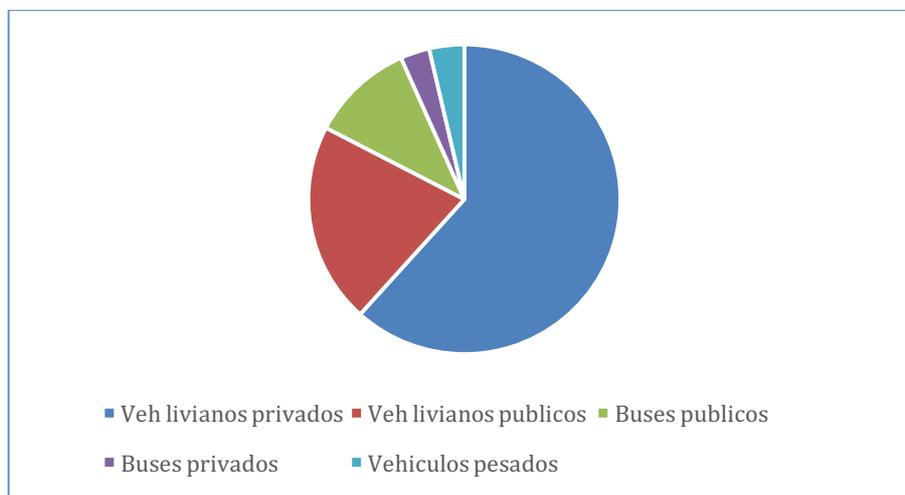
<b>Hora</b>	<b>Volumen vehicular</b>
<b>6:00-7:00</b>	3.850
<b>7:00-8:00</b>	4.377
<b>8:00-9:00</b>	3.899
<b>9:00-10:00</b>	3.331
<b>10:00-11:00</b>	3.747
<b>11:00-12:00</b>	3.803
<b>12:00-13:00</b>	4.111
<b>13:00-14:00</b>	4.009
<b>14:00-15:00</b>	3.494
<b>15:00-16:00</b>	3.856
<b>16:00-17:00</b>	3.942
<b>17:00-18:00</b>	4.057
<b>18:00-19:00</b>	4.132

**Tabla 4. Volúmenes vehiculares a lo largo del día en la intersección.**



**Grafica 2. Volúmenes vehiculares en la intersección.**

### 5.2.2 Composición vehicular



**Grafica 3. Composición vehicular**



Como se puede observar en la gráfica anterior, obtenida de los aforos realizados insitu, el volumen de vehículos pesados es menor que el de vehículos ligeros debido a que esta es una intersección urbana.

### 5.3 Problemática

Esta intersección presenta una gran problemática a unas horas muy exactas en los principales días de labor en la semana, la de mayor volumen es la hora punta y es la comprendida entre: 7-8 horas. Como observamos en la gráfica 2, el flujo de los vehículos es mayor que en las otras horas, lo que produce congestión en la intersección.

Sin conocer el nivel de servicio de los diferentes grupos de carriles, con los datos obtenidos, se puede apreciar que la intersección presenta problemas de atasco lo cual disminuye significativamente su capacidad.

Otro problema que surge en la intersección es debido a la carga y descarga de pasajeros sin paradas determinadas, las mismas efectuadas por las diferentes rutas de transporte que circulan por la intersección.

En los siguientes capítulos se detallarán más los problemas de cada uno de los grupos de carriles, calculándole sus niveles de servicio y se procurara resolver el problema con distintas alternativas, seleccionando al final la más conveniente para disminuir la congestión y liberar el flujo vehicular.



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

En esta sección se determinará la capacidad y nivel de servicio de la intersección, estos se calcularán con la metodología descrita en capítulos anteriores.

Para el análisis operacional se necesitan unos parámetros de entrada con el fin de poder hacer cada uno de los pasos de la metodología. Estos serán descritos a continuación:

Condiciones geométricas:

- Número de carriles
- Ancho de carril

Condiciones de tráfico:

- Volumen (*veh/h*)
- FHP
- Paradas de autobuses (*buses/h*)
- Numero de aparcamientos (*maniobras/h*)



Condiciones de señalización:

- Volumen de peatones ( $V_{ped}/h$ )
- Volumen de ciclistas ( $V_{bic}/h$ )
- Tiempo de ciclo (*seg*)
- Tiempo efectivo de verde (*seg*)
- Tiempo mínimo de peatones (*seg*)

Estos parámetros de entrada se sacan en las horas punta descritas en capítulos anteriores, en nuestro caso de 7-8, ya que es la hora que presenta mayor flujo de vehículos.

A continuación, se presentan los parámetros requeridos para el análisis operacional de la intersección en estudio:

- Condiciones geométricas (Grupos de carriles)
  - Grupo 1: Ubicado en la carretera Mella con un ancho de 3,4 m.
  - Grupo 2: Ubicado en la carretera Mella con un ancho de 3,4 m.
  - Grupo 3: Ubicado en la carretera Mella con un ancho de 3,4 m.
  - Grupo 4: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 4,5 m.
  - Grupo 5: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 4,5 m.
  - Grupo 6: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 4,5m.
  - Grupo 7: Ubicado en la carretera Mella con un ancho de 4,7 m.
  - Grupo 8: Ubicado en la carretera Mella con un ancho de 4,7 m.
  - Grupo 9: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 10,34m.
  - Grupo 10: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 4,8 m.
  - Grupo 11: Ubicado en la avenida San Vicente de Paul con un ancho de 4,8 m.



- Condiciones de tráfico:

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

- Grupo 1: 215 (*veh/h*), de este el 2 % son vehículos pesados.
- Grupo 2: 255 (*veh/h*), de este el 3,2% son vehículos pesados.
- Grupo 3: 280 (*veh/h*), de este el 1,8% son vehículos pesados.
- Grupo 4: 176 (*veh/h*), de este el 6% son vehículos pesados.
- Grupo 5: 553 (*veh/h*), de este el 2,7% son vehículos pesados.
- Grupo 6: 389 (*veh/h*), de este el 5,4% son vehículos pesados.
- Grupo 7: 213 (*veh/h*), de este el 4% son vehículos pesados.
- Grupo 8: 189 (*veh/h*), de este el 2,9% son vehículos pesados.
- Grupo 9: 211 (*veh/h*), de este el 5,9% son vehículos pesados.
- Grupo 10: 601 (*veh/h*), de este el 2,6% son vehículos pesados.
- Grupo 11: 394 (*veh/h*), de este el 5,9% son vehículos pesados.

### Determinación de los grupos de movimientos y grupos de carriles

Para determinar los grupos de movimientos y grupos de carriles nos apoyamos en las reglas dispuestas en los capítulos anteriores. Cada acceso de la intersección tiene una serie de grupos de movimientos y de carriles, los mismos serán identificados según el hábito de los conductores al conducir en cada carril.

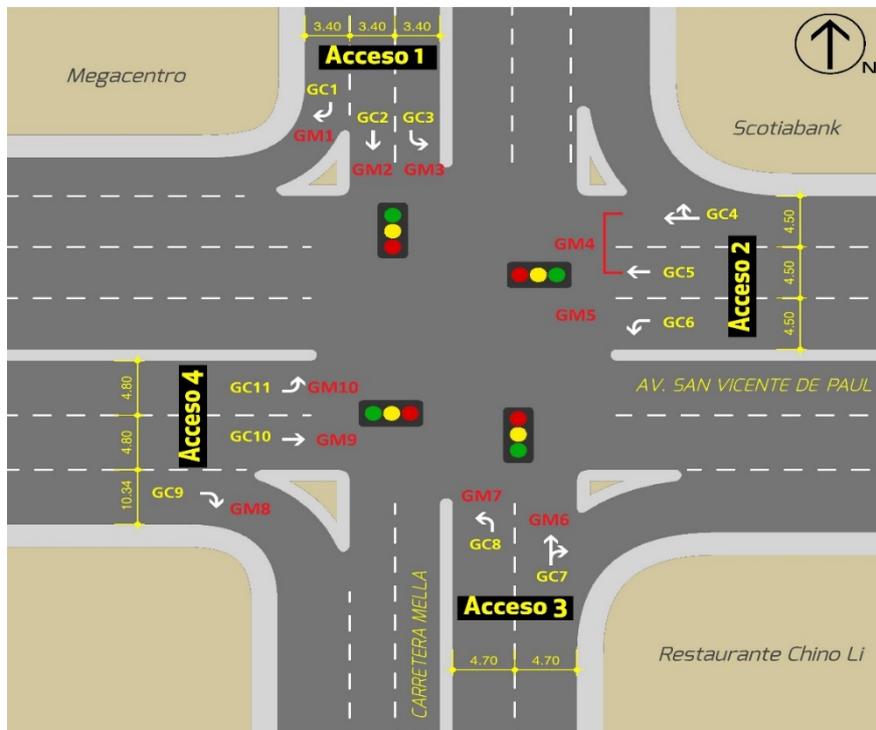


Figura 10. Grupos de movimientos y carriles de la intersección en estudio.



### ***Determinación de la intensidad por grupo de movimientos***

Ya determinados los grupos de movimientos, se establecerá para cada uno una intensidad de vehículos por hora. Como se ha explicado en los primeros capítulos, nos centraremos en las horas punta, en la que la intersección se ve congestionada. En nuestro caso ocurre de 7-8 hrs.

- Grupo 1: 215 (*veh/h*), de este el 2 % son vehículos pesados.
- Grupo 2: 255 (*veh/h*), de este el 3,2% son vehículos pesados.
- Grupo 3: 280 (*veh/h*), de este el 1,8% son vehículos pesados.
- Grupo 4: 729 (*veh/h*), de este el 8,7% son vehículos pesados.
- Grupo 5: 389 (*veh/h*), de este el 5,4% son vehículos pesados.
- Grupo 6: 213 (*veh/h*), de este el 4% son vehículos pesados.
- Grupo 7: 189 (*veh/h*), de este el 2,9% son vehículos pesados.
- Grupo 8: 211 (*veh/h*), de este el 5,9% son vehículos pesados.
- Grupo 9: 601 (*veh/h*), de este el 2,6% son vehículos pesados.
- Grupo 10: 394 (*veh/h*), de este el 5,9% son vehículos pesados.

### **Determinación de la intensidad por grupo de carriles**

Ya establecidas las intensidades de los grupos de movimientos, definimos la intensidad de los grupos de carriles.

- Grupo 1: 215 (veh/h), de este el 2 % son vehículos pesados.
- Grupo 2: 255 (veh/h), de este el 3,2% son vehículos pesados.
- Grupo 3: 280 (veh/h), de este el 1,8% son vehículos pesados.
- Grupo 4: 176 (veh/h), de este el 6% son vehículos pesados.
- Grupo 5: 553 (veh/h), de este el 2,7% son vehículos pesados.
- Grupo 6: 389 (veh/h), de este el 5,4% son vehículos pesados.
- Grupo 7: 213 (veh/h), de este el 4% son vehículos pesados.
- Grupo 8: 189 (veh/h), de este el 2,9% son vehículos pesados.
- Grupo 9: 211 (veh/h), de este el 5,9% son vehículos pesados.
- Grupo 10: 601 (veh/h), de este el 2,6% son vehículos pesados.
- Grupo 11: 394 (veh/h), de este el 5,9% son vehículos pesados.

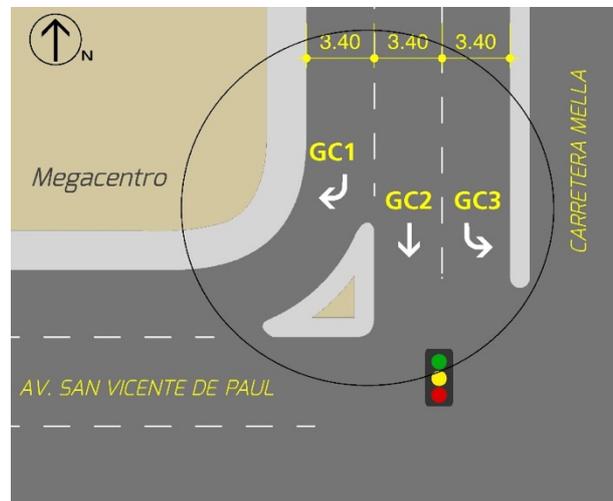
### **Determinación del ajuste de la intensidad de saturación**

Para calcular la intensidad de saturación, nos basamos en la siguiente ecuación (HCM 2010). La intensidad de saturación se ve afectada por diferentes factores que se ajustan a la intensidad de saturación base ( $S_0$ ) que se considera con un valor de 1.900 (veh/h/carril)

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

Por consiguiente, cada grupo de carril de cada acceso tendrá una intensidad de saturación. Se calcularon los diferentes factores que afectan, dando como resultado las siguientes intensidades:

- Grupo 1: 1.421 vh/h
- Grupo 2: 1.657 vh/h
- Grupo 3: 1.600 vh/h



**Figura 11. Ámbito de estudio acceso 1.**

- Grupo 4: 1.422 vh/h.
- Grupo 5: 1.732 vh/h.
- Grupo 6: 1.607 vh/h.

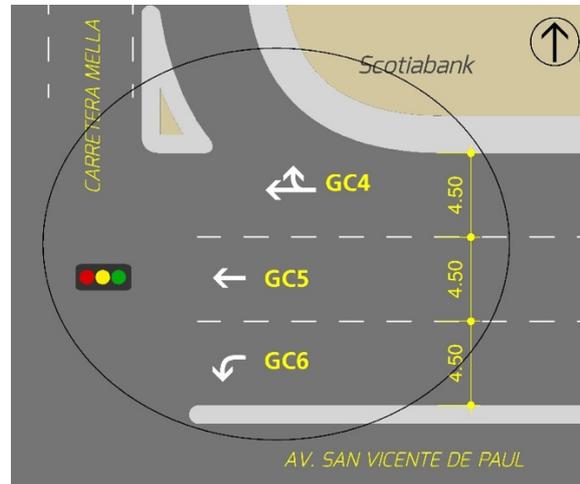


Figura 12. *Ámbito de estudio Acceso 2.*

- Grupo 7: 1.449 vh/h.
- Grupo 8: 1.646 vh/h.

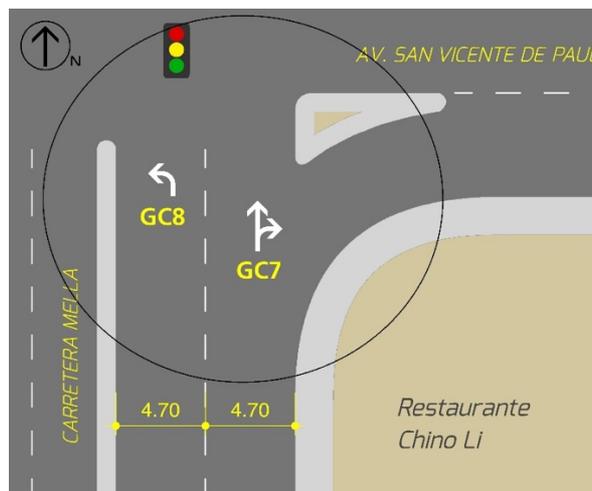


Figura 13. *Ámbito de estudio acceso 3*

- Grupo 9: 1.423 vh/h.
- Grupo 10: 1.733 vh/h.
- Grupo 11: 1.599 vh/h.

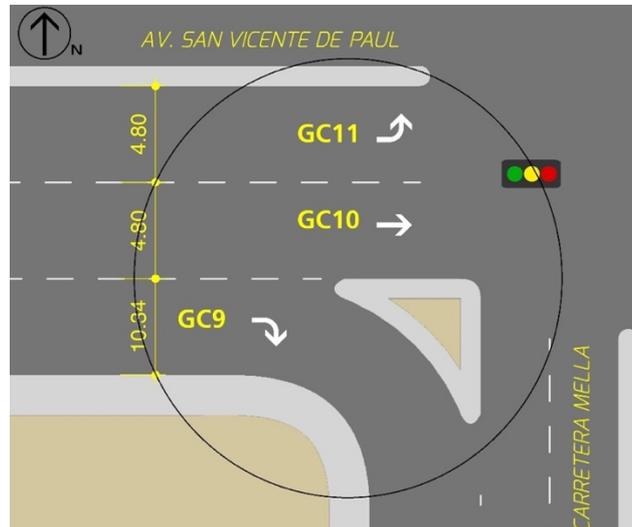


Figura 14. *Ámbito de estudio acceso 4.*

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

Para la determinación de la duración de fase de semáforos se precisa saber qué clase de control es utilizado en la intersección, ya que como anteriormente se mencionó, si la intersección cuenta con un control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se quita, pero si la duración de fase no se conoce, entonces se estima la duración de fase prefijada mediante un procedimiento de cálculo.

En el caso de estudio, la intersección tiene un control prefijado por lo cual este paso se suprime.

**Determinación de la capacidad y la proporción volumen-capacidad (Grupos de carril)**

Como se ha comentado, en las intersecciones la capacidad está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción del verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles. Por medio de la siguiente ecuación se obtiene la capacidad de cada grupo de carriles.

$$c = N \cdot s \cdot g/C$$

1		2		3	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.421	<i>s</i>	1.657	<i>s</i>	1.600
<i>g/C</i>	0,208	<i>g/C</i>	0,208	<i>g/C</i>	0,208
<b>Capacidad</b>	296	<b>Capacidad</b>	345	<b>Capacidad</b>	333

**Tabla 5. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.422	<i>s</i>	1.732	<i>s</i>	1.607
<i>g/C</i>	0,208	<i>g/C</i>	0,208	<i>g/C</i>	0,208
<b>Capacidad</b>	296	<b>Capacidad</b>	361	<b>Capacidad</b>	335

**Tabla 6. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.**

7		8	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.449	<i>s</i>	1.646
<i>g/c</i>	0,208	<i>g/c</i>	0,208
<b>Capacidad</b>	302	<b>Capacidad</b>	343

**Tabla 7. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.**

9		10		11	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.423	<i>s</i>	1.733	<i>s</i>	1.599
<i>g/c</i>	0,208	<i>g/c</i>	0,208	<i>g/c</i>	0,208
<b>Capacidad</b>	296	<b>Capacidad</b>	361	<b>Capacidad</b>	333

**Tabla 8. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

Una vez calculada la capacidad, se procede a calcular la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles. Para este paso utilizamos la siguiente ecuación:

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

	1	2	3
<i>v</i>	215	255	280
<i>c</i>	296	345	333
<b>X</b>	0,73	0,74	0,84

**Tabla 9. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>v</i>	176	<i>v</i>	553	<i>v</i>	389
<i>c</i>	296	<i>c</i>	361	<i>c</i>	335
<i>X</i>	0,59	<i>X</i>	1,53	<i>X</i>	1,16

**Tabla 10. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.**

7		8	
<i>v</i>	213	<i>v</i>	189
<i>c</i>	302	<i>c</i>	343
<i>X</i>	0,71	<i>X</i>	0,55

**Tabla 11. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.**

9		10		11	
<i>v</i>	211	<i>v</i>	601	<i>v</i>	394
<i>c</i>	296	<i>c</i>	361	<i>c</i>	333
<i>X</i>	0,71	<i>X</i>	1,66	<i>X</i>	1,18

**Tabla 12. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

### **Determinación de la demora**

Para obtener la demora debemos de tener en cuenta tres conceptos importantes y que ya vimos con anterioridad: demora uniforme ( $d_1$ ), demora incremental ( $d_2$ ), y demora con cola inicial ( $d_3$ ), además se debe aplicar un factor de ajuste de la progresión a la demanda uniforme. Con todo esto, la demora se calcula con la siguiente ecuación:

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

La demora uniforme ( $d_1$ ), se calcula asumiendo llegadas distribuidas uniformemente a lo largo del tiempo total del ciclo. En base a la duración del ciclo, el tiempo efectivo de verde y la relación volumen-capacidad se obtiene la demanda uniforme.

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

La demanda incremental ( $d_2$ ), se estima debido a las llegadas no uniformes y a fallos temporales de ciclo, así como también las ocasionadas por periodos de sobresaturación. Por esta razón, en base a la saturación del ciclo en horas, la relación volumen-capacidad y la capacidad de cada grupo de carriles se calcula la demora incremental.

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

Finalmente, la demora por cola inicial ( $d_3$ ), representa la demora experimentada por cada vehículo que llega durante el tiempo de análisis. De tal modo que, esta demora debe agregarse en caso de existencia de cola inicial. En el caso en estudio no existe cola inicial, por tanto, esta es igual a 0.

Después del cálculo de la demora uniforme, incremental y por cola inicial, se pasa a determinar la demora por cada uno de los grupos de carriles.

1		2		3	
<b>PF</b>	0,91	<b>PF</b>	0,91	<b>PF</b>	0,91
<b><math>d_1</math></b>	44,31	<b><math>d_1</math></b>	44,44	<b><math>d_1</math></b>	45,58
<b><math>d_2</math></b>	14,45	<b><math>d_2</math></b>	13,25	<b><math>d_2</math></b>	21,78
<b><math>d</math> (s/veh)</b>	54,91	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	53,83	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	63,41

**Tabla 13. Demora de los grupos de carriles del acceso 1**

4		5		6	
<b>PF</b>	0,91	<b>PF</b>	0,91	<b>PF</b>	0,91
<b><math>d_1</math></b>	42,92	<b><math>d_1</math></b>	47,50	<b><math>d_1</math></b>	47,50
<b><math>d_2</math></b>	8,50	<b><math>d_2</math></b>	253,38	<b><math>d_2</math></b>	100,78
<b><math>d</math> (s/veh)</b>	47,69	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	296,75	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	144,15

**Tabla 14. Demora de los grupos de carriles del acceso 2.**

7		8	
<b>PF</b>	0,91	<b>PF</b>	0,91
<b><math>d_1</math></b>	44,08	<b><math>d_1</math></b>	42,48
<b><math>d_2</math></b>	13,01	<b><math>d_2</math></b>	6,25
<b><math>d</math> (s/veh)</b>	53,26	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	45,05

Tabla 15. Demora de los grupos de carriles del acceso 3.

9		10		11	
<b>PF</b>	0.91	<b>PF</b>	0.91	<b>PF</b>	0.91
<b><math>d_1</math></b>	44.15	<b><math>d_1</math></b>	47.50	<b><math>d_1</math></b>	47.50
<b><math>d_2</math></b>	13.57	<b><math>d_2</math></b>	310.94	<b><math>d_2</math></b>	108.59
<b><math>d</math> (s/veh)</b>	53.88	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	354.32	<b><math>d</math> (s/veh)</b>	151.96

Tabla 16. Demora de los grupos de carriles del acceso 4.

### **Determinación del nivel de servicio**

Después de determinar la demora de los grupos de carriles de la intersección, se procede a la obtención del nivel de servicio. Para esto se utiliza la siguiente tabla, la misma en base a la demora nos muestra el nivel de servicio.

<b>Demora (s)</b>	<b>Nivel de servicio</b>
<b><math>\leq 10</math></b>	A
<b><math>&gt; 10 - 20</math></b>	B
<b><math>&gt; 20 - 35</math></b>	C
<b><math>&gt; 35 - 55</math></b>	D
<b><math>&gt; 55 - 80</math></b>	E
<b><math>&gt; 80</math></b>	F

**Tabla 17. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas.**

Grupo de carriles	Nivel de servicio
1	D
2	D
3	E
4	D
5	F
6	F
7	D
8	D
9	D
10	F
11	F

**Tabla 18. Niveles de servicio de los grupos de carriles.**

Después de obtener los resultados en la metodología, se aprecia que el nivel de servicio en cada grupo de carril varía. También podemos observar que los peores son los grupos con movimiento de giro a la izquierda. Esto nos señala unas condiciones de tráfico en la que los vehículos tienen una demora significativa en la hora punta. Las imágenes que se muestran a continuación corroboran lo explicado.



**Figura 15. Acceso de la intersección en estudio.**



**Figura 16. Acceso de la intersección en estudio.**



**Figura 17. Acceso de la intersección en estudio.**



**Figura 18. Acceso de la intersección en estudio.**



**Figura 19. Vista aérea de la intersección semaforizada en estudio.**



A pesar de que varios grupos de carriles no presentan conflicto si lo determinamos mediante su nivel de servicio, en la intersección realmente existe un gran problema de congestión. Este no pudo ser demostrado en su totalidad con los cálculos debido a ciertos factores que existen y que son característicos de las intersecciones en Santo Domingo. Estos no se toman en cuenta y por lo tanto no afectan en las formulas aplicadas.

Estos factores son:

1. No existen paradas específicas para los autobuses, ni para los carros conchos. Estos cargan y descargan pasajeros donde se presente demanda, sin importar el volumen.
2. A pesar de la gran cantidad de peatones que circulan en la intersección, esta no cuenta con cruces específicos para los mismos ni un sistema de regulación.
3. Existe un sin número de vendedores ambulantes caminando en la calzada a lo largo del día.
4. Las vías no presentan buenas condiciones.
5. No existe un carril exclusivo para las bicicletas.
6. Existe un gran irrespeto por parte de los usuarios, tanto peatones como conductores.
7. Desproporción en el tamaño de los carriles.

Ya mencionados los factores vemos que la intersección no presenta unas condiciones adecuadas para los usuarios. La intersección en estudio se encuentra en una zona bastante concurrida de Santo Domingo y debido a su ubicación, solucionar el problema de esta contribuiría con el flujo óptimo de los usuarios, la seguridad de los mismos y el medio ambiente.

## **7. Presentación de propuestas**

Para un funcionamiento ideal, una intersección debe contar con movimientos protegidos o permitidos, admitiendo a su vez una mayor fluidez en cada una de las direcciones. A parte de esto, debe contar con cruces peatonales para la seguridad de los peatones, y, si tiene un alto volumen de vehículos, un sistema de regulación. Sin embargo, muchas veces, aunque existan intersecciones con estas características, el volumen de vehículos y peatones que transitan es tan elevado, que hace imposible ese buen funcionamiento.

En República Dominicana tenemos unas características como mencionamos anteriormente, que condicionan las intersecciones. La desorganización en el transporte público, el gran volumen de vehículos privados y la ausencia de cruces peatonales son algunas de estas.

En el caso de estudio después de realizados los cálculos para determinar los niveles de servicio de los diferentes grupos de carriles, podemos determinar que los movimientos de mayor conflicto en la intersección son: 3,5, 6,10 y 11, la mayoría de giro a izquierda. Estadísticamente los giros a la izquierda son la causa número uno de accidentes en intersecciones semaforizadas, tendiendo a ser accidentes de gravedad debido a las altas velocidades y al ángulo de impacto.

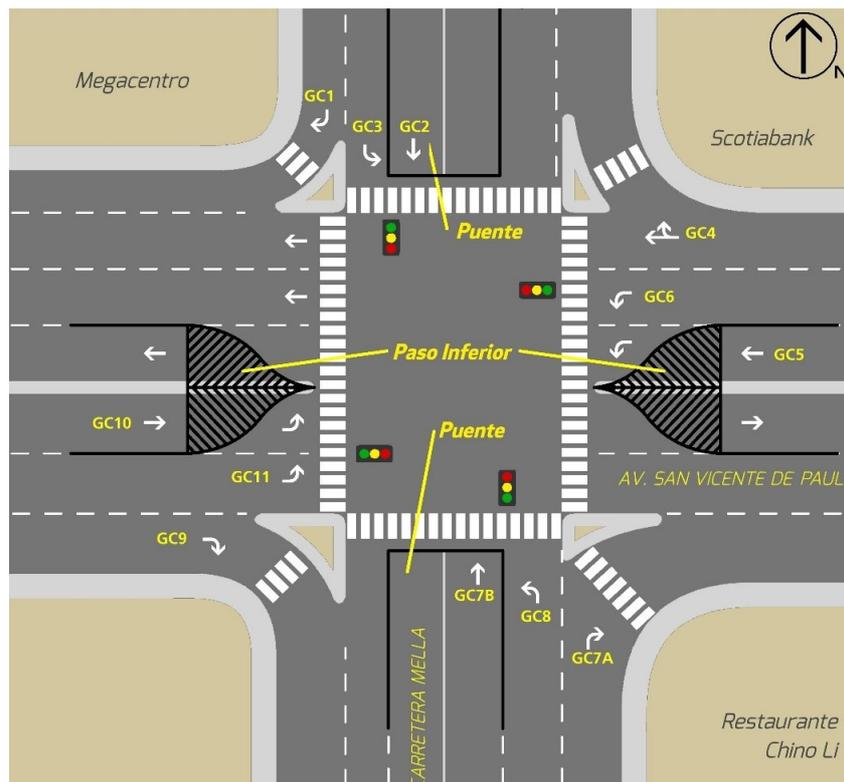
Para la solución de este problema se ha realizado una evaluación de diferentes propuestas, las cuales veremos a continuación. Estas propuestas tienen el fin de eliminar los puntos de conflicto que se producen con los diferentes movimientos realizados en la intersección, mejorar la seguridad de los peatones, reducir la cantidad

de accidentes y contribuir con el medio ambiente. Al final, seleccionaremos la propuesta más viable.

## 7.1 Propuestas

### 7.1.1 Paso inferior y puente

La primera propuesta corresponde a un diseño que reduciría considerablemente la circulación de vehículos sobre la intersección. Se trata de un paso inferior o túnel, y un puente. El primero iría en la avenida San Vicente y el segundo iría en la carretera Mella.



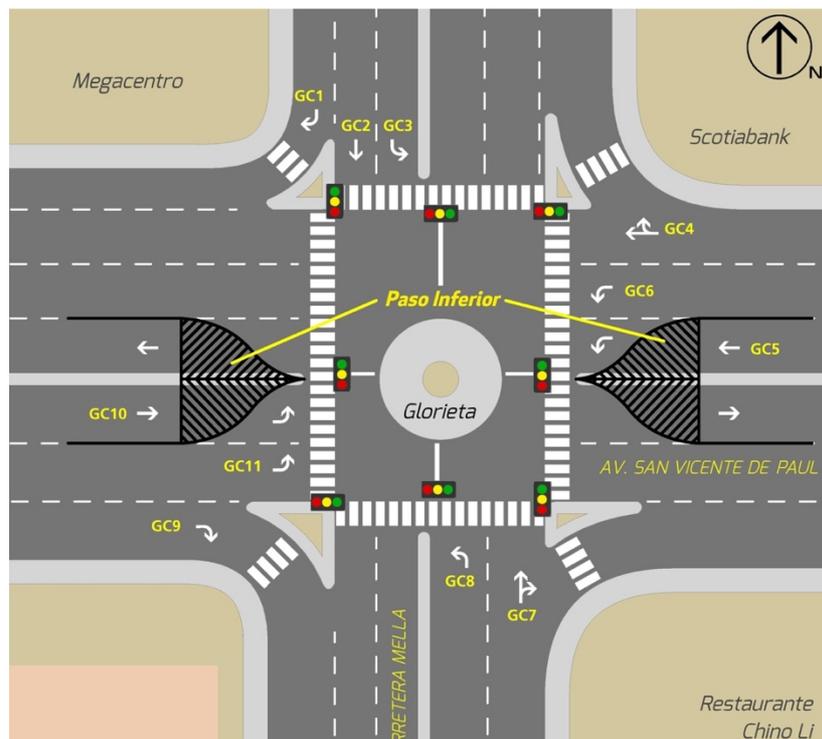
**Figura 20. Propuesta 1, Paso inferior y puente.**

### 7.1.2 Ampliación de la vía

La segunda propuesta trata sobre la ampliación de la vía, con esto se aumentaría el número de carriles de los diferentes accesos, por ende, aumentaríamos la capacidad.

### 7.1.3 Paso inferior combinado con una glorieta en superficie

La tercera propuesta corresponde a la construcción de un paso inferior o túnel combinado con una glorieta en superficie. El paso inferior iría en la Avenida San Vicente de Paul cruzando la Carretera Mella.



**Figura 21. Propuesta 3, paso inferior combinado con glorieta.**



## 7.2 Evaluación de las propuestas

Las propuestas mencionadas tienen el mismo fin: mejorar el flujo del tránsito vehicular en la intersección aumentando la capacidad y mejorando su nivel de servicio. Sin embargo, algunas de estas conllevan ciertos gastos y condicionantes que limitan su implementación. A continuación, analizaremos las propuestas y seleccionaremos la más adecuada para nuestro caso.

La primera opción (Paso inferior y puente) tiene como aspectos positivos los siguientes:

- Por medio de esta propuesta los vehículos que van en movimiento directo en los diferentes accesos evitarían encontrarse con los vehículos que crucen de frente y los vehículos que giren a la izquierda en los accesos en sentido contrario.
- Se aumentaría considerablemente la capacidad, ya que, con el tránsito de los vehículos sobre el paso inferior y el puente, se quedarían más carriles para los vehículos que requieran realizar los demás movimientos.
- Esta solución facilitaría el manejo de los peatones sobre la intersección debido a que estos no tendrían que cruzarse con los vehículos que van en el túnel y sobre el puente.

La segunda opción (ampliación de la vía) es la más viable con relación a lo económico y los efectos al medio ambiente, sin embargo, se descarta inmediatamente debido a que no se puede implementar por la falta de espacio en algunos de los accesos, como vemos en la figura 22.



**Figura 22. Ampliación de los carriles.**

El acceso 1 se encuentra próximo a Mega Centro, la vía no se podría ampliar a menos que se modifique el plan urbanístico para pasar de solar a red viaria. Y en los accesos 2 y 3 no se podría tampoco debido a varios establecimientos comerciales que se encuentran próximos. Esto se muestra en las figuras 23 y 24.



**Figura 23. Foto aérea de Mega Centro.**



**Figura 24. Acceso 2.**



La propuesta número tres (Paso inferior combinado con glorieta en superficie), tiene como aspectos positivos los siguientes:

- Por medio de esta propuesta los vehículos que hacen movimiento directo en los accesos 2 y 4, evitarían el acceso directo a la intersección, eliminando así los puntos de conflicto que se forman con ese movimiento.
- Se aumentaría considerablemente la capacidad en los accesos mencionados anteriormente, ya que con el paso inferior en la avenida San Vicente, en la superficie quedarían más carriles para los vehículos que requieran realizar los demás movimientos.
- A nivel estético, es mejor opción comparándola con la propuesta número uno.
- En cuanto a la glorieta en superficie, con su estructura de funcionamiento contribuiría al tránsito continuo de los demás vehículos que, si circularían directamente sobre la intersección, los mismos lo harían más ordenada y continuamente, sin interrupciones, evitando el gasto innecesario de combustible y por ende a la emisión de gases de combustión (anhídrido carbónico), principal componente del smog en las grandes ciudades. También contribuiría con la disminución de la velocidad y por ende una reducción considerable en los accidentes ocurridos muchas veces a la llegada de los vehículos a los cruces.



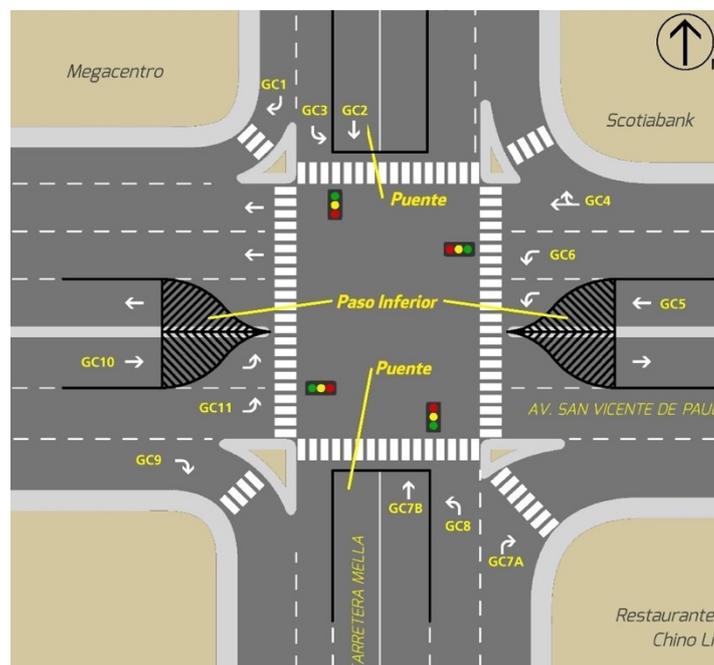
Otro aspecto importante de las glorietas es que presentan la posibilidad de disponerse a modo de prueba o ensayo con un cordón de bloques de cemento, que es posible remover, redimensionar, cambiar su diseño y considerar su ornamentación. Estudiar la forma y extensión del bulevar cercano a ella, para facilitar el paso peatonal, etc., todo esto con el fin de encontrar su funcionamiento óptimo.

## 8. Análisis de capacidad de las propuestas

En este capítulo se analizará el comportamiento de las diferentes propuestas en la intersección para así obtener y comparar los niveles de servicio y capacidad luego de aplicadas ambas soluciones por separado.

### Propuesta número 1. Paso inferior y puente

Con esta propuesta algunos grupos de carriles cambiarían su posición, esto se muestra imagen 25. También se realizaría un cambio en las fases, serian 2, una fase para los accesos 1 y 3 con un tiempo de verde de 50 segundos y una fase para los accesos 2 y 4 con un tiempo de verde de 60 segundos.



**Figura 25. Posición de los grupos de carriles con la propuesta 1.**

A continuación, se analizarán los cuatro accesos de la intersección, con la metodología del HCM 2010, para comprobar si existe una mejora en la capacidad y los niveles de servicio de los diferentes grupos de carriles.

Primero, determinaremos las intensidades de saturación de los grupos de carriles con las nuevas características que adoptaría la vía si se implementa la propuesta.

Grupo de carril	Intensidad de Saturación ( $veh/h$ )
1	1.421
2	1.657
3	3.200
4	1.463
5	1.732
6	3.214
7A	1.449
7B	1.710
8	1.646
9	1.423
10	1.733
11	3.199

**Tabla 19. Intensidad de saturación de los grupos de carriles con la propuesta 1.**

Segundo, determinamos la capacidad de los grupos de carriles.

1		2		3	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	2
<i>s</i>	1.421	<i>s</i>	1.657	<i>s</i>	3.200
<i>g/c</i>	0,417	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,417
<b>Capacidad</b>	592	<b>Capacidad</b>	1.657	<b>Capacidad</b>	2.666

**Tabla 20. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	2
<i>s</i>	1.463	<i>s</i>	1.732	<i>s</i>	3214
<i>g/c</i>	0,500	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,500
<b>Capacidad</b>	732	<b>Capacidad</b>	1.732	<b>Capacidad</b>	3.214

**Tabla 21. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.**

7A		7B		8	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.449	<i>s</i>	1.710	<i>s</i>	1.646
<i>g/c</i>	0,417	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,417
<b>Capacidad</b>	604	<b>Capacidad</b>	1.710	<b>Capacidad</b>	686

**Tabla 22. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.**

9		10		11	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	2
<i>s</i>	1.423	<i>s</i>	1.733	<i>s</i>	3.199
<i>g/c</i>	0,500	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,500
<b>Capacidad</b>	712	<b>Capacidad</b>	1.733	<b>Capacidad</b>	3.199

**Tabla 23. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

Una vez calculada la capacidad, se procede a calcular la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles.

1		2		3	
<i>v</i>	215	<i>v</i>	255	<i>v</i>	280
<i>c</i>	592	<i>c</i>	1.657	<i>c</i>	2.666
<i>X</i>	0,36	<i>X</i>	0,15	<i>X</i>	0,11

**Tabla 24. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>v</i>	88	<i>v</i>	641	<i>v</i>	389
<i>c</i>	732	<i>c</i>	1.732	<i>c</i>	3.214
<i>X</i>	0,12	<i>X</i>	0,37	<i>X</i>	0,12

**Tabla 25. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.**

7A		7B		8	
<i>v</i>	107	<i>v</i>	107	<i>v</i>	189
<i>c</i>	604	<i>c</i>	1.710	<i>c</i>	686
<i>X</i>	0,18	<i>X</i>	0,06	<i>X</i>	0,28

**Tabla 26. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del acceso 3.**

9		10		11	
<i>v</i>	211	<i>v</i>	601	<i>v</i>	394
<i>c</i>	712	<i>c</i>	1.733	<i>c</i>	3.199
<i>X</i>	0,30	<i>X</i>	0,35	<i>X</i>	0,12

**Tabla 27. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

Luego del cálculo de la capacidad se calcula la demora uniforme, incremental y por cola inicial con la metodología del HCM 2010 descrita en capítulos anteriores y se pasa a determinar la demora por cada uno de los grupos de carriles.

1		2		3	
<i>PF</i>	0,76	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,76
<i>d</i> <sub>1</sub>	24,06	<i>d</i> <sub>1</sub>	4,24	<i>d</i> <sub>1</sub>	21,35
<i>d</i> <sub>2</sub>	1,72	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,20	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,08
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	20,11	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	16,40

**Tabla 28. Demora de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>PF</i>	0,67	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,67
<i>d</i> <sub>1</sub>	15,96	<i>d</i> <sub>1</sub>	5,19	<i>d</i> <sub>1</sub>	15,97
<i>d</i> <sub>2</sub>	0,34	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,61	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,08
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	11,03	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	10,77

Tabla 29. Demora de los grupos de carriles del acceso 2.

7A		7B		8	
<i>PF</i>	0,76	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,76
<i>d</i> <sub>1</sub>	22,04	<i>d</i> <sub>1</sub>	3,93	<i>d</i> <sub>1</sub>	23,07
<i>d</i> <sub>2</sub>	0,64	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,07	<i>d</i> <sub>2</sub>	1,00
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	17,49	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	18,62

Tabla 30. Demora de los grupos de carriles del acceso 3.

9		10		11	
<i>PF</i>	0,67	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,67
<i>d</i> <sub>1</sub>	17,61	<i>d</i> <sub>1</sub>	5,07	<i>d</i> <sub>1</sub>	15,98
<i>d</i> <sub>2</sub>	1,06	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,55	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,08
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	12,86	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	10,79

Tabla 31. Demora de los grupos de carriles del acceso 4.

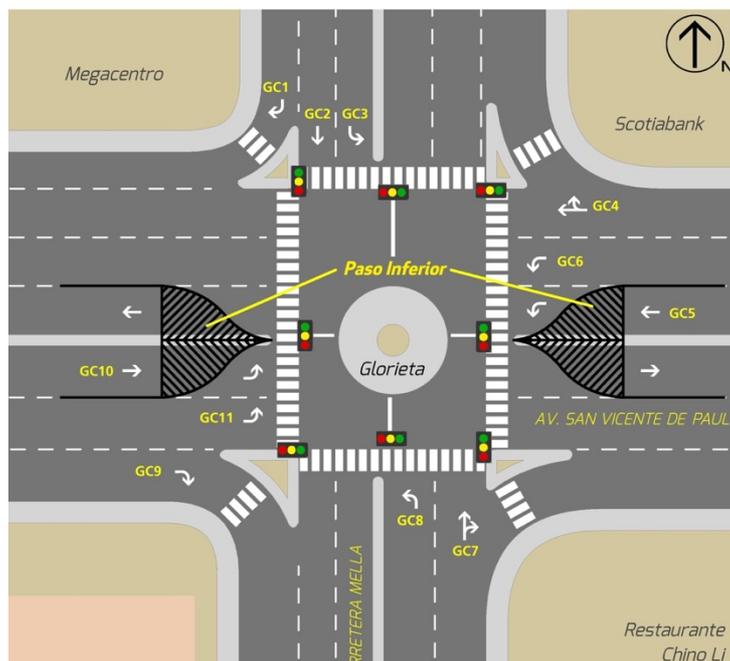
Por último, pasamos a determinar los niveles de servicio de la propuesta:

Grupo	Nivel de servicio
1	C
2	A
3	B
4	B
5	A
6	B
7 A	B
7 B	A
8	B
9	B
10	A
11	B

**Tabla 32. Niveles de servicio de los grupos de carriles con la propuesta 1.**

Propuesta número 3. Paso inferior con glorieta en superficie

Con esta propuesta algunos grupos de carriles cambiarían su posición, esto se muestra en la imagen 26. También se realizaría un cambio en las fases, serian 2, una fase para los accesos 1 y 3 con un tiempo de verde de 50 segundos y una fase para los accesos 2 y 4 con un tiempo de verde de 60 segundos.



**Figura 26. Posición de los carriles con la propuesta 3.**

A continuación, se analizarán los cuatro accesos de la intersección, con la metodología del HCM 2010, para comprobar si existe una mejora en la capacidad y los niveles de servicio de los diferentes grupos de carriles.

Primero, determinaremos las intensidades de saturación de los grupos de carriles con las nuevas características que adoptaría la vía si se implementa la propuesta.

<b>Grupo de carril</b>	<b>Intensidad de Saturación (veh/h)</b>
<b>1</b>	1.421
<b>2</b>	1.657
<b>3</b>	1.600
<b>4</b>	1.463
<b>5</b>	1.732
<b>6</b>	6.428
<b>7</b>	1.449
<b>8</b>	1.646
<b>9</b>	1.423
<b>10</b>	1.733
<b>11</b>	3.199

**Tabla 33. Intensidad de saturación de los grupos de carriles con la propuesta 3.**

Segundo, determinamos la capacidad de los grupos de carriles.

1		2		3	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.421	<i>s</i>	1.657	<i>s</i>	1.600
<i>g/c</i>	0,417	<i>g/c</i>	0,417	<i>g/c</i>	0,417
<b>Capacidad</b>	592	<b>Capacidad</b>	690	<b>Capacidad</b>	667

**Tabla 34. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	2
<i>s</i>	1.463	<i>s</i>	1.732	<i>s</i>	3.214
<i>g/c</i>	0,500	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,500
<b>Capacidad</b>	732	<b>Capacidad</b>	1.732	<b>Capacidad</b>	3.214

**Tabla 35. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 2**

7		8	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1
<i>s</i>	1.449	<i>s</i>	1.646
<i>g/c</i>	0,417	<i>g/c</i>	0,417
<b>Capacidad</b>	604	<b>Capacidad</b>	686

**Tabla 36. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.**

9		10		11	
<i>N</i>	1	<i>N</i>	1	<i>N</i>	2
<i>s</i>	1.423	<i>s</i>	1.733	<i>s</i>	3.199
<i>g/c</i>	0,500	<i>g/c</i>	1	<i>g/c</i>	0,500
<b>Capacidad</b>	712	<b>Capacidad</b>	1.733	<b>Capacidad</b>	3.199

**Tabla 37. Capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

Una vez calculada la capacidad, se procede a calcular la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles.

1		2		3	
<i>v</i>	215	<i>v</i>	255	<i>v</i>	280
<i>c</i>	592	<i>c</i>	690	<i>c</i>	667
<i>X</i>	0,36	<i>X</i>	0,37	<i>X</i>	0,42

**Tabla 38. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>v</i>	88	<i>v</i>	641	<i>v</i>	389
<i>c</i>	732	<i>c</i>	1.732	<i>c</i>	3.214
<i>X</i>	0,12	<i>X</i>	0,37	<i>X</i>	0,12

**Tabla 39. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 2.**

7		8	
<i>v</i>	213	<i>v</i>	189
<i>c</i>	604	<i>c</i>	686
<i>X</i>	0,35	<i>X</i>	0,28

**Tabla 40. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 3.**

9		10		11	
<i>v</i>	211	<i>v</i>	601	<i>v</i>	394
<i>c</i>	712	<i>c</i>	1.733	<i>c</i>	3.199
<i>X</i>	0,30	<i>X</i>	0,35	<i>X</i>	0,12

**Tabla 41. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carriles del acceso 4.**

Luego del cálculo de la capacidad se calcula la demora uniforme, incremental y por cola inicial con la metodología del HCM 2010 descrita en capítulos anteriores y se pasa a determinar la demora por cada uno de los grupos de carriles.

1		2		3	
<i>PF</i>	0,76	<i>PF</i>	0,76	<i>PF</i>	0,76
<i>d<sub>1</sub></i>	24,06	<i>d<sub>1</sub></i>	24,13	<i>d<sub>1</sub></i>	24,75
<i>d<sub>2</sub></i>	1,72	<i>d<sub>2</sub></i>	1,52	<i>d<sub>2</sub></i>	1,94
<i>d (s/veh)</i>	20,11	<i>d (s/veh)</i>	19,96	<i>d (s/veh)</i>	20,86

**Tabla 42. Demora de los grupos de carriles del acceso 1.**

4		5		6	
<i>PF</i>	0,67	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,67
<i>d</i> <sub>1</sub>	15,96	<i>d</i> <sub>1</sub>	5,19	<i>d</i> <sub>1</sub>	15,97
<i>d</i> <sub>2</sub>	0,34	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,61	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,08
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	11,03	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	10,77

Tabla 43. Demora de los grupos de carriles del acceso 2.

7		8	
<i>PF</i>	0,76	<i>PF</i>	0,76
<i>d</i> <sub>1</sub>	23,93	<i>d</i> <sub>1</sub>	23,07
<i>d</i> <sub>2</sub>	1,62	<i>d</i> <sub>2</sub>	1,00
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	19,91	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	18,62

Tabla 44. Demora de los grupos de carriles del acceso 3.

9		10		11	
<i>PF</i>	0,67	<i>PF</i>	0,01	<i>PF</i>	0,67
<i>d</i> <sub>1</sub>	17,61	<i>d</i> <sub>1</sub>	5,07	<i>d</i> <sub>1</sub>	15,98
<i>d</i> <sub>2</sub>	1,06	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,55	<i>d</i> <sub>2</sub>	0,08
<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	12,86	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	0	<i>d</i> ( <i>s/veh</i> )	10,79

Tabla 45. Demora de los grupos de carriles del acceso 4.



Por último, pasamos a determinar los niveles de servicio de la propuesta:

Grupo de carriles	Nivel de servicio
1	C
2	B
3	C
4	B
5	A
6	B
7	B
8	B
9	B
10	A
11	B

**Tabla 46. Niveles de servicio de los grupos de carriles con la propuesta 3.**

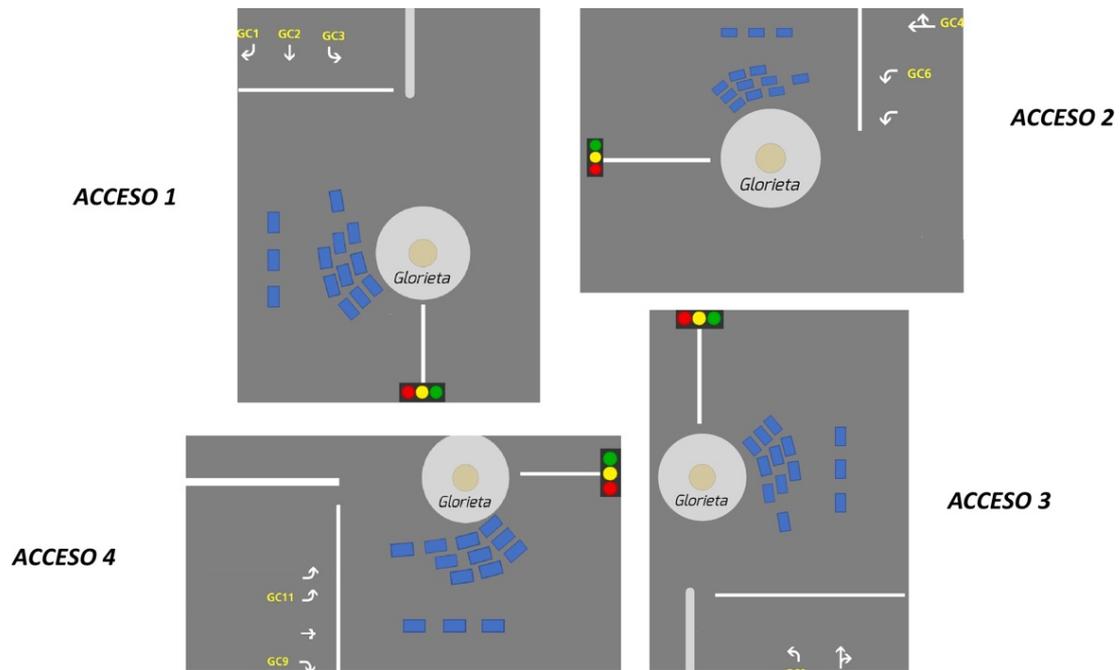
## **9. Resultados**

Como podemos apreciar en los resultados, con ambas propuestas los niveles de servicio en los diferentes accesos mejorarían, sin embargo, lo correcto es seleccionar la más sencilla y económica, siempre y cuando solucionemos el problema.

Con la propuesta número uno, la capacidad de los diferentes accesos aumentaría, así como también la seguridad de los usuarios de los vehículos y los peatones. Sin embargo, realizar la misma conlleva un gasto elevado en la realización de las mega estructuras, y produce un impacto negativo sobre el paisaje debido a la realización del puente.

Con la propuesta número tres también se soluciona el problema, pero de una forma diferente. Aumentaría la capacidad en los accesos 2 y 4, los giros a izquierda se organizarían mediante la glorieta, y aparte de esto los demás movimientos se realizarían de una forma segura debido a la estructura de funcionamiento de la glorieta que hace que los vehículos reduzcan su velocidad.

Con la glorieta se realizaría un cambio en las fases como se mencionó en la descripción de la propuesta 3, en la imagen 27 se muestra el esquema del funcionamiento de la misma con los diferentes movimientos.



**Figura 27. Organización de los giros con la glorieta.**

Comparando la propuesta número tres con la numero uno, económicamente es más viable ya que con esta no se construiría el puente, si no la glorieta que es algo menos costoso y brinda una solución, además de esto aporta al paisaje. En conclusión, se elige la propuesta número tres.

## **10. Conclusiones y futuras líneas de investigación**

### **Conclusiones**

El análisis y evaluación de intersecciones es un proceso de suma importancia para la movilidad urbana, ya que si una intersección no cumple con su función toda la red vial se ve afectada. Estudios realizados alrededor del mundo revelan la necesidad de la mejora urbana por medio del nivel de servicio de las intersecciones.

En esta tesis se aborda el estudio de una intersección semaforizada. Con el trabajo realizado pudimos observar que determinar los niveles de servicio reales en una intersección de una localidad con ciertas condiciones no es posible con el HCM 2010 debido a que existen ciertos factores característicos no contemplados en los cálculos y por lo tanto no pueden ser evaluados, esto implica que junto a la evaluación realizada debamos basarnos en la lógica para la toma de decisiones en la solución del problema.

Otra cuestión que se presenta es la de determinar los grupos de movimientos y los grupos de carriles. Esto ocurre debido a que los usuarios de los vehículos no siempre cumplen con las marcas viales que se presentan en los carriles, tomando un comportamiento diferente, por lo que se deben observar el mismo y no basarnos únicamente en lo indicado por las señales en el pavimento.

En la intersección de estudio los accesos de la avenida San Vicente son los que presentan peores niveles de servicio, encontrándose entre D y F. Los demás accesos presentan niveles de servicio más o menos aceptables, pero que si se descuidan con el tiempo podrían empeorar.



Las propuestas evaluadas mejoran considerablemente los niveles de servicio de los grupos de carriles, facilitando como se mencionó anteriormente el flujo vehicular en la intersección, así como también la mejora de la seguridad de los peatones, usuarios que no se toman en cuenta en el estado actual de la intersección. Sin embargo, se seleccionó la propuesta número tres debido a las características que presenta.

Con la construcción del paso inferior se pretende aumentar la capacidad en la avenida San Vicente, la cual presenta el volumen más elevado y los peores niveles de servicio, y con la construcción de la glorieta organizar el tránsito que queda directamente en la intersección.

Como anexo a esta propuesta se encuentra la construcción de pasos peatonales en los diferentes accesos y un sistema de regulación para los mismos.

### **Futuras líneas de investigación**

El trabajo desarrollado en esta tesis y los resultados obtenidos, dan pie a un amplio abanico de posibles trabajos como futuras líneas de investigación. A continuación, se destacan algunas.

- Estudio del comportamiento de los peatones en intersecciones semaforizadas.
- Estudio del comportamiento de los ciclistas en vías sin carril bici exclusivo.
- Estudio de la viabilidad de los carriles bicis en zonas metropolitanas de alto volumen vehicular.

*Katherine Henríquez*



## 11. Bibliografía

[1] Darder Gallardo, 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] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.

[5] Barnes, A.J. Traffic Signals at Roundabouts: Experiences and Problems in South Yorkshire. PTRC, Summer Meeting, Proceedings of Seminar M, 1985.

[6] Vaughan W. Inman, Gregory W. Davis. Synthesis of Literature Relevant to Roundabout Signalization to Provide Pedestrian Access. January 11, 2007.

*Katherine Henríquez*