



UNIVISITAT POLITECNICA DE VALENCIA
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



ESTUDIO Y MEJORA DE LA FUNCIONALIDAD DEL
TRÁFICO DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA DE
LA AV. CHARLES DE GAULLE ESQUINA AV. LOS
RESTAURADORES, EN LA CIUDAD DE SANTO
DOMINGO ESTE, REPUBLICA DOMINICANA.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN TRANSPORTE, TERRITORIO Y URBANISMO

Autor: Fahola M. Yan Mesa

Tutor: Prof. Javier Soriano Ferriol



INDICE

1	OBJETIVO Y DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	1
2	ANALISIS SITUACIÓN ACTUAL	1
2.1	Localización.....	1
2.2	Planteamiento del problema	2
3	INTRODUCCIÓN	3
3.1	Intersecciones.....	4
3.1.1	Intersecciones a nivel	4
3.1.2	Intersecciones a desnivel.....	5
3.1.3	Intersecciones semaforizadas	6
4	PROBLEMÁTICA DE CONGESTIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS	7
5	ESTADO DEL ARTE.....	8
5.1	Semáforos.....	8
5.1.1	Semáforos de tiempos fijos.....	9
5.1.2	Semáforos semiaccionados por el transito	10
5.1.3	Semáforos con operación totalmente accionada.....	10
5.2	Definiciones de conceptos de capacidad vial	12
5.2.1	Tipos de vías.....	12
5.3	Capacidad y nivel de servicio	12
5.3.1	Capacidad en intersecciones semaforizada	13
5.3.2	Nivel de servicio	17
5.4	Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas	19
5.4.1	Determinación de la capacidad y el nivel de servicio	21
6	CARACTERIZACIÓN	42



6.1	Caracterización del tramo	42
6.1.1	Caracterización del transporte urbano	44
6.1.2	Señales de tránsito	45
6.1.3	Caracterización de la intersección de estudio	46
6.2	Toma de información	47
6.2.1	Volúmenes vehiculares	48
6.2.2	Volúmenes peatonales	48
6.2.3	Composición vehicular	49
6.3	Problemática de la intersección	50
7	<i>ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA CON EL HCM 2010</i>	51
8	<i>PRESENTACION Y ELECCION DE PROPUESTAS</i>	68
8.1	Propuestas	68
8.1.1	Ampliación de la capacidad física vía y marcas viales	68
8.1.2	Desvío vehículos a vial secundario	69
8.1.3	Paso a desnivel	71
8.2	Análisis y selección de propuesta	71
9	<i>ANALISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS</i>	72
9.1	Propuesta desvío de vehículos	72
9.2	Propuesta paso a desnivel	77
10	<i>ANALISIS DE LOS RESULTADOS</i>	84
11	<i>CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION</i>	85
12	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	87



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas.....	18
Tabla 2. Grupos de carriles y grupos de movimientos	23
Tabla 3. Factor de ajuste por ancho de carril	25
Tabla 4. Parametros requeridos para el analisis operacional	52
Tabla 5. Intensidad de saturacion – grupos de carriles I,II y III	58
Tabla 6. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V.....	59
Tabla 7. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V.....	60
Tabla 8. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V.....	61
Tabla 9. Capacidad para grupos de carriles I, II, III y IV	62
Tabla 10. Capacidad para grupos de carriles V, VI Y VII Y VIII.....	62
Tabla 11. Capacidad para grupos de carriles IX, X, XI y XII.....	62
Tabla 12. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV.....	63
Tabla 13. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV.....	63
Tabla 14. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV.....	63
Tabla 15. Demora para grupos de carriles I, II, III y IV	64
Tabla 16. Demora para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.....	65
Tabla 17. Demora para grupos de carriles IX, X, XI y XII.....	65
Tabla 18. Niveles de servicios en función de la demora.....	65
Tabla 19. Niveles de servicios para grupos de carriles I, II y III y IV.	66
Tabla 20. Niveles de servicios para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.....	66
Tabla 21. Niveles de servicios para grupos de carriles IX, X, XI y XII.	66
Tabla 22. Intensidad de saturacion por grupos de carriles.....	73



Tabla 23. Capacidad para grupos de carriles I, II y III.....	74
Tabla 24. Capacidad para grupos de carriles V, VI y VII.	74
Tabla 25. Capacidad para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.	74
Tabla 26. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles I, II y III.	75
Tabla 27. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles V, VI y VII.	75
Tabla 28. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.	75
Tabla 29. Demora para grupos de carriles I, II y III.	76
Tabla 30. Demora para grupos de carriles V, VI y VII.....	76
Tabla 31. Demora para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.....	76
Tabla 32. Nivel de servicio para grupos de carriles I, II y III.....	76
Tabla 33. Nivel de servicio para grupos de carriles V, VI y VII.....	77
Tabla 34. Nivel de servicio para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.	77
Tabla 35. Intensidad por cada grupo de carril.....	79
Tabla 36. Capacidad para grupos de carriles I, II, III, IV	79
Tabla 37. Capacidad para grupos de carriles V, VI, VII y VIII	80
Tabla 38. Capacidad para grupo de carriles IX, X, XI y XII.....	80
Tabla 39. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I, II, III y IV.....	80
Tabla 40. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.....	81
Tabla 41. Proporción volumnen- capacidad para grupos de carriles IX, X, XI y XII.	81
Tabla 42. Demora para grupos de carriles I, II, III y IV.	81
Tabla 43. Demora para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.....	81
Tabla 44. Demora para grupos de carriles IX, X, XI y XII.....	82
Tabla 45. Nivel de servicio para grupos de carriles I, II, III y IV.....	82
Tabla 46. Nivel de servicio para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.	82
Tabla 47. Nivel de servicio para grupos de carriles IX, X, XI y XII.	82
Tabla 48. Cuadro comparativo con demoras y niveles de servicios de las propuestas analizadas	83



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intersecciones a nivel.....	4
Figura 2. Interseccion a desnivel.....	5
Figura 3. Tipos de movimientos en una interseccion	11
Figura 4. Localizacion del tramo de estudio.	43
Figura 5. Descripcion fisica y movimientos de la interseccion.	46
Figura 6. Puntos de aforos en la interseccion.....	47
Figura 7. Punto de conflicto.....	51
Figura 8. Grupo de carriles y movimientos I,II y III	54
Figura 9. Grupo de carriles y movimientos IV, V y VI.....	55
Figura 10. Grupo de carriles y movimientos VII,VIII y IX	55
Figura 11. Grupo de carrile sy movimientos X,XI y XII.	56
Figura 12. Ambito de estudio – grupo de carriles I,II, y III.....	58
Figura 13. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI.....	59
Figura 14. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI.....	60
Figura 15. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI.....	60
Figura 16. Vista aerea de la interseccion de estudio.....	67
Figura 17. Desvio vial secundario Av. Charles de Gaulle.....	69
Figura 18. Alternativa paso inferior.....	78



1 OBJETIVO Y DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

En el presente trabajo tiene por objeto analizar la situación actual de una intersección semaforizada situada en la ciudad de Santo Domingo, Republica Dominicana, con el fin de establecer propuestas de mejora, para solventar los problemas que se han localizado, de forma que se garantice la seguridad y comodidad de todos los usuarios.

Para lograrlo debemos primero analizar el comportamiento del tramo en cuestión, estudiando la movilidad del tráfico en la avenida, con la finalidad de calcular la capacidad que tiene la vía y a que nivel de servicio esta puede llegar a adquirir.

2 ANALISIS SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Localización

Santo Domingo Norte es un municipio de la provincia Santo Domingo en la Republica Dominicana.

Este municipio fue creado en el año 2001, debido a la división de la provincia Santo Domingo del Distrito Nacional, incluyendo las áreas metropolitanas de Santo Domingo, al norte del río Isabela.

Santo Domingo norte esta constituido por un distrito municipal llamado La Victoria y las secciones de:



- Villa Mella
- Sabana Perdida
- El Higüero
- La Bomba De Villa Mella

Nuestra área de estudio está ubicada en la sección de Sabana Perdida específicamente.

2.2 Planteamiento del problema

En la intersección Av. Charles de Gaulle y Av. Los Restauradores mejor conocida como Carretera La Victoria (nombre por el cual la estaremos llamando en todo el proyecto) es una intersección semaforizada de 4 accesos ubicada en la zona suburbana que posee una alta intensidad media diaria.

En la intersección se pueden observar problemas de operación del tránsito mayormente en las horas pico, donde los volúmenes de demanda son altos.



3 INTRODUCCIÓN

Para resolver los grandes problemas de tránsito en diferentes zonas urbanas, expertos apuestan por el mejoramiento de intersecciones viales, ya que estas cuando existe una sobresaturación de vehículos en los cruces se genera problemas de demora por ende aumenta el costo económico al estar un largo tiempo en el tránsito. Este tipo de problemas es cada vez mas notorio con el aumento del parque vehicular de cada ciudad que a la vez demanda un mayor numero de sistemas de control en intersecciones de la red vial.

Por lo antes mencionado es que los expertos en la ingeniería de tránsito busca atender esta problemática enfocándose de manera continua en la optimización de operación del flujo vehicular en intersecciones por medio de diseños geométricos de las vialidades, el uso de rotondas, pasos a desnivel o semaforizaciones que puedan satisfacer la demanda vehicular en una intersección y con ello poder minimizar los problemas que se presenten.

Para poder llevar a cabo diversas soluciones viales se deben considerar varios factores y variables, entre los que se encuentran las características de las vías, las intensidades de tráfico, los conductores y los vehículos. Tal y como se expresa en el Manual de Capacidad del 2000, una de las variables mas utilizadas en la gestión de tráfico y la que refleja mejor manera la calidad de la circulación es el nivel de servicio de la vía.

3.1 Intersecciones

3.1.1 Intersecciones a nivel

Se denomina intersección a nivel, al área que es compartida por dos o más caminos y cuya función principal es posibilitar el cambio de dirección de la ruta. La intersección a nivel varía en complejidad desde un simple cruce, con sólo dos caminos que se cruzan entre sí en ángulo recto, hasta una intersección más compleja, en la cual se cruzan tres o más caminos dentro de la misma área (Highways & Streets, 2001).

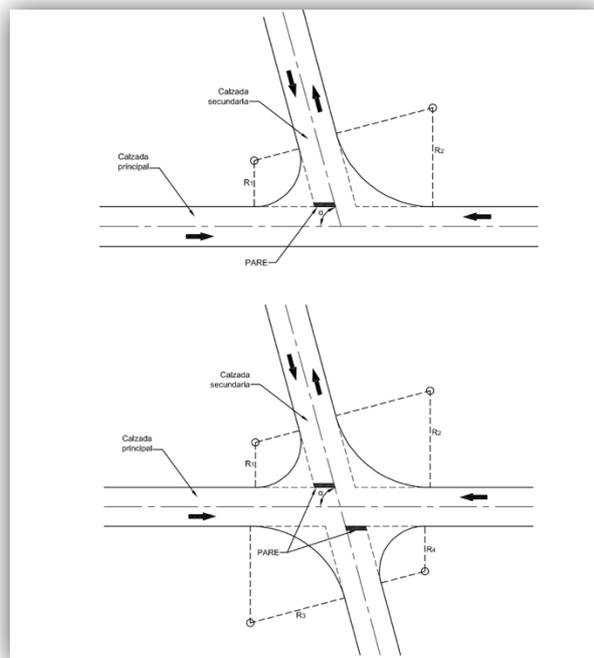


Figura 1. Intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel resultan ser muy convenientes ya que presentan mayor facilidad de proyecto y construcción, también requieren menor superficie y además son

más económicas que otras alternativas como pasos a desniveles. Sin embargo, los problemas de este tipo de intersección se generan cuando el flujo vehicular aumenta y el

tipo de intersección no tienen la capacidad de servicio requerida, pues ocasionan congestión en horas pico.

3.1.2 Intersecciones a desnivel

Es una solución de diseño geométrico, para posibilitar el cruzamiento de dos o más carreteras en niveles diferentes, con la finalidad de que los vehículos puedan realizar todos los movimientos posibles de cambios de trayectoria de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflictos posibles.

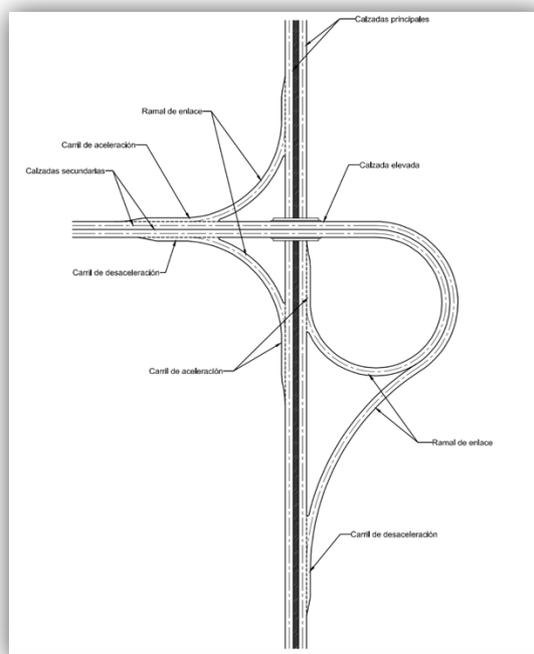


Figura 2. Intersección a desnivel



3.1.3 Intersecciones semaforizadas

Se considera que, si reducimos los puntos de conflictos o separándolos, es una de las mejores maneras para optimizar la seguridad en una intersección (LU,2013). Para la mitigación y solución de las diferentes controversias que se pueden presentar en un cruce direccional se opta por la semaforización.

Se debe regularizar mediante semáforos cuando la intensidad de tráfico de una intersección es mas grande que la se puede admitir con una regulación de preferencia de paso y no es posible recurrir a un cruce a diferente nivel.

Yong-Gang Wan en su investigación de seguridad de intersecciones en Harbin, China, comparo los accidentes ocurridos en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas. Menciona que el semáforo tiene una mayor importancia que otras señales de tránsito, ya que organiza el flujo de transito y mejora las condiciones de seguridad en una intersección, así como también apoya diversas estrategias de transporte (promoción del transporte público, reforzamiento de la jerarquía viaria, potencialización de ciclistas y peatones). Con los resultados de su análisis indica que con la semaforización y el monitoreo de transito se puede reducir el porcentaje de incidencia de accidentes en una intersección (WANG, 2011)

Por otro lado, las intersecciones semaforizadas son el tipo de intersección más característico de las áreas urbanas, porque estas proporcionan unas reglas de paso simples y universales.

Debemos saber que uno de los inconvenientes de las intersecciones semafóricas es que producen algunas demoras a los vehículos que acceden a la intersección.



4 PROBLEMÁTICA DE CONGESTIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

En una intersección semaforizada es muy importante la interacción que tiene el comportamiento de los conductores, las características del tráfico y su diseño, debido a que la capacidad y los niveles de servicios dependerán de esos factores. Los semáforos nos sirven para controlar la intersección y por esto este es considerado como una medida positiva, que produce beneficios y mejora la seguridad en cualquier situación, pero, no obstante, esto no siempre se corrobora ya que para que la instalación de un semáforo produzca beneficios reales a los conductores, deben darse un conjunto de condiciones que permita que los beneficios sean mayores que los costos.

Cuando tenemos variabilidad en la demanda del tráfico, el funcionamiento de la intersección semaforizada es aceptable siempre y cuando el volumen vehicular sea bajo, pero cuando tenemos volúmenes intermedios y elevados se podría considerar que una intersección semaforizada no es funcional, ya que les genera altas demoras a los conductores.

Se está haciendo más habitual observar intersecciones semaforizadas en servicio que llegan con más frecuencia a situaciones de alta demanda, e incluso a la congestión; sin embargo, también hay bastantes que, sin llegar a volúmenes muy altos de demanda, se saturan en alguno de sus accesos por presentar una gran descompensación entre las distintas entradas.

En el caso de la intersección semaforizada objeto de estudio, el funcionamiento llega en horas puntuales del día a un volumen de tráfico bastante alto, lo que conlleva a la congestión de algunas de sus vías.



Al tratarse de la conexión norte de la ciudad de Santo Domingo, se producen demoras en las horas de entrada y salida de la jornada laboral.

5 ESTADO DEL ARTE

5.1 Semáforos

Es el elemento más importante para regular el tráfico en una intersección. El semáforo es la variable directa de las intersecciones semaforizadas. Estos poseen cierta sistematización que afectan a la circulación, como son el plan de fases, duración del ciclo, asignación de tiempo en verde, etc.

- Fases: cada una de las combinaciones de indicaciones que permiten uno o varios movimientos simultáneos a través de la intersección durante un intervalo.
- Intervalo: periodo de tiempo durante el cual todas las indicaciones semaforicas permanecen constantes.
- Despeje: tiempo necesario para que los vehículos que han accedido a la intersección salgan de esta zona y la dejen totalmente libre.
- Ciclo: tiempo necesario para que se de una sucesión completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador, es decir el tiempo total que suma de “verde”, “amarillo” y “rojo”.
- Duración de ciclo: el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos.
- Tiempo de verde: es el tiempo dentro de una fase dada, durante la cual la indicación “verde” está a la vista.



- Tiempo perdido: tiempo durante el cual la intersección no esta efectivamente utilizada por ningún movimiento, estos tiempos ocurren durante el despeje que es cuando la intersección se evacua y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos de la fila sufren retrasos en el arranque.
- Tiempo de verde efectivo: es el tiempo de verde mas el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase expresado en segundos y notada con el símbolo g .
- Tiempo de rojo efectivo: es el tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado o un conjunto de movimientos. Es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos.

Los semáforos pueden operar en tres modalidades básicas, pero este dependerá del tipo de equipo de control empleado.

5.1.1 Semáforos de tiempos fijos

En la operación del ciclo, las fases, los tiempos de verde y los intervalos de cambio están todos prefijados. El semáforo rota por este ciclo definido de forma constante es decir que cada ciclo es el mismo, siendo la duración del ciclo y las fases constantes. Dependiendo del equipo disponible, se pueden utilizar varios reglajes de tiempo prefijados, entrando cada uno de ellos automáticamente en funcionamiento en momentos determinados ya sea por el día de la semana o unas horas determinadas.



5.1.2 Semáforos semiaccionados por el tránsito

En la operación semiaccionados la calle principal en cuestión que es donde se producen los mayores movimientos están operados con fases no actuadas, es decir que tiene una indicación "verde" durante todo el tiempo hasta que los detectores de la calle secundaria indiquen que existe un flujo vehicular, El semáforo muestra entonces una fase "verde" para la secundaria, después de un intervalo de cambio apropiado, que se mantiene hasta que todos los vehículos hayan pasado o hasta que el verde de la calle secundaria alcance un tiempo preestablecido máximo. Este tipo de control no está asociado a un ciclo constante.

5.1.3 Semáforos con operación totalmente accionada

En esta, todas las fases del semáforo son controladas por detectores. En general, en este tipo de control se especifican los tiempos de verde máximos y mínimos para cada fase. Las duraciones de los ciclos y los tiempos de verde varían considerablemente en respuesta a la demanda.

Muchos sistemas de semáforos están hoy en día controlados por computadoras. En estos casos las intersecciones generalmente operan bajo controles de tiempo fijo, permitiendo que el plan de fases y la coordinación de semáforos sean controlados por computadoras.

Las fases del semáforo pueden proporcionar movimientos de giro en la intersección y esta es una de las características significativas que influyen en la capacidad de la vía. Se pueden diferenciar cuatro tipos de movimientos:

- Giro de paso: en este giro el vehículo continúa en la misma dirección que llevaba antes de atravesar la intersección.
- Giro Permitido: es el que se realiza a pesar de tener flujos de vehículos en un sentido opuesto y cruce de peatones.
- Giro protegido: es aquel movimiento que se realiza sin los flujos anteriormente dichos, tales como vueltas a izquierda o las vueltas a derechas cuando el movimiento de peatones se prohíbe. En este giro existe una fase exclusiva para los que giran a izquierda y una flecha en verde adicional en el semáforo.
- Giro sin oposición: este movimiento no necesita una regulación de fase exclusiva, ya que la configuración de la intersección hace imposible que se den conflictos.

Este caso es dado principalmente en calles de sentido único o en intersecciones en T que operan con dos fases separadas para cada intersección.

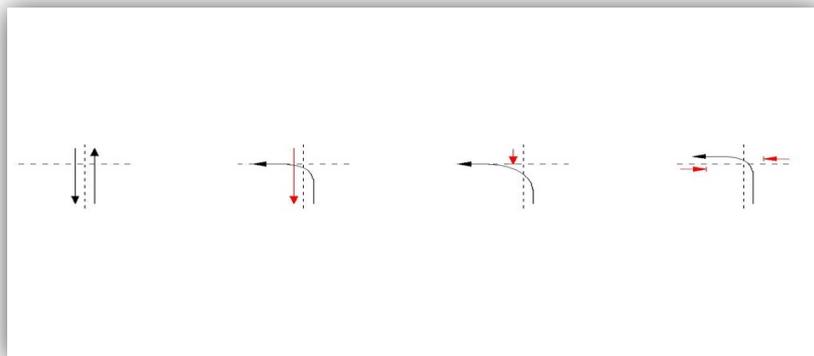


Figura 3. Tipos de movimientos en una interseccion



5.2 Definiciones de conceptos de capacidad vial

5.2.1 Tipos de vías

5.2.1.1 *Circulación continua*

Estas no tienen elementos tales como los semáforos, que son exentos a la corriente del tránsito y que causen interrupciones.

Las condiciones de la corriente del tránsito son el resultado de las interacciones entre los vehículos y la corriente del tránsito y entre los vehículos y las características geométricas, además del entorno del camino.

5.2.1.2 *Circulación discontinua*

Estas tienen elementos que causan interrupciones a la corriente del tránsito como pueden ser: semáforos, las señales de alto y otros tipos de control. Estos tipos de dispositivos causan al tránsito suspensiones periódicas, independientemente del tránsito que exista.

5.3 Capacidad y nivel de servicio

Para las intersecciones semaforizadas, ambos conceptos son analizados por separado y no tienen una relación sencilla entre sí.



La relación v/c es el valor de flujo actual en el acceso o en el grupo de carril asignado durante los 15 minutos máximos dividido entre la capacidad del acceso o del grupo de carril.

Mientras el nivel de servicio esta basado en la demora promedio de parada por vehículo para varios movimientos de la intersección. Cabe destacar que la relación v/c afecta la demora, pero exigen otros parámetros que la afectan mas fuertemente, tales como la calidad de la sincronización, duración de las fases de verde, duración del ciclo, entre otros. Por esta razón tanto la capacidad como el nivel de servicio deben analizarse cuidadosamente.

5.3.1 Capacidad en intersecciones semaforizada

Según el Highway Capacity Manual definen la capacidad como el valor de flujo máximo de vehículos que razonablemente pueden pasar por una intersección durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora, bajo las condiciones prevalecientes del transito, el camino y de los dispositivos de control.

La definición descrita mas arriba asume que existen buenas condiciones de clima y de pavimento.



5.3.1.1 Factores

Condiciones de la vía

Se refieren a las características geométricas de la vía e incluye: el tipo de vía y el desarrollo de su entorno, el número de carriles y el ancho, los espacios libres laterales, la velocidad del proyecto, los alineamientos verticales y horizontales, y la disponibilidad de espacio para esperar en cola en las intersecciones.

Los carriles angostos hacen que los vehículos circulen más cerca uno de otros por los laterales, por lo cual la velocidad de estos disminuye.

El alineamiento vertical y horizontal de un camino son producto de la velocidad para la que fueron diseñados, según la topografía del lugar donde se han construido, ya sea terreno a nivel, terreno ondulado y terreno montañoso.

Condiciones del tráfico

Se refiere a las características de la corriente del tráfico que usa la vía. Están definidas por la distribución de los tipos de vehículos, como es el caso de los vehículos pesados existente en la corriente, este tipo de vehículo tiene una habilidad de operación más lenta que los vehículos ligeros, haciendo que sus maniobras en el área urbana estén más restringidas. Los vehículos pesados son más largos que los ligeros y, por lo tanto, ocupan más espacios.



También debemos considerar el transporte público, ya que este influye notablemente, considerándose también como vehículo pesado, su frecuencia de parada en sus puntos correspondientes a las subidas y bajadas de pasajeros modifica la capacidad del acceso.

Condiciones de control

Se refiere a los tipos y diseños específicos de dispositivos de control y reglamentos del tránsito que están presente en la vía. La ubicación y el tipo de sincronía en el caso de los semáforos, estos son condiciones de control que afectan de una manera u otra la capacidad de la vía. Otros controles que podemos considerar importante son las señales de tránsito como: “Alto” y “Ceda el paso”, las restricciones de usos de carriles, restricciones de vuelta, restricciones del estacionamiento y medidas similares.

Factor de hora punta

Se podría considerar que el momento mas crítico de una intersección en lo que a capacidad se refiere, se produce sin duda alguna durante la hora punta, por lo que se tendrá que tomar en cuenta el factor de hora punta, designado con las siglas FHP, definido por Highway Capacity Manual 2010 como “el cociente entre la intensidad de la hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos mas cargados”.

El HCM considera el intervalo de cada 15 minutos como el mas apropiado, ya que se aproxima a la variación real en el flujo durante la hora y además de esto, proporciona una buena interacción entre el diseño para volúmenes horarios.



$$FHP = \frac{I_{60}}{4 - I_{15}}$$

El FHP será de aplicación en intersecciones donde se afore la intensidad de la hora punta (IHP) y no la máxima de los 15 minutos (I_{15}), ya que los criterios de nivel de servicio que adopta el HCM 2010 se refieren a esta última. En zonas urbanas, dicho factor está comprendido normalmente entre 0.75 y 0.90 tomándose como valor medio 0.85.

Tipo de zona

La influencia del tamaño de la ciudad en la fluidez del tránsito, también ejerce cierta influencia la localización de la intersección dentro de dicha ciudad. A efectos de cálculo, se distinguen cuatro zonas:

- Centro: zona en la que el uso predominante del suelo es la actividad y de negocios. Se caracteriza por el gran número de transeúntes, por la alta demanda de estacionamiento, por la frecuencia de vehículos que cargan y descargan mercancías.
- Zona intermedia: zona contigua al centro, donde se mezcla la actividad mercantil con suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico de esta zona no tiene su origen ni su destino dentro de la zona, caracterizada por la presencia de un número moderado de peatones.



- Centros periféricos: de menor entidad que el centro, aunque de características similares, con diferencia de que se observa una mezcla de tráfico de paso con el existente dentro de la propia zona.
- Zonas residenciales: son aquellos en las que predominan el uso residencial, y se caracteriza por tener una baja densidad peatonal y renovación de estacionamiento muy baja.

5.3.2 Nivel de servicio

Analizar los volúmenes de tráfico es útil para conocer la naturaleza del tráfico en un área, pero este no nos indica la capacidad de la vía para absorber un flujo adicional, tampoco nos describe el funcionamiento de la vía o intersección. Por esta razón se ha desarrollado el concepto de nivel de servicio.

El nivel de servicio es definido como una medida cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro de la corriente de tránsito y su percepción por el conductor y el pasajero.

Los niveles de servicio cuantifican las medidas de actuación o medidas que representan la calidad de servicio. El HCM define seis niveles de servicio, del nivel A al F, siendo el nivel A la mejor condición de operación y el nivel F el peor.

Estos niveles se utilizan para trasladar resultados numéricos complejos en un sistema simple. Sirven para establecer cuando una actuación o cambio es aceptado y cuando no,



en cuanto a la calidad de servicio, proporcionando una nomenclatura común a la hora de describir las condiciones de operación.

El Highway Capacity Manual 2010 define los niveles de servicios mediante uno o dos factores instrumentales que pueden medirse y que son los mas representativos del estado de circulación para el tipo de elemento de carretera que se este estudiando.

A continuación, definimos los niveles de servicio:

- Nivel A: alto grado de libertad funcional.
- Nivel B: circulación estable, aunque condicionada para los vehículos mas rápidos.
- Nivel C: circulación estable, aunque considerablemente condicionad.
- Nivel D: representa alta densidad, pero un flujo estable.
- Nivel E: representa condiciones de operación muy cercanas al nivel de mínima capacidad.
- Nivel F: se usa para definir un flujo forzado, o los embotellamientos.

Estos niveles de servicio son obtenidos a partir de la demora media obtenida, concepto que se atribuye a molestias, retrasos o tiempo de viaje perdido por el conductor.

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	≤ 10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Tabla 1. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas.



Es posible tener demoras en el rango del nivel de servicio F (inaceptable) cuando la relación v/c es menor que 1.00, quizás con valores bajos como de 0.75 a 0.85. En estas relaciones pueden ocurrir grandes demoras cuando existan algunas de las condiciones siguientes:

- ✓ La duración del ciclo es grande.
- ✓ El grupo de carril o acceso en cuestión se ve en desventaja (teniendo un tiempo rojo largo) por los tiempos de semáforo.
- ✓ La sincronía de semáforos para los movimientos estudiados es pobre.

Puede presentar las siguientes condiciones cuando un grupo de carril o acceso la relación $v/c=1.00$.

- ✓ La duración del ciclo es corta.
- ✓ La sincronía de semáforos es favorable para el movimiento en estudio.

5.4 Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

Para determinar el nivel óptimo del flujo vehicular en una intersección, se utilizará el Highway Capacity Manual 2010, específicamente el capítulo 18 “Intersecciones Semaforizadas”, donde se evalúan la capacidad y el nivel de servicio proporcionado a los usuarios a través de intersección semaforizada.



Tanto el nivel de servicio como la capacidad son fundamentales para definir como se encuentra la intersección en el momento del análisis y poder decir con certeza como se esta llevando a cabo el trafico diariamente.

Para determinar la capacidad o el nivel de servicio, es imprescindible entender en primer lugar la forma en que se agrupan los carriles, identificados como: movimientos por carriles o movimientos por grupos de carril (GC). También se debe analizar por grupos de carriles los cuales acceden a una intersección e identificar la demora media en parada por GC de la intersección, siendo este afectado por la calidad de progresión, de la duración de la fase en verde, del ciclo y de la capacidad.

Cuando es aplicado esta metodología, el nivel de análisis puede describirse en tres niveles:

- Operacional
- Diseño, y
- Planificación e ingeniería preliminar

El análisis operacional requiere de una detallada información sobre las condiciones prevalecientes del transito, el camino y la semaforización, obteniendo un análisis de la capacidad y del nivel de servicio, pudiendo evaluar diseños geométricos alternativos como y/o planes de semáforos.

El análisis operacional podrá utilizarse en la mayoría de los análisis para las intersecciones existentes o situaciones futuras en la cual el transito, la geometría y los parámetros de control sean bien establecidos, pudiendo definir:



1. El nivel de servicio, conociendo los detalles del flujo de la intersección semaforizada y la geometría.
2. Los valores de flujo de servicio permitidos para un nivel de servicio seleccionado, conociendo los detalles de semaforización y geometría.
3. El tiempo para las fases conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles de flujo y geometría.
4. La geometría básica (numero o distribución de carriles) conociendo el nivel de servicio deseado y los detalles de flujo y semaforización.

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

Por último, la planificación e ingeniería preliminar requiere solo de información del analista. Para los otros datos de entrada se toman unos valores por defecto.

5.4.1 Determinación de la capacidad y el nivel de servicio

1. Determinación grupos de movimiento y grupos de carriles

La determinación de los grupos de carriles se definen como uno o más carriles en el acceso que sirven a uno o más movimientos vehiculares. Dividir la intersección en grupos de carriles es importante, ya que se estaría considerando la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos del tránsito. Los carriles se agrupan por ramales y trayectorias.

Podría aplicarse las siguientes reglas para determinarlo:



- Debe considerarse como grupo de carril al carril o carriles exclusivos de vuelta izquierda y vuelta a derecha.
- El resto de carriles deben considerarse como un solo grupo de carril.
- En un acceso con mas de un carril incluya uno que pueda ser usado tanto por los vehiculos directos como los de vuelta a izquierda, es necesario determinar si existe un equilibrio en su uso o el numero de vueltas izquierdas es tanta que funciona como carril exclusivo de vuelta izquierda.

Designar un grupo de movimiento es util para especificar los datos de entrada mientras que el grupo de carril es util para la descripcion de los calculos asociados con la metodologia.

Se deben cosiderar algunas reglas para determinar grupos de movimientos en una interseccion, estas son descritas a continuacion:

- Se designa como grupo de maniobras de giro al conjunto de movimientos realizado desde uno o más carriles exclusivos y carriles no compartidos.
- Otro grupo de maniobras formaría parte del conjunto de carriles no asignado en el grupo anterior.

La tabla 2 muestra los grupos de movimientos y grupos de carriles mas comunes que se utilizan para el analisis.

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:  MG 3: 	LG 1:  LG 2:  LG 3: 

Tabla 2. Grupos de carriles y grupos de movimientos

2. Obtencion de la intensidad por grupos de movimientos

Se debe determinar la intensidad de cada grupo de movimiento. Si observamos la tabla 2 vemos que en el caso de que el movimiento de giro es atendido por uno o mas carriles exclusivos, entonces la intensidad de esos carriles son considerado como un solo grupo de movimiento y si existe un carril compartido, en el cual sigue en su direccion y tambien gira a la derecha, debemos considerar que se comportaria como un solo grupo de movimiento.

De esta forma podemos obtener la intensidad de cada grupo de movimiento, sabiendo que habra casos en los cuales la intensidad de los grupos de movimiento y los grupos de carriles sera la misma.



3. Obtencion de la intensidad por grupo de carriles

Se debe determinar la intensidad de cada grupo de carriles. Si existen uno mas carriles compartidos en la actuacion y dos o mas carriles, entonces la intensidad por grupo de carril se basa en el deseo que asumen los conductores al elegir el carril que minimice su tiempo en la interseccion.

4. Obtencion de la tasa de flujo de saturacion (S)

Para determinar la intensidad de saturacion de cada grupo de carril, se aplica la siguiente ecuacion según el HCM 2010, utilizando factores que se ajustan a la intensidad base, siendo esta 1900 vehiculos/carril/ hora, el cual se ajusta a una variedad de condiciones prevalecientes que no son ideales.

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

En donde:

s_o = intensidad de saturacion base, generalmente (1900 veh/h/carril)

f_w =factor de ajuste por ancho de carril.

f_{HV} =factor de ajuste por la presencia de vehiculos pesados.

f_g = factor de ajuste por pendiente o inclinacion de acceso.

f_p = factor de ajuste por la presencia 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 area.

f_{LU} = factor de ajuste por utilizacion de carril.

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



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

f_{Lpb} = factor de ajuste por movimiento a la izquierda de peatones.

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

Intensidad de saturacion base (s_o)

Se representa el valor promedio de intensidad para un trafico que tenga unas condiciones evaluadas de 1.00 es decir se asume que la fase verde siempre esta disponible para cada acceso, o sea que la relacion g/C fuera 1.00. Dicho valor es de 1900 vehiculos/carril/hora según el HCM de 2010.

Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)

El ancho de carril se tiene en cuenta por el impacto que ejercen los carriles estrechos en la intensidad de saturacion, asi como tambien ejercen incremento de intensidad producidos por carriles anchos. El ancho estandar es de 3.65 metros. En el caso de que el ancho del carril fuese mayor de 4,8 metros de ancho, deberia analizarse como dos carriles, sabiendo que al usar dos carriles siempre conllevara un alto flujo de saturacion que un unico carril. Por ningun motivo se debe calcular un ancho menor a 2.4 metros. Para este caso el HCM 2010 de acuerdo al ancho de los carriles maneja factores unicos, como se indican a continuacion en la tabla 3.

Promedio ancho de carril (m)	Factor ajuste ancho de carril (f_w)
<3.00	0.96
≥3.0-3.92	1.00
>3.90	1.04

Tabla 3. Factor de ajuste por ancho de carril



Factor por vehiculos pesados (f_{HV})

Este factor tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehiculos pesados y las diferentes paradas en relacion con los vehiculos ligeros.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{hv} \cdot (E_t - 1)}$$

En donde:

P_{hv} = porcentaje de vehiculos pesados en el grupo de carriles

$E_t = 2$ (para camiones y autobuses)

Factor de ajuste por inclinación del acceso (f_g)

Este factor tiene en cuenta el efecto de las rampas y pendientes en cualquier operación de los vehículos.

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

En donde:

P_g = efecto de la inclinación para un grupo de movimiento correspondiente (%). Tiene un rango de -6% a 10%.



Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento (f_p)

Este factor es primordial en la obtención de la tasa de flujo de saturación porque este tiene en cuenta el efecto de fricción que el carril de estacionamiento ejerce sobre el grupo de carriles en conjunto, es decir este ocasiona bloqueos en los carriles por la entrada y salida de los vehículos que utilizan los aparcamientos. Si no presenta aparcamiento, este factor será equivalente a 1, pero en el caso de que si presente, se debe tener en cuenta que las maniobras tienen una duración promedio de 18 segundos y debe ser evaluado por la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - (18 \cdot \frac{N_m}{3600})}{200}$$

En donde:

N = es el numero de carriles en el grupo de carriles.

N_m = es el numero de maniobras por hora en 75 metros aguas arriba, y con limite de 180.

$f_p=1$ (si no hay aparcamiento).

$f_p \geq 0.05$ (se entiende que cada maniobra estorba 18 segundos).

Factor de ajuste por bloqueo de autobuses locales en la zona de estudio (f_{bb})

Este factor tiene en cuenta el impacto de los autobuses de circulación que se da por recoger y descargar pasajeros en la zona interior o posterior de la intersección, en una



distancia comprendida entre 76 metros a la línea de parada. Para obtener el valor de este factor, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \left(\frac{14.4 \cdot N_b}{3600}\right)}{N}$$

En donde:

N = es el numero de carriles en el grupo de carriles.

N_b = es el numero de buses parando en 75 metros aguas arriba o aguas abajo y con un limite de 250.

$$f_{bb} \geq 0.05$$

El numero de paradas es primordial en el momento del análisis, en el caso de que se presenten mas de 250 autobuses/hora se debe ajustar como limite practico y se debe considerar un tiempo de bloque de 14.4 segundos durante la fase verde.

Factor de ajuste por tipo de área (f_a)

Es importante identificar el tipo de zona a analizar ya que, en las zonas comerciales existe una mayor complejidad y congestión, debido a condiciones como: estacionamientos, carriles angostos, paraderos, entre otros. El manual recomienda que si se presentan condiciones como la antes mencionadas que se utilice un factor de área (f_a) de 0.90.



Factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU})

Es utilizado para estimar la tasa de saturación de flujo para un grupo de carriles con mas de un carril exclusivo. Si el grupo de carriles tiene carriles exclusivos, entonces este factor en 1.0.

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

Al realizar giros a la izquierda ya sea en modo permitido o protegido, indican una disminucion en la velocidad del automovil, por esta razon debe considerarse este factor ya que influye en el aumento de fases, disminuyendo la caopacidad de la interseccion, aumentando la demora e incrementa los atascos. Para calcular su valor se utiliza la expresion que se muestra a continuacion:

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

En donde:

E_L = es el número equivalente de vehículos que giran a la izquierda en modo protegido. Será igual 1.05.

Si el movimiento de giro a izquierda comparte con otro movimiento o ha permitido la operación, entonces el procedimiento descrito en el capítulo 31 del HCM debe utilizarse para calcular el ajuste de tasa de flujo de saturación para el carril compartido del grupo



de carriles. El efecto de peatones en la tasa de flujo de saturación de giro a la izquierda es considerado en un factor de ajuste separado.

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

Este al igual que el factor de giros a izquierda produce demoras significativas ya que posee puntos de conflictos con los peatone, y ciclistas. Los giros a la derecha se pueden realizar de dos modos permitidos y protegidos.

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

En donde:

E_R = es el número equivalente de vehículos que giran a la derecha en modo protegido. Será igual 1.18.

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



Factor de ajuste en los giros por cruce de peatones y ciclistas (f_{Lpb}, f_{Rpb})

Para determinar estos factores se debe tener en cuenta el movimiento de peatones y ciclistas en las intersecciones semaforizadas. Lo importante es la interacción que tiene el

peaton con el ciclista en la misma fase con los vehiculos, quienes estan en la zona de conflicto, a continuacion observamos como se determinan estos factores:

- Promedio de ocupación de los peatones

Para determinar el flujo de peatones durante un tiempo de servicio de los mismos (V_{pedg}) se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_{pedg} = V_{ped} \cdot \left(\frac{c}{g_p} \right) \leq 5000$$

En donde:

V_{pedg} = flujo de peatones durante el tiempo de servicio (p/h)

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

c = ciclo (seg)

g_p = tiempo de servicio de peatones (seg)

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

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



Sin embargo, si el flujo de peatones es superior a 1000 p/h, entonces se sigue la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = 0.4 \cdot \left(\frac{V_{pedg}}{2000} \right) \leq 0.90$$

- Promedio de ocupación por los ciclistas

Este promedio se realiza de la misma forma que para la determinación de la ocupación promedio de peatones. A continuación se muestra la fórmula para calcular el flujo de ciclistas durante la fase verde:

$$V_{bicg} = V_{bic} \cdot \left(\frac{c}{g} \right) \leq 1900$$

En donde:

V_{bicg} = flujo de ciclistas durante la fase de verde (ciclistas/h) V_{bic} = flujo de ciclistas (ciclistas/h)

c = Ciclo (seg)

g = tiempo efectivo de verde (seg)

Obtenido el flujo de ciclistas/h, se calcula el promedio de ocupación de ciclistas con la siguiente ecuación:

$$OCC_{bicg} = 0.02 + \frac{V_{bicg}}{2700}$$



- *Zonas de conflictos ocupacional relevantes*

Con las ecuaciones que se muestran a continuación, se determina la zona de conflicto de la zona de ocupación utilizado 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_r).

$$OCC_r = \frac{V_{bicg}}{2700} \cdot OCC_{pedg}$$

Esta ecuación nos ofrece la zona de conflicto ocupacional relevante y se basa en dos factores:

- a) El cruce de peatones se lleva a cabo durante el período de tiempo asociado con g_{ped} .
- b) El no cruzar ocurre durante el período de fase en verde $g - g_{ped}$, cuando existe este período de tiempo.

Además, esta ecuación se utiliza para movimientos de giro a la derecha implicando el movimiento de peatones y ciclistas, con todas las variables ya definidas anteriormente.

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



Factor de ajuste

Por último, para determinar el factor de ajuste (f_{Lpb} y f_{Rpb}), tanto para el movimiento de giro a la derecha como para el 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}) debe ser determinado por medio de observaciones de campo, ya que algunos vehículos pueden realizar giros ilegales desde un carril exterior o debido a que los movimientos de giro apropiados se encuentran obstaculizados por el estacionamiento de vehículos en doble fila. Por tanto, se consideran dos condiciones:

1. Si el número de carriles receptores es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giren tendrán la posibilidad de maniobrar esquivando ciclistas y

peatones; el factor de ajuste entonces es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada. Esto se muestra en la ecuación 16:

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

2. Si el número de carriles receptores excede del número de carriles de giro, los vehículos que giran pueden maniobrar para esquivar los peatones y ciclistas, reduciendo los efectos de la intensidad de saturación de peatones y ciclistas. Este caso se utilizar la siguiente ecuación:



$$A_{pbT} = 1 - 0.6 \cdot OCC_r$$

Una vez determinados estos factores de ajuste, los factores de ajuste de intensidad de saturación tienen en cuenta los efectos de peatones y los ciclistas en la intensidad de saturación de vehículos que giran, y dependen de la proporción de tráfico de giro que utilizan las fases protegidas. Para operaciones de giros a la derecha permitidos en un carril exclusivo, la ecuación que se muestra a continuación calcula el factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas.

$$f_{Rpb} = A_{pbT}$$

Para operaciones protegidas y permitidas en un carril exclusivo, el factor de la ecuación 18 es utilizada para calcular el ajuste de intensidad de saturación durante el período permitido. El factor tiene un valor de 1,0 cuando es utilizado para calcular el ajuste de intensidad de saturación durante el período protegido.

Y, finalmente, para operaciones de giros a la izquierda en calles de un solo carril, la ecuación 19 es utilizada para calcular el factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones.

$$f_{Lpb} = A_{pbT}$$



5. Determinar la duracion de fase de semaforo

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

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

6. Determinar la capacidad y la proporcion volumen- capacidad

La capacidad de las intersecciones esta basada en el concepto de flujo de saturacion, el numero de carriles y la proporcion de verde efectivo en el grupo de carriles. La capacidad esta dada para los grupos de carriles de un movimiento de trafico y esta definida por la siguiente ecuacion:

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



En donde:

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

N=número de carriles

s= intensidad de saturación (veh/h)

g/C= proporción de verde efectivo del grupo de carriles

Otro concepto de capacidad en el análisis de intersecciones semaforizadas es la proporción volumen capacidad (v/c) para un grupo de carril y esta definida como se muestra a continuación:

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

En donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)

7. Determinar la demora

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



El control de demora para un determinado grupo de carriles se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d = d_1 + d_2 + d_3$$

En donde:

d = demora por vehículo debido al control del tráfico (s/veh)

d_1 = demora para ritmo de llegadas constante

d_2 = incremento de demora por aleatoriedad de llegadas y sobresaturación de colas.

d_3 = demora inicial debido a la cola en el inicio del periodo de análisis.

La demora uniforme d_1 , representa una forma para calcular la demora cuando las llegadas son asumidas aleatoriamente a lo largo de todo el ciclo. También asume un periodo de verde efectivo durante el ciclo y una tasa de flujo de saturación durante este periodo, esta demora se hallará utilizando la siguiente ecuación:

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



En donde:

d_1 = demora uniforme (s/veh)

C= Duración del ciclo (seg). (Se trata de la 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

Con relacion a la demora incremental, esta toma en cuenta la demora debido a la variacion aleatorias en el numero de llegadas en un ciclo base. Esto depende de la relacion v/c del grupo de carriles (X), de la duracion del perioso de analisis (T) y la capacidad del grupo de vias (c). La siguiente ecuacion asume que no hay demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del periodo de analisis (T).

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

En donde:

d_2 = demora incremental (s/veh)

T= duración del ciclo (h)

X= relación v/c del grupo del carriles c= capacidad (veh/h)



Por ultimo la demora por cola inicial (d_3), esta 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 subsecuente. Por lo tanto, esta demora debe agregarse cuando exista una cola inicial, si ningún grupo de carril tiene una cola inicial entonces la demora por cola inicial es igual a cero. La expresión que se utilizara para su calculo es la siguiente:

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

En donde:

d_3 = demora por cola inicial (s/veh)

Q_b = cola inicial al comienzo del período T (veh)

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

T= duración del período de análisis (h)

t= duración de la demanda insatisfecha en T (h) u= parámetro de demora

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



El siguiente metodo es un metodo abreviado y es el que utilizaremos en nuestro analisis, el cual incluye el factor de ajuste de progresion.

$$d = d_1 \cdot PF + d_2$$

En donde:

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

Y las demas variables fueron definidas anteriormente.

Este factor es calculado con la siguiente ecuacion:

$$PF = \frac{\left(1 - 1.33 \cdot \left(\frac{g}{C}\right)\right)}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)}$$

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

Si la progresión es buena, una gran cantidad de los vehículos llega a la intersección en verde y la demora uniforme tendrá poca incidencia en la demora total, mientras que una mala progresión hace que una gran cantidad de vehículos lleguen en rojo y, por lo tanto, la demora uniforme es importante.



8. Determinar el nivel de servicio

Se utiliza la tabla 1 para determinar el nivel de servicio para cada grupo de carriles en, cada enfoque y cada intersección como un conjunto. El nivel de servicio es una inclinación de aceptabilidad de los niveles de demora para automovilistas en la intersección. También puede indicar una operación sobresaturada inaceptable para grupos de carriles individuales.

6 CARACTERIZACIÓN

6.1 Caracterización del tramo

El tramo estudiado este situado al Norte de la ciudad de Santo Domingo, esta constituido por un distrito municipal llamado La Victoria y las secciones de: Villa Mella, Sabana Perdida, El Higüero y La bomba de Villa Mella, nuestra área de estudio esta ubicada en la sección de Sabana Perdida específicamente. La Charles de Gaulle se podría considerar como una de las avenidas mas transitadas ya que comunica el municipio de Santo Domingo Este con el Municipio de Santo Domingo Norte, en sus proximidades se encuentran elementos que hacen que esta intersección adquiera gran importancia en el municipio de Santo Domingo Este, tales como: el Supermercado Ole, centros educativos, centros comerciales, parques entre otros.

Como se puede apreciar en la figura 4, nuestro tramo de estudio solo posee una intersección, y esta será estudiada a continuación de una manera detallada.

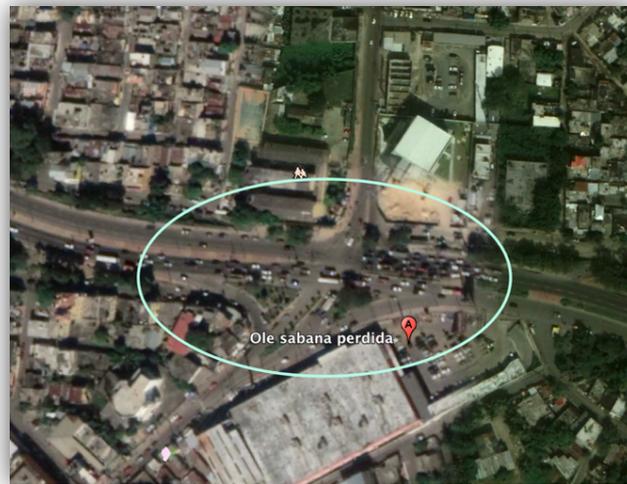


Figura 4. Localización del tramo de estudio.

En esta intersección el mayor flujo vehicular procede de la avenida Charles de Gaulle. La característica geométrica de la avenida varia a lo largo de la misma dependiendo de su ubicación, pasando de 3 a 4 carriles en sus dos sentidos, para los diferentes tramos. En el tramo a estudiar posee un ancho de 30.00 m incluyendo calzadas y separador central, conformado por dos calzadas (una por sentido) de 4 carriles, de 3.25 m cada uno. Por la calzada es movilizad el transporte publico y el particular, así como algunas bicicletas por la falta de carriles bici. No existen pasos peatonales ni tampoco semáforos peatonales.

La carretera La Victoria forma parte de la intersección, siendo la avenida secundaria del tramo a estudiar. Las características geométricas que esta posee varia a lo largo de la misma, pasando de 3 a 4 carriles en una de sus vías. Por esta vía es movilizad tanto el transporte publico como el privado, así como también algunas bicicletas por la inexistencia de carriles bici, no posee pasos peatonales ni tampoco semáforos.

En esta carreta se encuentra la cárcel La Victoria, siendo esta una de las mas grande del país y se encuentra en este municipio, aparte centros educativos y centros comerciales.



Dado que en la dirección Sur- Norte de la avenida Charles de Gaulle existe el Hospital Traumatológico Dr. Ney Arias Lora y el Hospital Pediátrico Dr. Hugo Mendoza, estos son los centros mas completos de la zona, podríamos decir que la avenida Charles de Gaulle es la mas transitada de Santo Domingo Este, también comunica el comunica la zona este con la zona norte de la ciudad.

6.1.1 Caracterización del transporte urbano

En el tramo estudiado el transporte urbano que se maneja se debe obtener la información sobre los movimientos que se producen en los centros de atractores y receptores cerca de la intersección. En el estudio que nos ocupa, se encuentran lugares con una gran afluencia de vehículos y peatones, lo que conlleva bastante trafico en horas punta, ya que la intersección se utiliza para acceder a distintos lugares tales como: centros educativos, supermercados, hospitales, entre otros.

En cuanto al transporte publico, el transporte en Republica Dominicana podemos decir que es bastante deficiente, y mas en la ciudad de Santo Domingo donde se concentra el mayor flujo de vehículos del país. Desde hace algunos años se han venido creando instituciones con el objetivo de resolver la problemática existente en materia de transporte.

Hay que resaltar que se ha avanzado en ese sentido, dando pasos cuantitativos al respecto, pasando del uso de un sistema de transporte exclusivo de autobuses a un moderno sistema de metro y de manera mas reciente, el teleférico de santo domingo.



Existe un sistema de autobuses, la cual presta servicio de transporte publico de pasajeros en Santo Domingo Y Santiago, pero este sistema no ha sido suficiente para competir con el servicio prestado por el sector privado, donde recaen los sindicatos, asociaciones o personas físicas.

Los sindicatos prestan servicios de autobuses en el cual no poseen paradas definidas, solo se estacionan donde el pasajero le diga, generando demoras para los otros vehículos. Además de esto, aparte del conductor del autobús, esta el “cobrador” el hombre que esta en la puerta del autobús, hablando con tono alto de voz, sus diferentes rutas.

Otro tipo de transporte que tiene mucha presencia en el país son los llamados “Motoconchos”, personas que en motocicletas transportan a otros al estilo de “mototaxi”, llegando a verse casos donde 4 personas ocupan motocicletas, a veces niños sin ni siquiera la protección de un casco.

6.1.2 Señales de transito

Las señales tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre su uso, además de guairar al usuario, suministrándole información necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turísticos, distancias por recorrer, etc.; y advertir al usuario la existencia de alguna condición peligrosa.

6.1.3 Caracterización de la intersección de estudio

Para analizar la intersección descrita mas arriba, en esta se identifican distintos tipos de giro, en las siguientes imágenes se podrá observar, los movimientos vehiculares se dan.

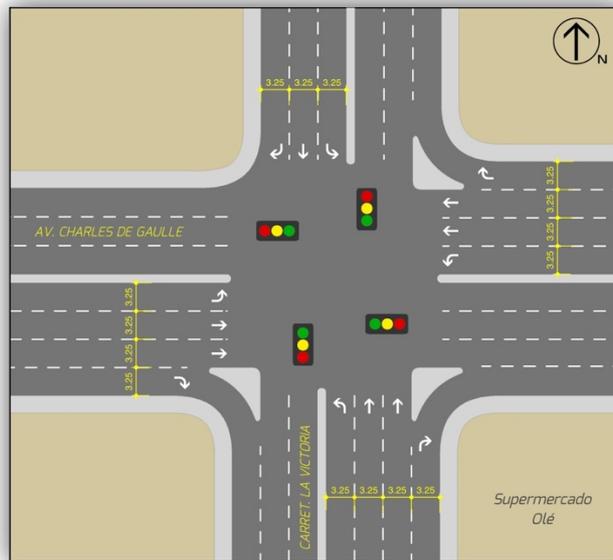


Figura 5. Descripción física y movimientos de la intersección.

Esta intersección cuenta con 4 carriles que operan de Norte a Sur, cada uno de estos con 3.25 metros de ancho. El carril más situado al oeste es un carril exclusivo de giro a la derecha, y el carril ubicado al este es exclusivo de giro a izquierda. Los demás carriles no permiten giros, siendo todos ellos unidireccionales. De Sur a Norte se da la misma situación, dos carriles exclusivos para izquierda y derecha y dos carriles unidireccionales. De este a oeste, operan 4 carriles, cada uno con 3.25 metros de ancho. El carril más situado al sur es de uso exclusivo para giro a la izquierda al igual que el carril situado al norte, este es de uso exclusivo a la derecha.

Los demás carriles no permiten giros, comportándose como carriles unidireccionales. De Oeste a Este, solo operan 3 carriles, cada uno de 3.5 metros.

6.2 Toma de información

Para cumplir con los objetivos propuestos, se debe tener información de volúmenes vehiculares y peatonales, en nuestro caso solo vehiculares, ya que en nuestra intersección no poseemos semáforos peatonales ni pasos peatonales. Todo esto con el fin de establecer variables de tránsito que describan cuantitativamente las características de flujo vehicular.

Esta información se ha obtenido mediante aforos distribuidos en diferentes zonas de la intersección, con el fin de poder abarcar todo el ámbito de estudio. Los aforos se realizaron con ayuda de estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Santo Domingo.

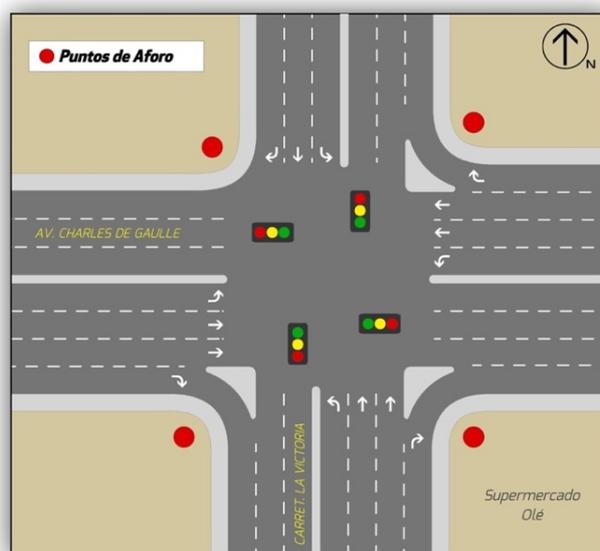


Figura 6. Puntos de aforos en la intersección.



6.2.1 Volúmenes vehiculares

La finalidad de los aforos de volúmenes vehiculares es poder establecer la capacidad y el nivel de servicio en la intersección de estudio. Con estos aforos se obtiene:

- Clasificación vehicular
- Movimientos direccionales en la intersección semaforizada
- Dirección de recorridos.
- Uso de carriles

Se decidió hacer conteos en días considerados representativos, en este caso, martes. Miércoles y jueves. Los lunes, viernes y fines de semana se descartaron por ser considerados por días atípicos en lo que a comportamiento de tránsito se refiere.

En cuanto el volumen vehicular de la intersección, se aprecian diversos giros que son los que presentan mayor demanda de tráfico. El giro a la izquierda que proviene de la avenida Charles de Gaulle, son los giros con una alta demanda de tráfico con cerca de los 800 veh/hora. Los movimientos unidireccionales que provienen de avenida Charles de Gaulle también poseen demandas muy significativas.

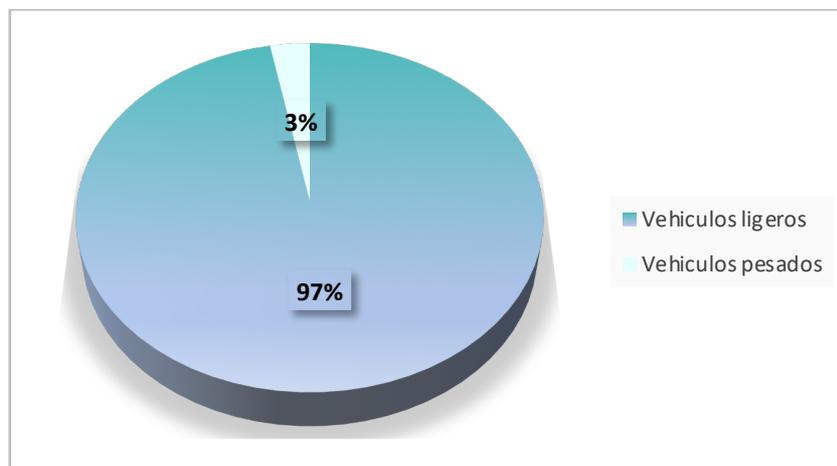
6.2.2 Volúmenes peatonales

Los volúmenes peatonales tienen como finalidad medir la cantidad de personas que circulan en las instalaciones peatonales del tramo, para así poder establecer la capacidad y el nivel de servicio, que están prestando las instalaciones.

En nuestro caso, los volúmenes peatonales no podrán ser contabilizado, ya que como mencionamos anteriormente no contamos con pasos peatonales ni semáforos peatonales.

6.2.3 Composición vehicular

La composición vehicular de la intersección se representa en la grafica 1 obtenida a partir de los datos de aforos insitu. Como se observa, el volumen de pesados es inferior al volumen de vehículos ligeros. Al ser una intersección urbana, el acceso de vehículos pesado es bastante bajo, por esto el porcentaje de de vehículos pesados ronda en torno al 2-3% dependiendo de la hora, siendo los principales vehículos pesados los vehículos de transporte publico.



Grafica 1. Composicion vehicular de la interseccion.



6.3 Problemática de la intersección

Como se ha mencionado previamente, el objetivo de este estudio es analizar la capacidad y funcionalidad de intersección semaforizada definida, y así poder mejorar el conflicto que se observa en ella.

La problemática en esta intersección se produce en horas específicas, estas son las denominamos horas punta y, son las comprendidas entre 7:00 – 9: 00 horas de la mañana y las 17:00 – 19:00 horas de la tarde. Estos intervalos coinciden con el inicio y fin de la

jornada laboral. En estas horas son producidas las congestiones en diferentes zonas de la intersección.

Lo que ocasiona el conflicto en la intersección, son los vehículos que giran a la izquierda, una vez que dispone de la fase verde, realizan su giro a izquierda, lo que ocasiona una gran acumulación de vehículos, bloqueando los carriles habilitados para la circulación al frente cuando esta en su fase verde.

En los siguientes capítulos se hará énfasis en este giro a la izquierda de la intersección y también se estudiará los grupos de carriles que circulan hacia el frente, con la finalidad de resolver el problema con diferentes alternativas, seleccionando la mas conveniente para disminuir esa congestión y liberar de flujo vehicular la intersección.

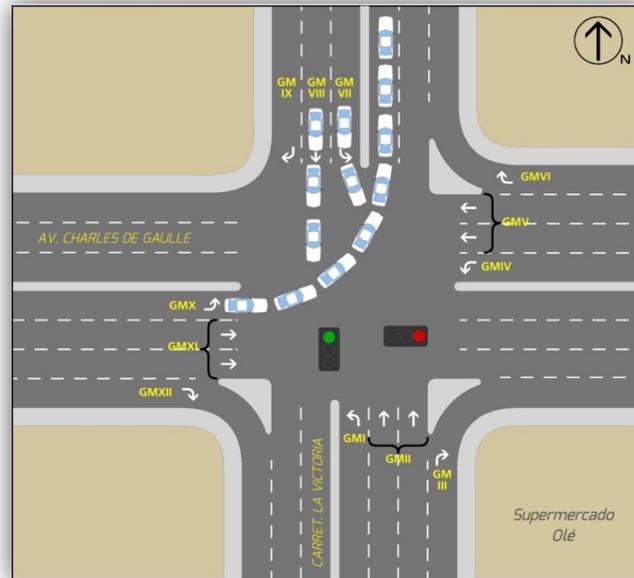


Figura 7. Punto de conflictoS

7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA CON EL HCM 2010

En este apartado se muestra el calculo de la capacidad y el nivel de servicio actual de la intersección semaforizada, utilizando la metodología definida previamente, con el fin de mejorar la capacidad de esta.

Para el análisis de los datos se necesitan unos parámetros de entrada descrito en la tabla 4 con el fin de poder realizar todos los pasos de la metodología descrita.

Condiciones geométricas	Numero de carriles
	Ancho de carril
Condiciones de trafico	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)

Tabla 4. Parametros requeridos para el analisis operacional

Algunos de estos parámetros de entrada son obtenidos en las horas punta descritas en los apartados anteriores.

A continuación, se especifican los parámetros requeridos para el análisis operacional.

Condiciones geométricas

Las características geométricas necesarias para la realización del análisis se obtuvieron con medidas en campo.

- Avenida Charles de Gaulle S-N
4 carriles, con un ancho de 3.25 m.



- Avenida Charles de Gaulle N-S
4 carriles, con un ancho de 3.25 m.
- Carretera La Victoria O-E
3 carriles, con un ancho de 3.25
- Carretera La Victoria E-O
4 carriles, con un ancho de 3.25

Condiciones de trafico

Para los volúmenes de trafico se ha considerado utilizar la media de los volúmenes de cada hora punta.

- Grupo de carriles 1: 352 veh/h
- Grupo de carriles 2: 1108 veh/h
- Grupo de carriles 3: 205 veh/h
- Grupo de carriles 4: 734 veh/h
- Grupo de carriles 5: 1823 veh/h
- Grupo de carriles 6: 634 veh/h
- Grupo de carriles 7: 309 veh/h
- Grupo de carriles 8: 332 veh/h
- Grupo de carriles 9: 244 veh/h
- Grupo de carriles 10: 612 veh/h
- Grupo de carriles 11: 1632 veh/h
- Grupo de carriles 12: 623 veh/h

Condiciones de señalización

En este caso no serán tomadas en consideración ya que en nuestra zona de estudios no poseemos carriles bici, pasos peatonales ni semáforos peatonales.

a. Determinar numero de movimientos y grupos de carriles

Para definir los grupos de movimientos y grupo de carriles utilizaremos las bases establecidas en apartados anteriores. Para la intersección se obtendrán una serie de grupos de movimientos y grupos de carriles, los cuales se han establecido según las maniobras que realizan los conductores sobre los diferentes carriles. En nuestro caso, los grupos de movimientos coinciden con los grupos de carriles.



Figura 8. Grupo de carriles y movimientos I,II y III

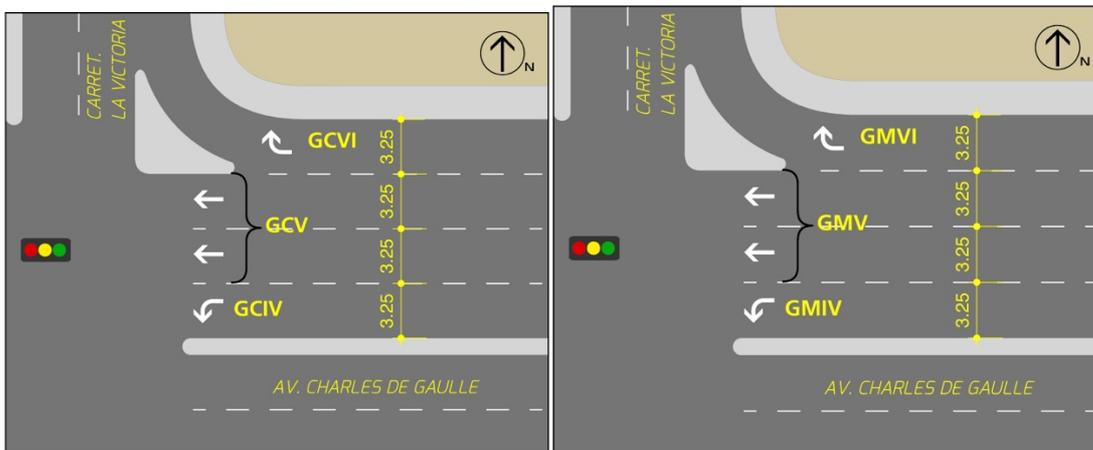


Figura 9. Grupo de carriles y movimientos IV, V y VI

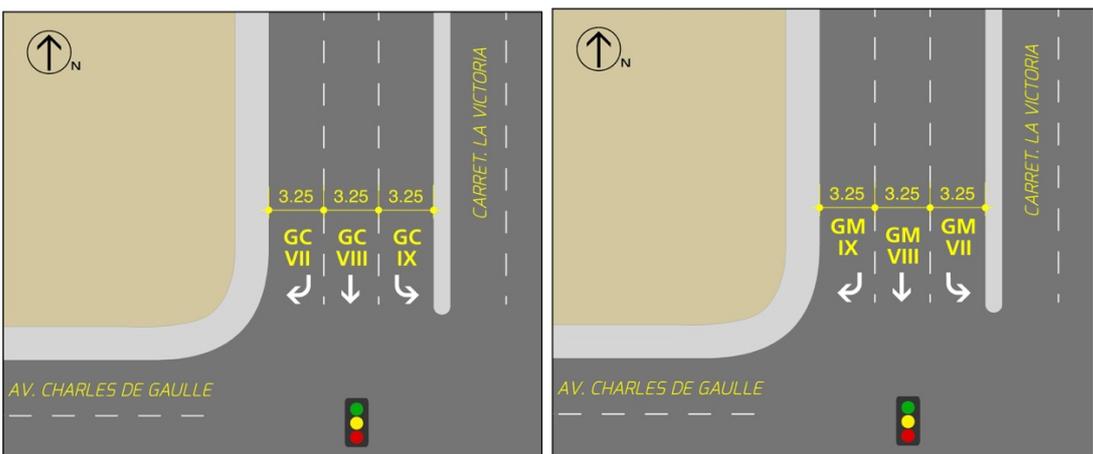


Figura 10. Grupo de carriles y movimientos VII, VIII y IX

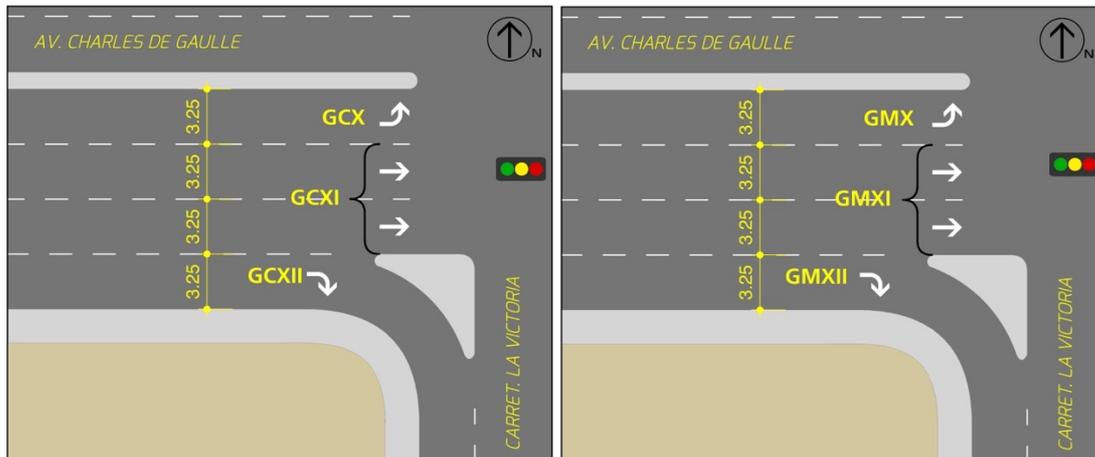


Figura 11. Grupo de carrile sy movimientos X,XI y XII.

b. Determinar la intensidad por grupo de carriles

Luego de haber obtenido los grupos de movimientos y los grupos de carriles, establecemos para cada grupo su intensidad de vehículos por hora. En este estudio nos hemos centrado en las horas punta, en el cual la intersección se ve congestionada. Esto ocurre entre las horas 7:00 – 9:0 y las horas 17:00 – 19:00.

- Grupo de carriles 1: 643 veh/h
- Grupo de carriles 2: 1345 veh/h
- Grupo de carriles 3: 528 veh/h
- Grupo de carriles 4: 1523 veh/h
- Grupo de carriles 5: 2867 veh/h
- Grupo de carriles 6: 943 veh/h



- Grupo de carriles 7: 603veh/h
- Grupo de carriles 8: 632 veh/h
- Grupo de carriles 9: 507 veh/h
- Grupo de carriles 10: 1324 veh/h
- Grupo de carriles 11: 2976 veh/h
- Grupo de carriles 12: 873 veh/h

c. Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

Para obtener el valor de la intensidad de saturación se utilizará la expresión que se muestra a continuación, descrita en apartados anteriores específicamente en el cap. 4. Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base (s_o) que se considera con un valor de 1,900 veh/h/carril.

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

Así pues, se tendrá para cada grupo de carril de la intersección individualizada una intensidad de saturación concreta.

A continuación, presentamos cada grupo de carril con sus respectivas intensidades de saturación. En el anexo se encuentran los cálculos de todos los factores para cada grupo de carril, utilizando las formulas descritas en el apartado num. 4.

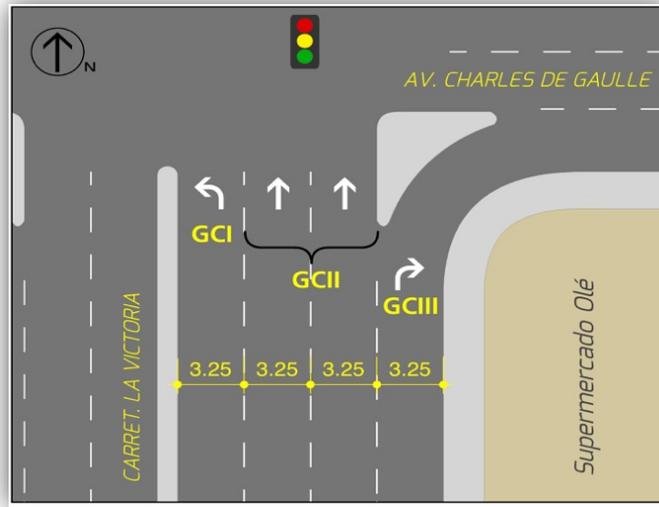


Figura 12. Ambito de estudio – grupo de carriles I,II, y III.

Para cada grupo de carril calculamos los diferentes factores que le afectan obteniendo finalmente su intensidad de saturacion.

	GC1	GC2	GC3
Intensidad de saturacion (S)	1601.03	2824.67	1422.69

Tabla 5. Intensidad de saturacion – grupos de carriles I,II y III

En el anexo 2 se encuentran los calculos de todos los factores para cada grupo de carril partiendo de las formulas descritas en el apartado 4.

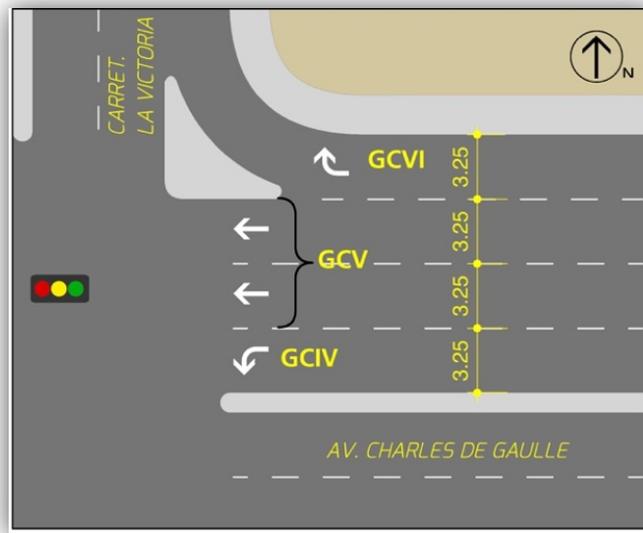


Figura 13. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI

	GC4	GC5	GC6
Intensidad de saturacion (S)	1586.06	2991.31	1688.39

Tabla 6. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V

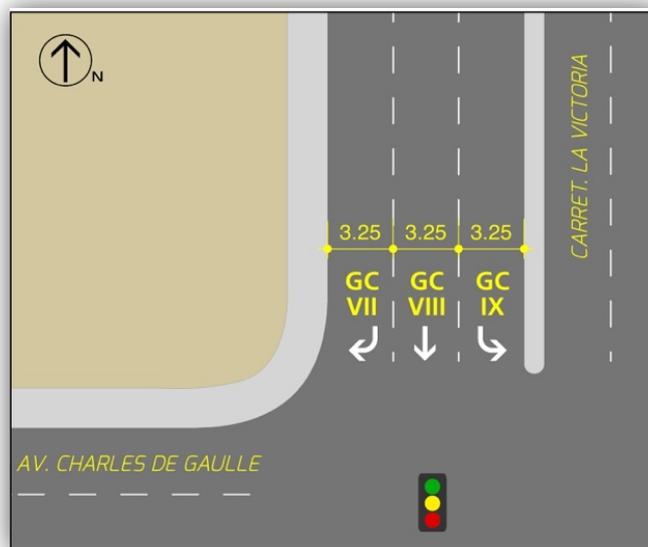


Figura 14. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI

	GC7	GC8	GC9
Intensidad de saturacion (S)	1607.99	1659.39	1431.54

Tabla 7. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V

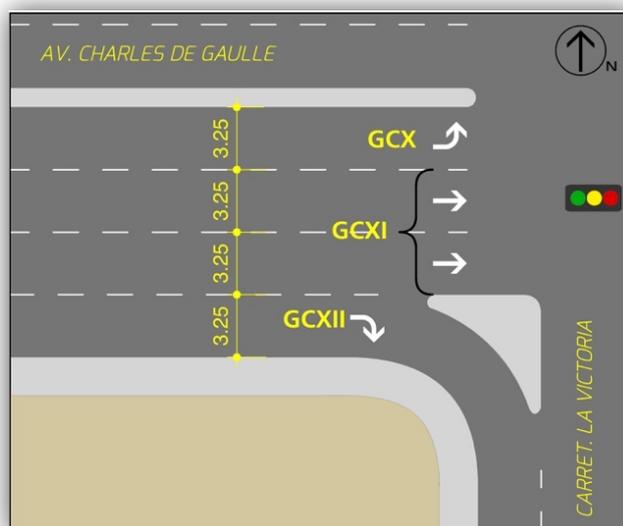


Figura 15. Ambito de estudio- grupos de carriles IV,V y VI



	GC10	GC11	GC12
Intensidad de saturacion (S)	1586.06	3012.87	1688.39

Tabla 8. Intensidad de saturacion – grupos de carriles IV,V y V

d. Determinar la duración de la fase de semáforo

Para determinar la duración de la fase es necesario saber el tipo de control que es utilizado en la intersección, en el caso de que la intersección posea control prefijado, entonces la duración de la fase es una sola entrada y este paso debe ser omitido, en el caso de que la duración de la fase es desconocida, entonces de debe estimar la duración de fase prefijada con cálculos.

En nuestro caso, la intersección posee un control prefijado, por lo que este paso debe ser omitido.

e. Determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad

Recordando lo que se ha comentado previamente, la capacidad de las intersecciones esta basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y numero de carriles.

Por tanto, hallar la capacidad de cada grupo de carriles se utilizará la siguiente expresión.

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

A continuación, se muestra el cálculo de la capacidad para cada grupo de carril.

	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	2	1	1
s	1601.03	2824.67	1422.69	1586.06
g	25	25	25	25
C	120	120	120	120
g/C	0.21	0.21	0.21	0.21
Capacidad	333.55	1176.95	296.39	330.43

Tabla 9. Capacidad para grupos de carriles I, II, III y IV

	GC5	GC6	GC7	GC8
N	2	1	1	1
s	2991.31	1688.39	1607.99	1659.39
g	25	25	25	25
C	120	120	120	120
g/C	0.21	0.21	0.21	0.21
Capacidad	1246.38	351.75	335.00	345.71

Tabla 10. Capacidad para grupos de carriles V, VI Y VII Y VIII

	GC9	GC10	GC11	GC12
N	1	1	2	1
s	1431.54	1586.06	3012.87	1688.39
g	25	25	25	25
C	120	120	120	120
g/C	0.21	0.21	0.21	0.21
Capacidad	298.24	330.43	1255.36	351.75

Tabla 11. Capacidad para grupos de carriles IX, X, XI y XII

Una vez obtenemos los resultados de la capacidad por cada grupo de carril, procedemos al calculo de la proporción volumen – capacidad, basándonos en la ecuación descrita en el apartado 4.

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

	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	333.55	1176.95	296.39	330.43
Vi (veh/h)	352	1108	205	734
X	1.06	0.94	0.69	2.22

Tabla 12. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV

	GC5	GC6	GC7	GC8
Capacidad	1246.38	351.75	335.00	345.71
Vi (veh/h)	1823	634	309	332
X	1.46	1.80	0.92	0.96

Tabla 13. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV

	GC9	GC10	GC11	GC12
Capacidad	298.24	330.43	1255.36	351.75
Vi (veh/h)	244	612	1632	623
X	0.82	1.85	1.30	1.77

Tabla 14. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I,II, III y IV

f. Determinar la demora

Luego de haber calculado la capacidad y la proporción volumen- capacidad se procede a determinar la demora. Como se ha comentado previamente, para el calculo de la demora se ha de tener en cuenta tres conceptos: la demora uniforme, la demora incrementada y

la demora por cola inicial. Además, hay que aplicarle un factor de ajuste de la progresión a la demanda uniforme (PF).

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

La demora por cola inicial d_3 representa la demora experimentada por todos los vehículos que llegan durante el periodo de análisis. Esta demora debe agregarse en caso de que exista cola inicial. En el nuestro no existe cola inicial, por lo que la demora por cola inicial es igual a 0.

Una vez es calculada la demora uniforme, la demora incremental y el factor de ajuste por progresión se puede determinar la demora para cada grupo de carriles de cada intersección.

	GC1	GC2	GC3	GC4
PF	0.91	0.91	0.91	0.91
d1	47.50	46.78	43.93	47.50
d2	64.58	15.48	12.50	559.34
d	107.95	58.20	52.62	602.72

Tabla 15. Demora para grupos de carriles I, II, III y IV

	GC5	GC6	GC7	GC8
PF	0.91	0.91	0.91	0.91
d1	47.50	47.50	46.55	47.01
d2	212.66	372.24	32.89	39.35
d	256.03	415.62	75.40	82.27

Tabla 16. Demora para grupos de carriles V, VI, VII y VIII

	GC9	GC10	GC11	GC12
PF	0.91	0.91	0.91	0.91
d1	45.33	47.50	47.50	47.50
d2	21.50	394.95	140.96	358.40
d	62.90	438.33	184.34	401.78

Tabla 17. Demora para grupos de carriles IX, X, XI y XII

g. Determinar el nivel de servicio

Por último, se determinará el nivel de servicio para cada grupo de carriles de la intersección en función a la demora. Para ello utilizaremos la tabla de niveles de servicios para intersecciones semaforizadas mostrada a continuación.

Nivel de servicio	Demora en segundos
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Tabla 18. Niveles de servicios en función de la demora

	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	107.95	58.20	52.62	602.72
Nivel de servicio	F	E	D	F

Tabla 19. Niveles de servicios para grupos de carriles I, II y III y IV.

	GC5	GC6	GC7	GC8
Demora (s/veh)	256.03	415.62	75.40	82.27
Nivel de servicio	F	F	E	F

Tabla 20. Niveles de servicios para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.

	GC9	GC10	GC11	GC12
Demora (s/veh)	62.90	438.33	184.34	401.78
Nivel de servicio	E	F	F	F

Tabla 21. Niveles de servicios para grupos de carriles IX, X, XI y XII.

Luego de haber obtenido los resultados, observamos que los niveles de servicios se encuentran en D, E y F. Esto nos indica que posee condiciones de tráfico en la que los vehículos tienen demoras significativas en los periodos de hora punta, provocando congestión en diversos puntos de la intersección.

En la siguiente imagen podemos observar que se produce en la intersección.



Figura 16. Vista aerea de la interseccion de estudio.

Con los resultados obtenidos, vemos que el análisis llevado a cabo en la intersección corresponde con la realidad.



8 PRESENTACION Y ELECCION DE PROPUESTAS

8.1 Propuestas

8.1.1 Ampliación de la capacidad física vía y marcas viales

En nuestra vía secundaria, pudimos apreciar como la vía va cambiando de ancho a lo largo que se acerca a la intersección, causando una gran acumulación de vehículos en esta.

En esta primera propuesta por lo descrito anteriormente consideramos que podría considerarse la idea de añadir varios carriles con la finalidad de aumentar la capacidad de la vía.

En esta propuesta también añadimos las marcas viales que en nuestra intersección nos vemos carentes de estas. Por lo que proponemos delimitar los carriles, ya que el hecho de no tener la delimitación invita a los vehículos a realizar movimientos desordenados, disminuyendo la capacidad de la intersección.

También debemos considerar los pasos peatonales y la integración de semáforos peatonales, ya que el peatón cruza al otro extremo de la vía sin importar la señal del semáforo de la intersección, provocando que el tiempo de verde no sea aprovechado en su totalidad.



Figura 18. Desvio 2 vial secundario Av. Charles de Gaulle.

La principal ventaja de esta propuesta es que los vehículos que provienen de la Charles de Gaulle pueden llegar a la Carretera de La victoria sin tener que atravesar la intersección, y de esta forma, evitan quedarse atascado en la misma.

Si aplicamos esta propuesta reducirá aproximadamente un 21 % los vehículos que circulan en la intersección.

También tendríamos varias desventajas, como el aumento de la duración del recorrido, ya que el recorrido completo es aproximadamente un kilometro para incorporarse a la carretera de La Victoria.

Su implementación requiere que por las vías que se circulara se prohíban los parqueos, y que tenga un solo sentido, ya que estas posees un carril por sentido.



8.1.3 Paso a desnivel

En nuestro país son muy utilizados los pasos superiores e inferiores, por tal razón hemos considerado la idea de esta última propuesta.

Esta consiste en la ejecución de un paso inferior o superior en la vía principal, que es la que tiene mayor flujo vehicular. Esta propuesta se plantea por el simple hecho de que los vehículos que van de frente son la mayor parte del flujo vehicular de la intersección que se dirigen a la zona norte de la ciudad. Si implementamos esta propuesta, estos vehículos evitarían el acceso a la intersección, y por tanto el atasco que se produce con los vehículos que giran a la izquierda hacia la carretera de la Victoria sería evitado, ya que tendríamos dos carriles para giro a la izquierda y dos carriles para giro a la derecha.

8.2 Análisis y selección de propuesta

Nos encontramos con tres propuestas con la finalidad de evitar el atasco de vehículos en la intersección, aumentando la capacidad y de esta y mejorando su nivel de servicio. Todas estas propuestas son viables en cuanto a su implementación, a continuación, analizamos cual o cuales serían la más idónea.

La primera propuesta, lo que se refiere a la modificación del ancho de la vía, debe ser rechazada, debido a que no contamos con el espacio suficiente para la creación de más carriles y tendríamos que realizar expropiaciones.

En cuanto a lo que es la implementación de marcas viales y semáforos peatonales si puede ser acogida.



Las propuestas numero dos y numero tres se analizará con mas detalle su implementación.

9 ANALISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS

9.1 Propuesta desvío de vehículos

Esta propuesta es recomendable ya que supondría una disminución de aproximadamente un 15% de los vehículos que circularían en la intersección y no conllevaría gastos elevados para llevarla a cabo.

La implementación de esta propuesta afectara las cantidades de los grupos de carriles, ya que estamos desviado los grupos de carriles que realizan el giro a la izquierda desde la avenida Charles de Gaulle hacia la Carretera de La Victoria.

En primer lugar, se analizará la intersección con el procedimiento descrito en el HCM 2010, y se comprobará si existe una mejora en la capacidad y el nivel de servicio.

A continuación, determinaremos los nuevos grupos de carriles y grupos de movimientos que en este caso serian los mismo, solo debemos excluir los que hacen los giros a la izquierda en la Av. Charles de Gaulle.



Una vez obtenido los grupos de carriles y movimientos, procedemos a calcular las intensidades de saturación, en este caso vamos a considerar los volúmenes que anteriormente obtuvimos, con la única variación de que ahora no tendremos un solo carril para el giro a la derecha, si no dos carriles, por lo tanto, el volumen será distribuido.

Las intensidades de saturación de los grupos de carriles de la Carretera La Victoria se mantendrán igual, debido a que no se hizo ninguna modificación.

Grupos de carriles (GC)	Intensidades de saturación (s)
GC1	1601.03
GC2	2824.67
GC3	1422.69
GC4	-
GC5	2991.31
GC6	2144.57
GC7	1607.99
GC8	1659.39
GC9	1431.54
GC10	-
GC11	3012.87
GC12	2616.58

Tabla 22. Intensidad de saturación por grupos de carriles.

A continuación, se procede a determinar la capacidad.

	GC1	GC2	GC3
N	1	2	1
s	1601.03	2824.67	1422.69
g	10	37	37
C	120	120	120
g/C	0.08	0.31	0.31
Capacidad	133.42	1741.88	438.66

Tabla 23. Capacidad para grupos de carriles I, II y III.

	GC5	GC6	GC7
N	2	2	1
s	2991.31	2144.57	1607.99
g	50	50	10
C	120	120	120
g/C	0.42	0.42	0.08
Capacidad	2492.75	1787.14	134.00

Tabla 24. Capacidad para grupos de carriles V, VI y VII.

	GC8	GC9	GC11	GC12
N	1	1	2	2
s	1659.39	1431.54	3012.87	2616.58
g	37	37	50	50
C	120	120	120	120
g/C	0.31	0.31	0.42	0.42
Capacidad	511.64	441.39	2510.72	2180.49

Tabla 25. Capacidad para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.

Ahora bien, una vez calculado la capacidad, se procede al calculo de la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles.

	GC1	GC2	GC3
Capacidad	133.42	1741.88	438.66
Vi (veh/h)	352	1108	205
X	2.64	0.64	0.47

Tabla 26. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles I, II y III.

	GC5	GC6	GC7
Capacidad	2492.75	1787.14	134.00
Vi (veh/h)	1823.00	634.00	309.00
X	0.73	0.35	2.31

Tabla 27. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles V, VI y VII.

	GC8	GC9	GC11	GC12
Capacidad	511.64	441.39	2510.72	2180.48
Vi (veh/h)	332.00	244.00	1632.00	623.00
X	0.65	0.55	0.65	0.29

Tabla 28. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.

Continuando con el procedimiento definido en el manual HCM 2010, ahora calcularemos la demora de cada grupo de carril.

	GC1	GC2	GC3
PF	0.97	0.85	0.85
d1	55.00	35.71	33.54
d2	758.35	1.79	3.55
d	811.70	32.24	32.15

Tabla 29. Demora para grupos de carriles I, II y III.

	GC5	GC6	GC7
PF	0.76	1.71	0.97
d1	29.36	23.96	55.00
d2	1.93	0.55	610.53
d	24.38	41.62	663.88

Tabla 30. Demora para grupos de carriles V, VI y VII.

	GC8	GC9	GC11	GC12
PF	0.85	0.85	0.76	0.764
d1	35.88	34.60	28.00	23.176
d2	6.25	4.92	1.32	0.330
d	36.86	34.43	22.72	18.043

Tabla 31. Demora para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII.

Y por ultimo se obtiene el nivel de servicio:

	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	811.70	32.24	32.15
Nivel de servicio	F	C	C

Tabla 32. Nivel de servicio para grupos de carriles I, II y III.

	GC5	GC6	GC7
Demora (s/veh)	24.38	41.62	663.88
Nivel de servicio	C	D	F

Tabla 33. Nivel de servicio para grupos de carriles V, VI y VII

	GC8	GC9	GC11	GC12
Demora (s/veh)	36.86	34.43	22.72	18.043
Nivel de servicio	D	C	C	B

Tabla 34. Nivel de servicio para grupos de carriles VIII, IX, XI y XII

9.2 Propuesta paso a desnivel

En esta propuesta consideraremos la construcción de un paso inferior, debido a que por esta intersección cruza el teleférico de Santo Domingo y por tal razón no podríamos hacer un paso superior, además de que estos afectan gravemente al paisaje.

Al igual que la propuesta anterior esta también modifica el diseño de la intersección, por lo que también se tendrán nuevos grupos de carriles.

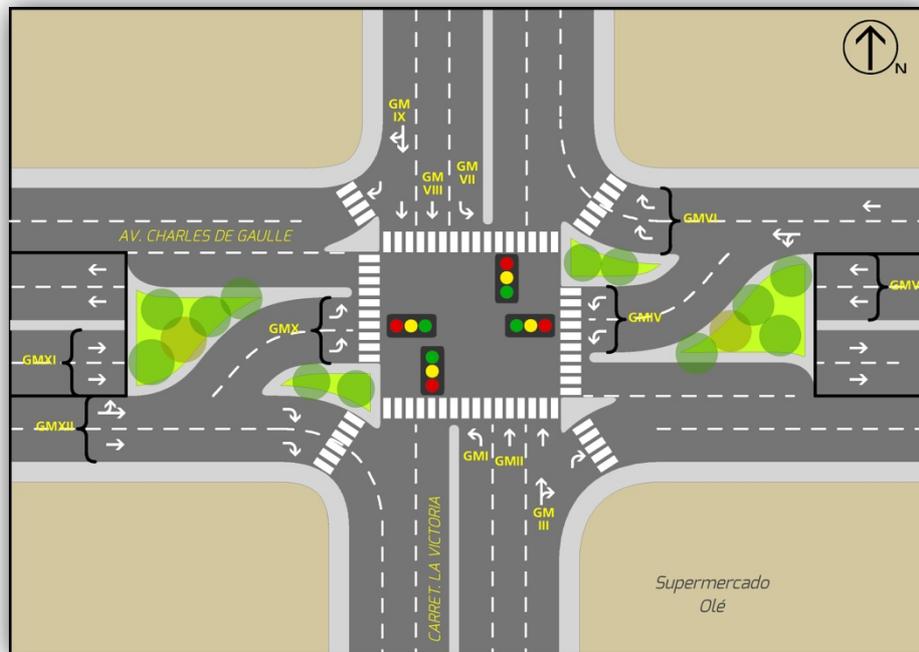


Figura 19. Alternativa paso inferior

Como se ha comentado en apartados anteriores, luego de haberse obtenido los nuevos grupos de carriles, se analiza la propuesta elegida con la metodología del HCM 2010. En primer lugar, se muestra las intensidades de saturación.



Grupos de carriles (GC)	Intensidades de saturación (s)
GC1	1601.03
GC2	2824.67
GC3	1422.69
GC4	2925.05
GC5	2991.31
GC6	2751.77
GC7	1607.99
GC8	1593.01
GC9	1350.01
GC10	2508.20
GC11	3012.87
GC12	2649.54

Tabla 35. Intensidad por cada grupo de carril.

A continuación, se procede a determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad, en las cuales se notarán los cambios introducidos.

	GC1	GC2	GC3	GC4
N	1	2	1	2
s	1601.03	2824.67	1422.69	2925.05
g	32	43	88	30
C	120	120	120	120
g/C	0.27	0.36	0.73	0.25
Capacidad	426.94	2024.35	1043.31	1462.53

Tabla 36. Capacidad para grupos de carriles I, II, III, IV

	GC5	GC6	GC7	GC8
N	2	2	1	1
s	2925.05	2751.77	1607.99	1593.01
g	30	47	32	32
C	120	120	120	120
g/C	0.25	0.39	0.27	0.27
Capacidad	5850.11	2155.55	428.80	424.80

Tabla 37. Capacidad para grupos de carriles V, VI, VII y VIII

	GC9	GC10	GC11	GC12
N	1	2	2	2
s	1350.01	2508.20	3012.87	2649.54
g	32	30	90	47
C	120	120	120	120
g/C	0.27	0.25	0.75	0.39
Capacidad	360.00	1254.10	6025.73	2075.47

Tabla 38. Capacidad para grupo de carriles IX, X, XI y XII.

Siguiendo la misma metodología explicada anteriormente, una vez calculado la capacidad se procede al cálculo de la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles.

	GC1	GC2	GC3	GC4
Capacidad	426.94	2024.35	1043.31	1462.53
Vi (veh/h)	352	1108	205	734
X	0.82	0.55	0.20	0.50

Tabla 39. Proporción volumen-capacidad para grupos de carriles I, II, III y IV

	GC5	GC6	GC7	GC8
Capacidad	5982.61	2155.55	428.80	570.83
Vi (veh/h)	1823	634	309	332
X	0.30	0.29	0.72	0.58

Tabla 40. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.

	GC9	GC10	GC11	GC12
Capacidad	990.01	1254.10	6025.73	2075.47
Vi (veh/h)	244	612	1632	623
X	0.25	0.49	0.27	0.30

Tabla 41. Proporción volumen- capacidad para grupos de carriles IX, X, XI y XII.

Continuando con el procedimiento definido en el manual HCM 2010, se calcula la demora.

	GC1	GC2	GC3	GC4
PF	0.88	0.82	0.09	0.89
d1	41.36	30.73	4.98	38.59
d2	16.40	1.07	0.42	1.23
d	52.79	26.14	0.88	35.58

Tabla 42. Demora para grupos de carriles I, II, III y IV.

	GC5	GC6	GC7	GC8
PF	0.01	0.79	0.88	0.82
d1	4.86	25.10	32.27	31.21
d2	0.13	0.35	10.03	4.29
d	0.18	20.11	38.42	29.74

Tabla 43. Demora para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.

	GC9	GC10	GC11	GC12
PF	0.09	0.89	0.01	0.79
d1	5.21	38.44	4.71	25.16
d2	0.59	1.36	0.11	0.37
d	1.08	35.57	0.16	20.19

Tabla 44. Demora para grupos de carriles IX, X, XI y XII.

Y por último determinaremos los niveles de servicios por grupo de carril:

	GC1	GC2	GC3	GC4
Demora (s/veh)	52.79	26.14	0.88	35.58
Nivel de servicio	D	C	A	D

Tabla 45. Nivel de servicio para grupos de carriles I, II, III y IV.

	GC5	GC6	GC7	GC8
Demora (s/veh)	0.18	20.11	38.42	29.74
Nivel de servicio	A	C	D	C

Tabla 46. Nivel de servicio para grupos de carriles V, VI, VII y VIII.

	GC9	GC10	GC11	GC12
Demora (s/veh)	1.08	35.57	0.16	20.19
Nivel de servicio	A	D	A	C

Tabla 47. Nivel de servicio para grupos de carriles IX, X, XI y XII.

Tras haber determinado los niveles de servicio de la intersección semaforizada con las nuevas actuaciones presentamos un cuadro comparativo de las demoras y niveles de

servicio entre la intersección actual, la implementación de la propuesta 2 y la propuesta 3.

CUADRO COMPARATIVO						
GRUPO DE CARRILES	SITUACION ACTUAL		PROPUESTA 2		PASO INFERIOR	
	DEMORA (S/VEH)	NIVEL DE SERVICIO	DEMORA (S/VEH)	NIVEL DE SERVICIO	DEMORA (S/VEH)	NIVEL DE SERVICIO
GC1	107.95	F	811.70	F	52.79	D
GC2	58.20	E	32.34	C	25.14	C
GC3	52.62	D	32.15	C	0.88	A
GC4	602.72	F	-	-	35.58	D
GC5	256.03	E	24.38	C	0.18	A
GC6	415.03	F	41.62	D	20.11	C
GC7	75.40	E	663.68	F	38.42	D
GC8	82.27	F	36.86	D	29.74	C
GC9	62.90	E	34.43	C	1.08	A
GC10	438.33	F	-	-	35.57	D
GC11	184.34	F	22.72	C	0.16	A
GC12	401.78	F	18.04	B	20.19	C

Tabla 48. Cuadro comparativo con demoras y niveles de servicios de las propuestas analizadas



10 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El cuadro comparativo se puede apreciar que, tras aplicar las modificaciones de las propuestas, se produce una mejora en las demoras, y, por tanto, el nivel de servicio de la intersección.

En la propuesta numero 2, la cual fue analizada y se presenta en el cuadro comparativo, se observa como hubo variación en los niveles de servicios del carril que hace el giro a la derecha, y esto sucede porque al desviar el carril izquierdo conseguimos obtener dos carriles para los vehículos que se dirigen hacia la carretera de La Victoria, pero sin embargo esta propuesta solo favorece el giro a la derecha, ya que los carriles que van de frente permanecen iguales por ende su nivel de servicio no cambia.

Por lo descrito mas arriba, la propuesta numero dos no seria la indicada para resolver los problemas de demoras de la intersección, ya que solo reduce un 15% de volumen de vehículos que acceden.

En cuanto a la propuesta de construir un paso inferior, esta reduce aproximadamente un 50% el numero de vehículos que circulan por la intersección. Esta propuesta modifica el diseño completo, de esta manera se pretende que los carriles con mayor demanda no crucen la intersección por lo tanto los demás grupos de carriles obtendrán mas carriles y mas capacidad.



11 CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

- Las demoras que se presentan son excesivas. En la realidad los vehículos no solo realizan los giros utilizando carriles exclusivos sino también hacen uso de los otros carriles de movimiento directo, lo que permite que aumenten las demoras, afectando la movilidad de la intersección y reduciendo la movilidad de los demás grupos de carriles.
- A la hora de determinar los grupos de movimientos y los grupos de carriles nos encontramos con una dificultad. Debido a que los vehículos no siempre cumplen las marcas viales que representan los carriles y se comportan de manera diferente a lo que indica la señalización.
- En la intersección, la avenida Charles de Gaulle presenta un nivel de servicio que en determinadas horas punta produce congestión, mientras la Carretera La Victoria posee niveles de servicio con alta densidad, pero estable.
- En la propuesta seleccionada las fases fueron distribuidas en función a la proporción de los volúmenes, pero de esta manera algunos niveles de servicios se mantenían malos.
- Se opta por escoger parte de la propuesta numero 1 y la propuesta numero 3. La propuesta numero 1, podemos considerar la implementación de las marcas viales y semáforos peatonales. La propuesta numero 3 se basa en la ejecución de un paso inferior en la Avenida Charles de Gaulle.



FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- Se debería realizar el estudio sobre los distintos casos que podemos encontrar en los giros a la izquierda en una intersección semaforizada, y con ello, obtener una formulación para cada caso que facilite la determinación del factor de ajuste de giro a la izquierda.
- Que se consideren factores de ajustes para países en donde exista poca educación vial y que no existan semáforos peatonales, ya que estos no fueron considerados y producen una alta demora.



12 BIBLIOGRAFIA

- [1] Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual 2010, National Research Council, Washington D.C.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials 2001. A Policy on Geometric Design of Highways and streets, Unites States: AASHTO.
- [3] Bastos Ana, Vasconcelos Luis & Santos Silvia, 2013, Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts
- [4] Wang, X., Abdel-Aty. M. Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models. Department of Civil & Environmental Engineering, University of Central Florida, September 2008.
- [5] Vaughan W. Inman, Gregory W. Davis. Synthesis of Literature Relevant to Roundabout Signalization to Provide Pedestrian Access. January 11, 2007 - Final Report.
- [6] Hong-bo Qian, Ke-ping Li, Jian Sun. The Development and Enlightenment of Signalized Roundabout. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2008.
- [7] Bared, J., Edara, P. Simulated Capacity of Roundabouts and Impact of Roundabout Within a Progressed Signalized Road. Transportation Research Board National Roundabout Conference, Vail, CO, USA, May 2005.
- [8] Akcelik, R. Roundabouts with metering signals: Capacity and Performance Analysis. Akcelik and Associates Pty Ltd, Melbourne, 2001.
- Estudio y mejora de la funcionalidad del tráfico de la intersección semaforizada de la Av. Charles de Gaulle esquina Av. Los Restauradores, en la ciudad de Santo Domingo Este, Republica Dominicana.
-



[9] D. Rodriguez, Revision del HCM 2010 y 2000 intersecciones semaforizadas, Ingenium, vol, n. 32, pp. 19-31, mayo, 2015.

Fanola fan