



# Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.



Estudio y mejora de la funcionalidad del tráfico de la intersección semaforizada en Prolongación Avenida 27 de febrero, Av. Isabel Aguiar y Calle 1era en Santo Domingo, República Dominicana.

## TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Máster en Transporte, Territorio y Urbanismo.

**Autora:** KIRELIS JOSEFINA DE LA CRUZ GARCIA

**Tutor:** JAVIER SORIANO FERRIOL

Valencia, Septiembre 2018



## ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES .....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	2
2.1.	Intersecciones Semaforizadas .....	2
2.2.	Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas .....	4
3.	OBJETO DE ESTUDIO.....	5
4.	ESTADO DEL ARTE.....	6
4.1.	Introducción. ....	6
4.2.	Semáforos.....	6
4.3.	Tipos de Intersecciones .....	9
4.3.1.	Tipo T: Empalme de una carretera secundaria con una principal.....	9
4.3.2.	Tipo T: Empalme de dos carreteras de análoga importancia.....	10
4.3.3.	Tipo Y: Empalme de una carretera secundaria con una principal.....	11
4.3.4.	Tipo Y: Empalme de dos carreteras de análoga importancia.....	12
4.3.5.	Tipo Cruz .....	13
4.3.6.	Tipo X .....	15
4.3.7.	Intersección estrella. ....	16
4.4.	Tipos de Movimientos en una Intersección .....	16
4.5.	Capacidad de la Intersección .....	18
4.5.1.	Definición.....	18
4.5.2.	Factores .....	19
4.6.	Nivel de servicio.....	22
4.7.	Método de determinación de la capacidad y nivel de servicio en una intersección semaforizada.....	24
4.7.1.	Introducción .....	24
4.7.2.	Determinación de la capacidad y el nivel de servicio.....	25
5.	CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA .....	44
5.1.	Características de la intersección semaforizada .....	44
5.1.1.	Caracterización del Tramo.....	44
5.1.2.	Caracterización del Transporte Urbano .....	51



5.1.3. Caracterización de la intersección de estudio.....	52
5.2. Toma de Información .....	56
5.2.1. Volúmenes vehiculares.....	57
5.2.2. Composición vehicular .....	58
5.3. Problemática de la Intersección .....	59
6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA CON EL HCM 2010. 64	
6.1 Parámetros de entrada.....	64
6.2 Aplicación metodología HCM 2010 .....	67
7. PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS .....	91
7.1 Introducción.....	91
7.2. Propuestas .....	91
7.2.1 Alternativa 1: Modificación sentido Calle Primera.....	92
7.2.2 Alternativa 2: Paso Inferior.....	94
7.2.3 Alternativa 3: Puente Elevado .....	95
7.2.4 Alternativa 4: Glorieta .....	95
8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS.....	98
8.1. Alternativa 1 y 2.....	98
8.2. Alternativa 1 y 3.....	106
8.3. Análisis de los resultados.....	115
8.4.1. Propuesta 1: (Alternativa 1 y 2).....	116
8.4.2. Propuesta 2: (Alternativa 1 y 3: Modificación de sentido Calle 1era y Puente elevado). .....	117
9. CONCLUSIONES .....	119
10. BIBLIOGRAFÍA .....	121



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intersección en T con isleta de separación en la carretera secundaria.....	10
Figura 2. Intersección en T con Vías especiales para los movimientos de giro a la derecha.....	10
Figura 3. Intersección en T con Carretera principal de dos circulaciones.....	11
Figura 4. Intersección en T con una de las carreteras de cuatro circulaciones con mediana.....	11
Figura 5. Intersección en T con una de las carreteras de cuatro circulaciones con mediana de anchura > 12m.....	11
Figura 6. Intersección en Y unión de carretera secundaria con una principal.....	12
Figura 7. Intersección en Y unión de carretera secundaria con una principal.....	12
Figura 8. Intersección en Y, unión de dos carreteras de análoga importancia.....	12
Figura 9. Intersección en Y, unión de dos carreteras de análoga importancia.....	13
Figura 10. Intersección en tipo cruz, unión de dos carreteras de análoga importancia.....	13
Figura 11. Intersección tipo Cruz con glorieta.....	14
Figura 12. Intersección tipo Cruz.....	14
Figura 13. Intersección tipo Cruz de carreteras con calzadas separadas.....	15
Figura 14. Intersección tipo Cruz.....	15
Figura 15. Intersección tipo Cruz.....	16
Figura 16. Tipos de giros en una intersección.....	18
Figura 17. Grupo de carriles comunes para el análisis.....	28
Figura 18. Vista de Google Earth de la intersección objeto de estudio.....	45
Figura 19. Vista de Google Maps de la intersección objeto de estudio.....	46
Figura 20. Fotografía del Acceso 1.....	47
Figura 21. Fotografía del Acceso 2.....	50
Figura 22. Fotografía del Acceso 3.....	49
Figura 23. Fotografía del Acceso 4.....	50
Figura 24. Fotografía del Acceso 5.....	50
Figura 25. Descripción física del Acceso 1.....	53
Figura 26. Descripción física del Acceso 2.....	53
Figura 27. Descripción física del Acceso 3.....	54
Figura 28. Descripción física del Acceso 4.....	55
Figura 29. Descripción física del Acceso 5.....	55
Figura 30. Ubicación de los aforos.....	56
Figura 31. Intersección completa.....	57
Figura 32. Gráfico de composición Vehicular.....	58
Figura 33. Problema presente en la intersección.....	62
Figura 34. Problema existente en la intersección. Vista del acceso 2.....	62
Figura 35. Vehículos transitando en la intersección.....	63



Figura 36. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 1.....	68
Figura 37. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 2.....	69
Figura 38. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 3.....	70
Figura 39. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 4.....	71
Figura 40. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 5.....	72
Figura 41. Grupo de Carriles del Acceso 1.....	74
Figura 42. Grupo de Carriles del Acceso 2.....	75
Figura 43. Grupo de Carriles del Acceso 3.....	75
Figura 44. Grupo de Carriles del Acceso 4.....	76
Figura 45. Grupo de Carriles del Acceso 4.....	77
Figura 46. Congestión en la intersección. Vista del Acceso 2.....	86
Figura 47. Congestión en la intersección. Vista desde Acceso 4.....	87
Figura 48. Congestión en la intersección.....	87
Figura 49.- Congestión por almacenamiento de vehículos en el Acceso 1.....	89
Figura 50.- Congestión por almacenamiento de vehículos en el Acceso 1.....	90
Figura 51. Alternativa 1. Modificación del sentido Calle Primera.....	93
Figura 52. Alternativa 2. Paso Inferior en Avenida 27 de febrero.....	94
Figura 53. Propuesta 1. Modificación Calle 1era y Paso Inferior en Av. 27 de febrero.....	106
Figura 54. Propuesta 1. Modificación Calle 1era y Paso Inferior en Avenida 27 de febrero.....	105
Figura 55. Propuesta 2. Modificación Calle 1era y Paso Inferior en Avenida 27 de febrero .....	117
Figura 56. Propuesta 2. Modificación Calle 1era y Puente Elevado en Av. Isabel Aguiar.....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de servicio en función de la demora.....	23
Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril.....	31
Tabla 3. Valores Para el Factor de Ajuste de Progresión.....	41
Tabla 4. Demora del tráfico según nivel de servicio.....	43
Tabla 5. Parámetros de entrada para el análisis.....	64
Tabla 6. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 1.....	65
Tabla 7. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 2.....	65
Tabla 8. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 3.....	66
Tabla 9. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 4.....	66
Tabla 10. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 5.....	66
Tabla 11. Intensidad de grupos de carril del acceso 1.....	74
Tabla 12. Intensidad de grupos de carril del acceso 2.....	74
Tabla 13. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.....	76
Tabla 14. Intensidad de grupos de carril del acceso 4.....	76
Tabla 15. Intensidad de grupos de carril del acceso 5.....	77
Tabla 16. Capacidad de grupos de carril del Acceso 1.....	78
Tabla 17. Capacidad de grupos de carril del Acceso 2.....	79
Tabla 18. Capacidad de grupos de carril del Acceso 3.....	79
Tabla 19. Capacidad de grupos de carril del Acceso 4.....	79
Tabla 20. Capacidad de grupos de carril del Acceso 5.....	80
Tabla 21. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 1.....	80
Tabla 22. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 2.....	81
Tabla 23. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 3.....	81
Tabla 24. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 4.....	81
Tabla 25. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 5.....	81
Tabla 26. Demora de los grupos de carril del Acceso 1.....	83
Tabla 27. Demora de los grupos de carril del Acceso 2.....	83
Tabla 28. Demora de los grupos de carril del Acceso 3.....	83
Tabla 29. Demora de los grupos de carril del Acceso 4.....	84
Tabla 30. Demora de los grupos de carril del Acceso 5.....	84
Tabla 31. Demora del tráfico según nivel de servicio.....	84
Tabla 32. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 1.....	85
Tabla 33. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 2.....	85
Tabla 34. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 3.....	85
Tabla 35. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 4.....	85
Tabla 36. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 5.....	85
Tabla 37. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 1.....	98
Tabla 38. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 2.....	99



Tabla 39. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 3.....	99
Tabla 40. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 4.....	99
Tabla 41. Intensidad de grupos de carril del acceso 1.....	100
Tabla 42. Intensidad de grupos de carril del acceso 2.....	100
Tabla 43. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.....	100
Tabla 44. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.....	100
Tabla 45. Propuesta. Capacidad del Acceso 1.....	101
Tabla 46. Propuesta. Capacidad del Acceso 2.....	101
Tabla 47. Propuesta. Capacidad del Acceso 3.....	101
Tabla 48. Propuesta. Capacidad del Acceso 4.....	102
Tabla 49. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 1.....	102
Tabla 50. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 2.....	102
Tabla 51. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 3.....	103
Tabla 52. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 4.....	103
Tabla 53. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 1.....	103
Tabla 54. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 2.....	104
Tabla 55. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 3.....	104
Tabla 56. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 4.....	104
Tabla 57. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 1.....	105
Tabla 58. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 2.....	105
Tabla 59. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 3.....	105
Tabla 60. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 4.....	105
Tabla 61. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 1.....	107
Tabla 62. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 2.....	107
Tabla 63. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 3.....	107
Tabla 64. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 4.....	107
Tabla 65. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 1.....	108
Tabla 66. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 2.....	108
Tabla 67. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 3.....	108
Tabla 68. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 4.....	108
Tabla 69. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 1.....	109
Tabla 70. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 2.....	109



Tabla 71. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 3.....	109
Tabla 72. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 4.....	110
Tabla 73. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 1 .....	110
Tabla 74. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 2.....	110
Tabla 75. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 3 .....	111
Tabla 76. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 4.....	111
Tabla 77. Propuesta 2. Demora del Acceso 1.....	111
Tabla 78. Propuesta 2. Demora del Acceso 2.....	112
Tabla 79. Propuesta 2. Demora del Acceso 3.....	112
Tabla 80. Propuesta 2. Demora del Acceso 4.....	112
Tabla 81. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 1.....	113
Tabla 82. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 2.....	113
Tabla 83. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 3.....	113
Tabla 84. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 4.....	113
Tabla 85. Cuadro comparativo de demoras y niveles de servicio entre la intersección modificada y la existente.....	115





## 1. ANTECEDENTES

---

El siguiente estudio se presenta como trabajo de fin de máster del máster universitario en Transporte, Territorio y Urbanismo, de la estudiante Kirelis Josefina De la Cruz García, tutelado por Javier Soriano Ferriol quien es profesor de la asignatura Ingeniería de Tráfico y pertenece al Departamento de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

El presente Trabajo Fin de Máster tiene el siguiente título: “Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada en Prolongación Avenida 27 de febrero, Av. Isabel Aguiar y Calle 1era en Santo Domingo, República Dominicana a través de la aplicación del High Capacity Manual 2010.

Por último, al tratarse de un estudio de investigación este Trabajo Fin de Máster se clasifica como tipo II.



## 2. INTRODUCCIÓN

---

Como se ha mencionado en el apartado anterior, este estudio se centrará en el análisis de una intersección semaforizada situada en la parte oeste de la ciudad de Santo Domingo en República Dominicana.

En general, se define como intersección a la zona en la que confluyen dos o más vías. Los tramos de carreteras que confluyen en la intersección se denominan ramales.

Las intersecciones constituyen una parte esencial de la red viaria, ya que son los puntos en los que se puede cambiar de vía para seguir el itinerario deseado. En ellas los vehículos pueden seguir distintas trayectorias.

### 2.1. Intersecciones Semaforizadas

Se consideran intersecciones semaforizadas las que están reguladas permanentemente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección.

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

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

Las intersecciones semaforizadas son el tipo de intersección más característico de las áreas urbanas, al proporcionar unas reglas de paso simples y universales. Se recomiendan a partir de ciertos niveles de intensidad de tráfico, por encima de los cuales las intersecciones convencionales se muestran incapaces de funcionar sin



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

Una intersección semaforizada puede sufrir períodos de punta durante los que un flujo dominante de un cierto movimiento impida la incorporación de los vehículos de las otras entradas a la calzada anular. El desequilibrio entre las entradas puede llegar a impedir la autorregulación propia de las glorietas, llegando a producirse colas en algunas entradas cuyos efectos se propaguen hacia los vehículos que se acercan.

Según el HCM la intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de las intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico rodado, composición de este, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección.

En las intersecciones semaforizadas hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en cómo se distribuya el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de esta y de sus accesos.

La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad (relación  $I/c$ ), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo. La semaforización de las intersecciones se centra en la adaptación de los movimientos importantes y accesos que componen la intersección. Por lo tanto, la capacidad es solamente significativa cuando se aplica a estos movimientos y accesos importantes.

Por otro lado, las intersecciones semaforizadas pueden ser interesantes en zonas con mala visibilidad, o zonas en las que interese una cierta gestión del tráfico, incompatible con el funcionamiento de la intersección a no ser que esté semaforizada.



## 2.2. Problemática de congestión en intersecciones semaforizadas

En una intersección semaforizada la capacidad y los niveles de servicios se ven afectados por la interacción entre el comportamiento de los conductores, las características del tráfico y su diseño. Cuando la distribución de orígenes y destinos está uniformemente repartida, la eficiencia de su comportamiento es máxima, dando como resultado unos flujos de tráfico similares en todas las entradas y en las distintas partes del anillo principal; todo ello, incluso con niveles de demanda medios.

El funcionamiento de una glorieta o intersección semaforizada es admisible cuando los flujos están descompensados siempre y cuando el volumen global de demanda sea bajo, los problemas aparecen incluso con niveles de demanda intermedios, al estar la entrada más cargada aguas debajo de otra entrada con demanda intermedia, cuyos vehículos han accedido antes al anillo y, por tanto, tienen prioridad.

Glorietas o intersecciones semaforizadas en servicio que llegan con más frecuencia a situaciones de alta demanda, e incluso a la congestión cada día son más habituales encontrarnos con estas; 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 descomposición entre las distintas entradas.

En la intersección semaforizada que se está estudiando, el funcionamiento llega en horas específicas del día a un volumen muy alto de tráfico, lo que da como resultado a la congestión de ciertos ramales muy importantes en la intersección. Al tratarse de la conexión de la ciudad capital de Santo Domingo con la región sur del país, se producen demoras en las horas de entrada y salida de la jornada laboral. Más adelante se definirá el problema con más detalle.



### 3. OBJETO DE ESTUDIO

---

En este trabajo se pretende estudiar la intersección semaforizada de la avenida Prolongación 27 de febrero, avenida Isabel Aguiar y Calle 1<sup>era</sup> situada en la Provincia Santo Domingo provincia Santo Domingo Oeste. Se procede a analizar la capacidad y el nivel de servicio de esta intersección, esto porque presenta problemas de congestión produciendo demoras e incomodidades a los usuarios. Se realizará estos análisis y se determinara el problema presente y luego de esto de proponen varias alternativas para dar una solución factible al problema.

En este documento se recogerá, el método de determinación para el cálculo de la capacidad en intersecciones semaforizadas y, además se presentará la información obtenida de la intersección semaforizada objeto de estudio.

En este estudio la metodología que se empleará será regida por la definida en el HCM 2010, Highway Capacity Manual 2010. En el volumen III de este manual "Interrupted Flow", capítulo 18 se explican los procedimientos que se seguirán en este estudio.

Una vez obtenidos los cálculos mediante el procedimiento del HCM 2010, y propuesto las alternativas para resolver el problema, se realiza un análisis de las propuestas planteadas y se realiza un estudio comparativo entre éstas.



## 4. ESTADO DEL ARTE.

---

### 4.1. Introducción.

En la búsqueda de información para la realización con éxito del presente trabajo, se estudió una gran variedad de documentos con diversos temas en el campo de la ingeniería de tránsito y la seguridad vial.

Las intersecciones semaforizadas, como la intersección de objeto de estudio, permiten varios movimientos en diferentes sentidos dentro de la intersección, que se establecen por una variedad de condiciones que afectan la circulación del tráfico rodado, como son: la cantidad y distribución del tráfico, diseños geométricos, composición del tráfico, señalización y manejo de la semaforización. Las intersecciones están diseñadas de acuerdo con las circunstancias del tráfico, en las cuales son implementadas unos tiempos específicos en función de la fluidez de la intersección, evitando la congestión y manteniendo un nivel de servicio adecuado.

### 4.2. Semáforos.

Los semáforos, también conocidos técnicamente como señales de control de tráfico, son dispositivos de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y por ende, el tránsito peatonal.

Los semáforos son dispositivos eléctricos que sirven para ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces generalmente de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control.

Los semáforos se usarán para desempeñar, entre otras, las siguientes funciones:

- Interrumpir periódicamente el tránsito en una corriente vehicular y/o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante Controlar la circulación por carriles.



- Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares.

El semáforo está formado por los siguientes componentes:

- **Cabeza:** Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.
- **Soportes:** Los soportes son las estructuras que se utilizan para sujetar la cabeza de los semáforos de forma que les permitan algunos ajustes angulares, verticales y horizontales.
- **Cara:** Son las distintas luces de las cuales están formados los semáforos. En cada cara puede haber desde dos luces hasta más de tres, siendo la de tres luces las caras más usuales.
- **Lente:** Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Este elemento desaparece en los nuevos semáforos de ledes.
- **Visera:** Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado. Como el caso de las lentes, esta parte está desapareciendo ya que los nuevos semáforos de ledes iluminan de mejor forma que los antiguos.
- **Placa de contraste:** Elemento utilizado para incrementar la visibilidad del semáforo y evitar que otras fuentes lumínicas confundan al conductor.

Los semáforos tienen operaciones que afectan directamente a la circulación, tales como: el plan de fases, la asignación de tiempos en verde, la duración del ciclo, los distintos tipos de giros protegidos, permitidos o sin oposición, entre otros. A continuación, se definirán algunos de estos conceptos.



- **Ciclo:** es la secuencia completa de indicaciones de un semáforo, es decir el tiempo total que se suma de “verde”, “ámbar” y “rojo”.
- **Duración de ciclo:** es el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos.
- **Fase:** es el tiempo durante el cual no se produce ningún cambio de color en los semáforos.

Intervalo: es el período de tiempo en el que todas las indicaciones semaforicas permanecen constantes.

- **Tiempo de “ámbar”:** es el tiempo que transcurre entre el cambio de verde a rojo, actualmente fijo con una duración de 3 a 4 segundos.
- **Tiempo de cambio:** intervalos de “ámbar” más el “todo rojo” con el fin de que la intersección quede totalmente despejada, para que se puedan poner en funcionamiento el tiempo de “verde”, el tiempo de “verde” efectivo, y el tiempo de “rojo” efectivo.
- **Tiempo de “verde”:** es el tiempo durante el cual la intersección no está utilizada por ningún movimiento. Estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque.
- **Tiempo de “verde” efectivo:** es el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido de fase, expresado en segundos.
- **Tiempo de rojo “efectivo”:** es el tiempo durante el cual no se permite la circulación, algún movimiento específico o un conjunto de movimientos. Es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase específica, expresado en segundos.

El manual de capacidad de carreteras (HCM) contempla dos tipos de operaciones para la señalización semaforizada dentro de las señales de tráfico: la operación prefijada y la operación accionada.





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

- **Semáforos actuados:** se da cuando las fases están actuadas y todos los movimientos de tráfico de la intersección están controladas por detectores. Este tipo de control no está asociado con un ciclo constante y así las duraciones del ciclo y los tiempos de verde pueden variar según la demanda que se tenga.
- **Semáforos semi actuados:** se trata de un tipo de control que utiliza las fases actuadas para servir los menores movimientos (calles secundarias) de una intersección mientras que los mayores movimientos que se producen en la intersección están operados con fases no actuadas, tratando de estar siempre en fase verde, así cuando las calles secundarias detecten un flujo vehicular, se les dará paso con un intervalo determinado. La secuencia y duración de cada fase actuada está determinada por la demanda de tráfico. Este tipo de control no está asociado a un ciclo constante.
- **Semáforos coordinados-actuados:** este tipo de control es similar al anterior y asocia la fase coordinada aquellos movimientos menores en la intersección.

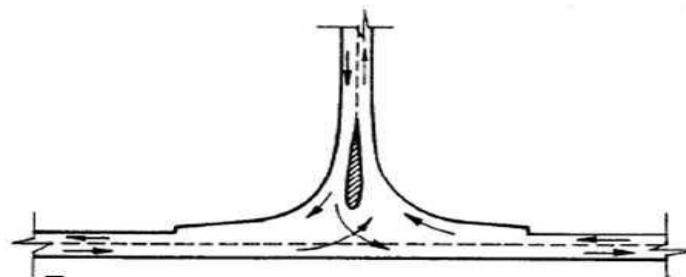
La operación prefijada se define como la acción que consiste en una secuencia de fases fijas, estas en un orden repetitivo, la duración de cada fase es precisa siempre con los mismos tiempos, esto significa que todos los intervalos de cambio están prefijados, pero el intervalo de verde puede cambiar ya sea por el día de la semana o se acomoda a unas horas determinadas.

### 4.3. Tipos de Intersecciones

4.3.1. Tipo T: Empalme de una carretera secundaria con una principal.

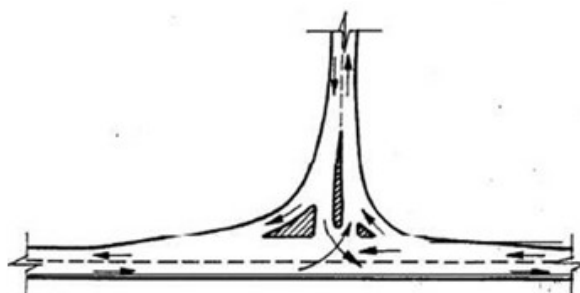


La solución que se ha empleado muchas veces de disponer una sola isleta central triangular es muy peligrosa, pues los choques se producen con ángulos de incidencia muy pequeños y, por otra parte, la disposición de la isleta central provoca indecisiones en muchos conductores que van a girar a la izquierda. La canalización más simple, que en general será suficiente, consiste en una isleta de separación de sentidos en el eje de la carretera secundaria, que además contribuye a que las trayectorias se corten en ángulos próximamente rectos. Facilita también el paso de peatones y mejora las condiciones de visibilidad.



*Figura 1. Intersección en T con isleta de separación en la carretera secundaria.*

Si el tráfico que gira es importante, convienen además vías especiales para el giro a la derecha, separadas por isletas triangulares, cuyo lado debe ser como mínimo de cuatro metros, disponiendo una vía adicional en la carretera principal para el tráfico que gira a la izquierda.



*Figura 2. Intersección en T con Vías especiales para los movimientos de giro a la derecha.*

#### 4.3.2. Tipo T: Empalme de dos carreteras de análoga importancia

Generalmente una solución adecuada es disponer isletas de separación del tráfico en los tres ramales, lográndose que las trayectorias se corten en ángulo recto, aunque



tiene el inconveniente de concentrar en uno sólo los posibles puntos de conflicto. Cuando los volúmenes de tráfico son muy importantes, puede llegarse a soluciones más complicadas.

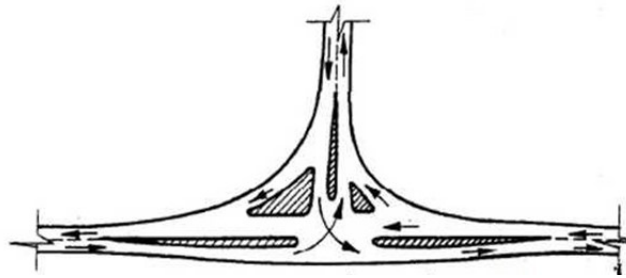


Figura 3. Intersección en T con Carretera principal de dos circulaciones.

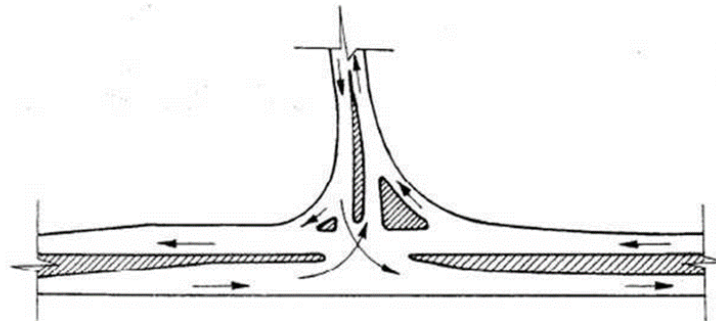


Figura 4. Intersección en T con una de las carreteras de cuatro circulaciones con mediana.

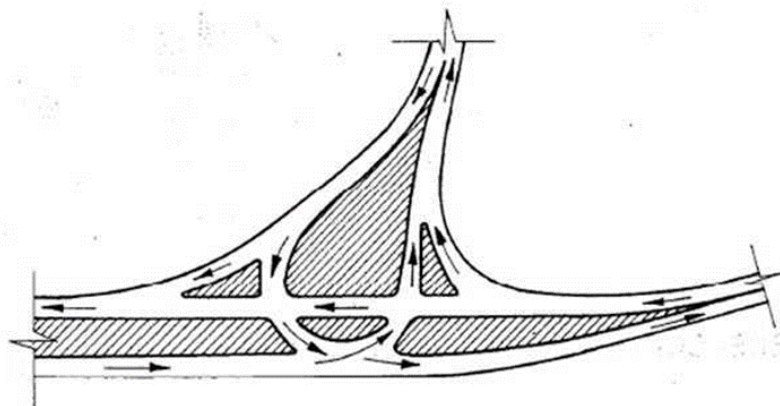


Figura 5. Intersección en T con una de las carreteras de cuatro circulaciones con mediana de anchura > 12m.

#### 4.3.3. Tipo Y: Empalme de una carretera secundaria con una principal

En este tipo de intersecciones hay que cuidar especialmente el principio de Perpendicularidad de las trayectorias que se cortan.



Cuando la carretera principal está en curva la alineación de la carretera secundaria nunca deberá quedar tangente a aquella para evitar confusión.

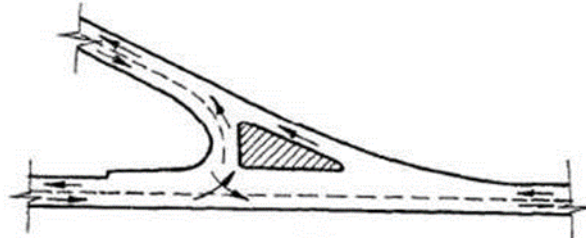


Figura 6. Intersección en Y unión de carretera secundaria con una principal.

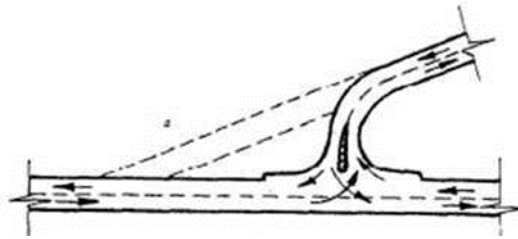


Figura 7. Intersección en Y unión de carretera secundaria con una principal.

4.3.4. Tipo Y: Empalme de dos carreteras de análoga importancia

Aquí se representan dos posibles soluciones, cuyos inconvenientes son la gran superficie que ocupan.

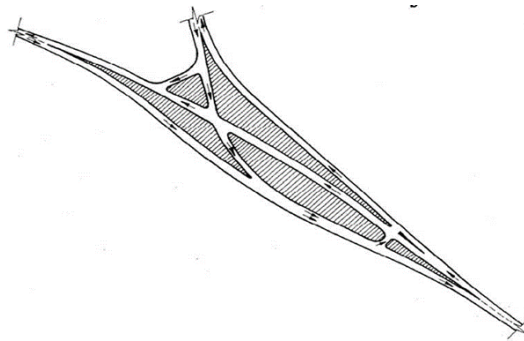


Figura 8. Intersección en Y, unión de dos carreteras de análoga importancia.

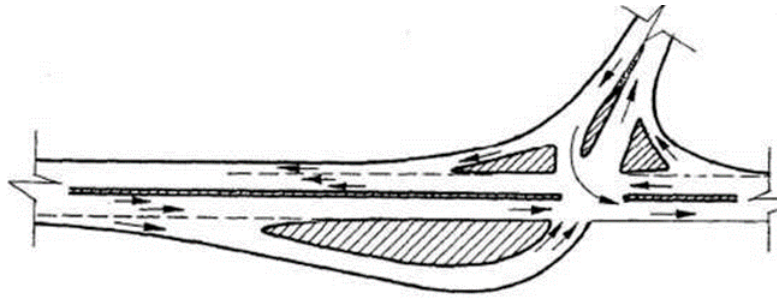


Figura 9. Intersecció en Y, unió de dos carreteres de anàloga importància.

#### 4.3.5. Tipo Cruz

Si el tráfico en la carretera secundaria es pequeño, basta una canalización simple, con dos isletas de separación de sentidos como se indica en la Figura 10 izquierda. Si hay un tráfico apreciable entre ambas carreteras, puede convenir introducir vías de deceleración para los vehículos que giren a la izquierda desde la carretera principal, como se indica en la figura 10 derecha.

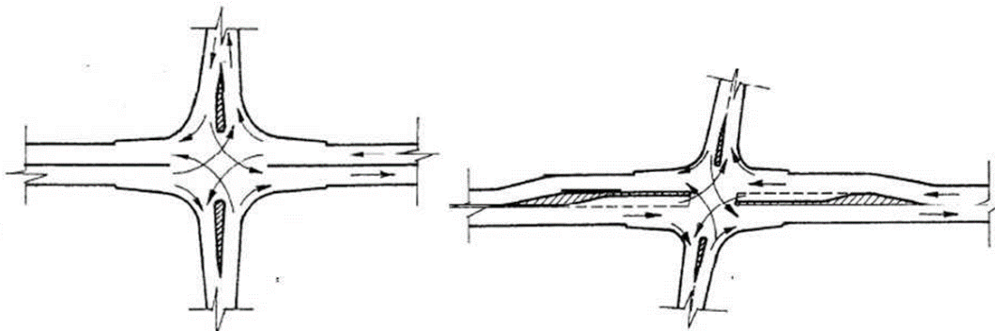
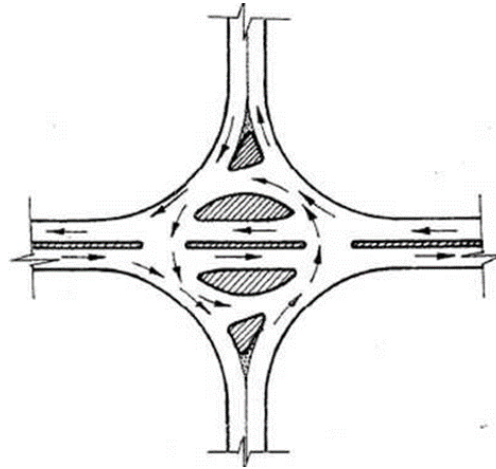


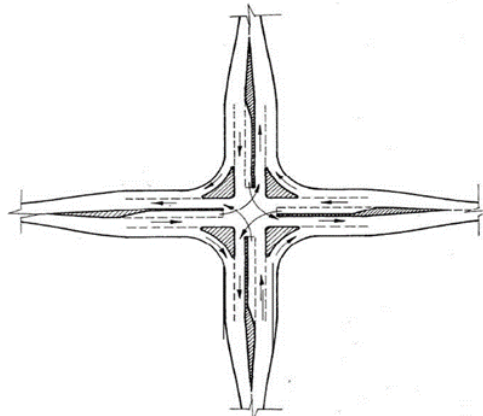
Figura 10. Intersecció en tipo cruz, unió de dos carreteres de anàloga importància.

En la figura 11 se indica una intersección que favorece el tráfico de paso de una carretera proporcionando a la vez un movimiento giratorio para el tráfico que cruza o gira a la izquierda. Los movimientos de giro a la izquierda desde la carretera principal se producen por la derecha. Este tipo de intersección facilita el control por semáforos reduciendo el número de fases de tres a dos.



*Figura 11. Intersección tipo Cruz con glorieta.*

En la Figura 12 se presenta un caso en que se disponen vías separadas para los giros a la derecha, lo cual es conveniente sobre todo en zonas urbanas u cuando la IHP de estos movimientos es superior a 25 vehículos; estas vías aumentan la fluidez de la intersección, pero pueden complicar los pasos de peatones.



*Figura 12. Intersección tipo Cruz.*

Cuando las carreteras que se cortan son de calzadas separadas con medianas de anchura superior a 12 m., se llega a soluciones del de la figura 13 con separación entre los puntos de conflicto y espacios para espera de vehículos. Este esquema aumenta la seguridad y capacidad de la intersección, pero deben dimensionarse de forma adecuada las zonas de espera de los giros a la izquierda, para evitar perturbaciones a los tráficos de paso.

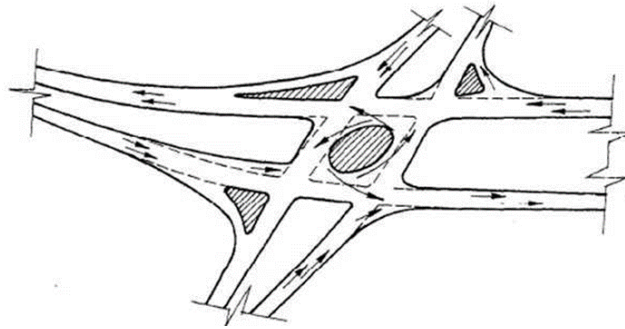


Figura 13. Intersección tipo Cruz de carreteras con calzadas separadas.

En la Figura 14 se indica una intersección con fuerte tráfico de paso en ambas carreteras y alto volumen de giros a la izquierda en un cuadrante. Los tres puntos de cruce deben tener una separación mínima de 100 m.

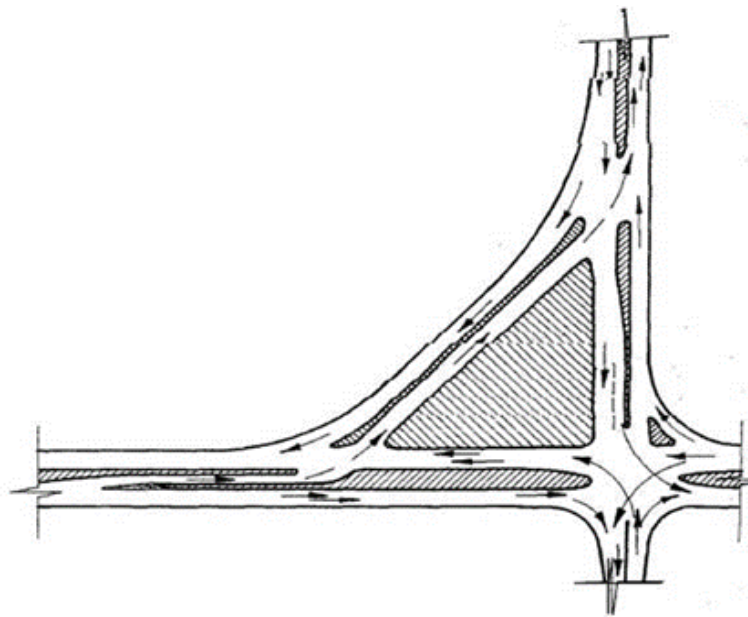


Figura 14. Intersección tipo Cruz.

#### 4.3.6. Tipo X

En el caso de una intersección en “X”, siguiendo el principio de la perpendicularidad, es conveniente desviar la carretera de menor importancia para transformar la “X” en cruz o en dos “T”. Pueden darse los casos A, B, C y D de la Figura 19. Las soluciones A y B dan buen resultado, la C no es recomendable, pues se introducen giros a la izquierda desde la carretera principal; la D es mejor solución, pues el giro a la



izquierda se produce desde la carretera secundaria y, por tanto, con facilidad de esperar sin entorpecer el tráfico principal.

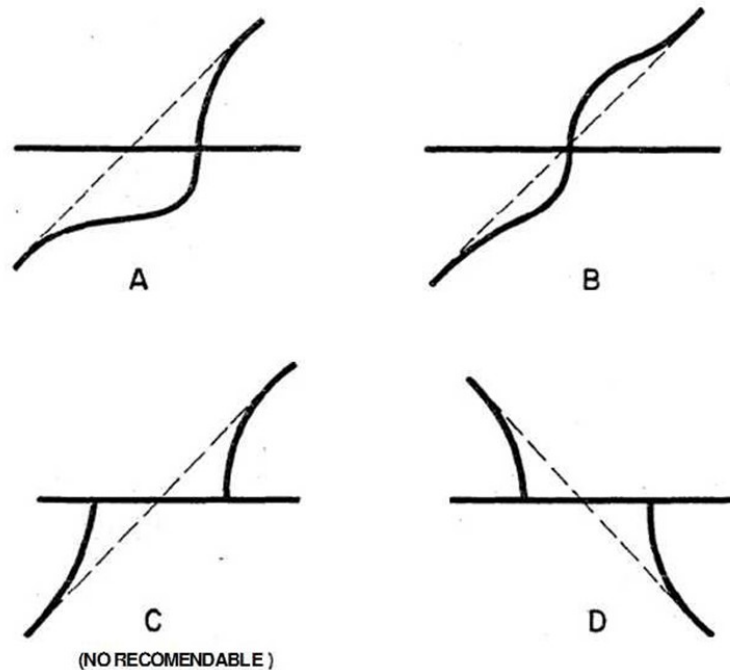


Figura 15. Intersección tipo Cruz

#### 4.3.7. Intersección estrella.

Siempre que sea posible, estas intersecciones se convertirán en otras de cuatro o menos ramales, empalmando algunos fuera de la intersección, introduciendo sentidos únicos, etc.

Si existiese espacio muy amplio y el tráfico fuera poco intenso, puede aceptarse una solución de intersección giratoria.

#### 4.4. Tipos de Movimientos en una Intersección

Los movimientos permitidos de giro o vueltas permitidas son aquellos que se realizan aprovechando las brechas de un flujo vehicular en sentido contrario o atravesando un flujo de peatones en conflicto. La instalación de los giros permitidos en una intersección dada depende de las características geométricas de la intersección dada,





depende de las características geométricas de la intersección, del volumen de la maniobra de giro y del volumen en sentido contrario.

En las intersecciones semaforizadas, dentro de las características con más influencia en su capacidad, además de la asignación del tiempo de verde, de tenerse también en consideración la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases.

Dentro de la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases se pueden diferenciar cuatro tipos de movimientos:

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

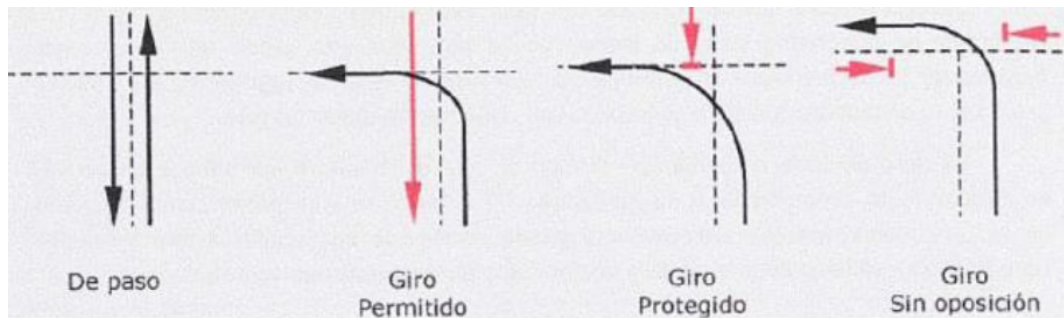


Figura 16. Tipos de giros en una intersección.

## 4.5. Capacidad de la Intersección

### 4.5.1. Definición

Se define como capacidad a la tasa de flujo máxima que puede cruzar por una intersección, se mide en vehículos por hora (vph) con flujos en periodos pico de 15 minutos. La capacidad de un grupo de carriles depende del flujo de saturación.

La capacidad en una intersección semaforizada está dada por cada grupo de carriles y se define como la tasa máxima de flujo que puede cruzar la intersección, por cada grupo de carriles que se considera, de acuerdo con las condiciones prevalecientes de tránsito, de la vía y de la señalización. La capacidad se da en vehículos por hora (veh/h), pero se basa en el flujo durante un periodo punta de 15 minutos. No se considera la capacidad de toda la intersección; en lugar de ello, se enfatiza en el suministro de las instalaciones adecuadas para los movimientos principales en las intersecciones. Por lo tanto, la capacidad se aplica solamente a los movimientos o accesos principales de la intersección.

Se observa que, en comparación con otras instalaciones, tales como los segmentos de una vía de acceso controlado, la capacidad del acceso de una intersección, no se correlaciona tan estrechamente con el nivel de servicio. Por lo anterior es necesario que tanto el nivel de servicio como la capacidad se analicen por separado cuando se estén evaluando las intersecciones semaforizadas.



Según el *Highway Capacity Manual* la definición de la capacidad sería la siguiente: la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por una intersección durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio ambiente.

El estudio de la capacidad en intersecciones tiene como objetivo determinar la capacidad de los distintos movimientos que pueden efectuarse sobre ella, así como su interacción entre ellos.

#### 4.5.2. Factores

La capacidad de una determinada intersección se ve condicionada por varios factores, unos de tipo geométrico como la anchura de los carriles o la inclinación de la rasante, y otros ya de tipo circunstancial, estos reflejan el uso que hacen de la intersección los vehículos, los ciclistas y los peatones.

##### *Geometría de la intersección*

La anchura de la calle es el factor más significativo de cara a evaluar la capacidad de una intersección. La anchura del acceso no varía únicamente con la de la calle, sino que depende de otros factores como la disposición de las marcas viales o la presencia de isletas u otros obstáculos.

El número de filas en que se dispone el tráfico no solo depende de que así se haya señalizado, ya que, con qué frecuencia, sobre todo en las horas punta, los vehículos se sitúan formando más filas que las definidas por las marcas viales. Esto no quiere decir que una buena demarcación de carriles no contribuya a aumentar la capacidad de la intersección, por norma general.



Otro factor que ejerce influencia en la capacidad es la inclinación de la rasante, ya que puede favorecer o dificultar el movimiento de los vehículos, especialmente de los pesados.

#### *Composición del tráfico*

La proporción de vehículos pesados existente en la corriente de tráfico se hace patente en la capacidad individual de cada acceso y de la intersección en conjunto. Como ya sabemos, el vehículo pesado es más lento y voluminoso, y sus maniobras en más restringidas, debido a su mayor radio de giro.

Por otro lado, los autobuses influyen doblemente ya que, aparte de poder considerarlos como vehículos pesados, su frecuencia de parada en los puntos destinados a la subida y bajada de viajeros (paradas de autobús) modifica la capacidad del acceso donde existan este tipo de zonas.

#### *Estacionamiento*

La existencia de vehículos detenidos o estacionados en las proximidades de la intersección es un factor que afecta doblemente a la capacidad de la intersección, esto debido a que disminuye la anchura eficaz del acceso y retarda la circulación de vehículos, en el caso de existir vehículos realizando maniobras de estacionamiento.

La presencia de vehículos estacionados en las inmediaciones de la intersección reducirá grandemente la capacidad de esta. Sin embargo, si se destina una zona de la vía a este fin, pueden obtenerse mejoras notorias de la capacidad.

#### *Maniobras de giro*

Ante la presencia de una intersección semaforizada, y tomando en consideración la tipología y la regulación de esta, el conductor del vehículo tiene una serie de posibles



trayectorias a seguir, que genéricamente son: continuar en la dirección que lleva, girar a la derecha o girar a la izquierda.

Se ha comprobado experimentalmente que el porcentaje de vehículos que efectúan maniobras de giro afecta negativamente a la capacidad de la intersección. En el caso de los giros a derecha, la presencia de peatones con prioridad de paso reduce aún más su capacidad.

En determinadas circunstancias puede ser recomendable proteger un giro. Un giro protegido es aquél que se realiza en una fase exclusiva, sin oposición de ninguna corriente, peatonal o de tráfico. Un giro protegido no afecta a la capacidad del acceso.

#### *Factor de hora punta*

La intensidad se relaciona con el volumen por medio del factor de hora punta, definido como la relación entre el volumen medio de un periodo y la intensidad máxima de circulación producida en uno de los fragmentos en que hemos dividido dicho periodo.

El momento más crítico para la intersección en lo que a capacidad se refiere se produce durante la hora punta, por lo que será necesario tener en cuenta el factor de hora punta (FHP).

El Highway Capacity Manual (HCM) 2010 define el factor de hora punta como “el cociente intensidad de la hora punta y cuatro veces la intensidad de los quince minutos más cargados.”

$$FHP=(I_{60})/(4*I_{15})$$

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 ( $I_{15}$ ), debido a que los criterios de nivel de servicio que adopta el HCM 2010 se refieren a esta última. En zonas urbanas, dicho factor se halla comprendido normalmente entre 0.75 y 0.90 tomándose como valor medio 0.85.



### Situación de la intersección

Análogamente a la influencia del tamaño de la ciudad en la fluidez del tráfico, 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 mercantil y de negocios. Se caracteriza por el gran número de peatones, por la frecuencia de vehículos que cargan y descargan mercancías, por la alta demanda de estacionamiento y por la alta rotación de este.
- **Zona intermedia:** zona contigua al centro, donde se mezcla la actividad mercantil con suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico no tiene su origen ni su destino dentro de la zona, caracterizada por la presencia de un número moderado de peatones.
- **Subcentros o centros periféricos:** de menor entidad que el centro, aunque de características similares, con la diferencia de que se observa una mezcla de tráfico de paso con el existente dentro de la propia zona.
- **Zonas residenciales:** son aquellas en las que predomina el uso residencial, y se caracterizan por poseer una baja densidad peatonal y una renovación de estacionamiento muy baja.

Son varios los factores que pueden afectar la capacidad de una intersección.

#### 4.6. Nivel de servicio.

El nivel de servicio, conocido como LOS (por sus siglas en inglés Level Of Service), se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario, (Transportation Research Board), define seis niveles de servicio para un régimen continuo de circulación, es decir sin detenciones producidas por intersecciones o semáforos.

Se define el nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos en términos de demora media de parada por vehículos para un período de análisis de 15 minutos, como medida de la satisfacción del conductor con el servicio prestado.



El nivel de servicio viene caracterizado por la demora media por vehículo, que debe calcularse para cada movimiento por separado. Éstos llevan asignados una letra de la A a la F, del mismo modo que en carreteras convencionales y autovías. Los conceptos más útiles de capacidad que se emplean son la saturación y la intensidad de saturación, definida como la máxima intensidad de circulación que puede circular por un grupo de carriles dado en las condiciones de tráfico y de la vía imperantes, suponiendo que dicho grupo tenga un 100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo.

Los distintos tipos de niveles de servicio indican los valores de demoras producido por las colas que se dan en los accesos a la intersección. Ambos manuales indican los mismos manejos de tiempos de demoras asignados a un nivel de servicio.

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA EN SEGUNDOS
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-50
E	>50-80
F	>80

Tabla 1. Nivel de servicio en función de la demora

Las características principales para cada nivel de servicio son:

- **Nivel de servicio A:** Baja demora, sincronía extremadamente favorable, demoras menores a 10 segundos por vehículo. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto puede contribuir a demoras únicas.
- **Nivel de servicio B:** Las demoras de operación están entre 10,1 y 20 segundos por vehículo, algunos vehículos comienzan a detenerse.



- **Nivel de servicio C:** Operación con demoras entre 20,1 y 35 segundos por vehículos.
- **Nivel de servicio D:** Operación con demoras entre 35,1 y 50 segundos por vehículo, empieza a notarse la influencia de congestionamientos, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.
- **Nivel de servicio E:** Empieza el límite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes. La demora es de 50,1 0 a 80 segundos.
- **Nivel de servicio F:** El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiados largos. La demora es mayor a 80 segundos.

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

##### 4.7.1. Introducción

El método tradicional de evaluación de intersecciones semaforizadas es mediante la utilización de manuales estandarizados. El Highway Capacity Manual 2010 (HCM) contiene parámetros generales para la evaluación de intersecciones. El capítulo de intersecciones semaforizada en el HCM contiene la información necesaria para la comprensión y recopilación de los datos requeridos para el análisis del nivel de servicio. Dicho análisis toma en consideración la saturación de flujo vial, presencia de camiones de carga pesada, estacionamientos en la calzada, los movimientos peatonales, ciclistas, los ciclos de los semáforos y todos los factores que pudieran afectar la funcionalidad de una intersección. Estos factores, y los parámetros antes mencionados, son utilizados alrededor del mundo, por lo que la metodología





presentada en el manual HCM resulta un método viable y seguro para la evaluación de capacidad, saturación y del nivel de servicio de una intersección

Para determinar el nivel óptimo del flujo de vehículos en una intersección, se utilizará el Highway Capacity Manual 2010. Usando como base el método definido en el capítulo 18 titulado "Intersecciones señalizadas" del volumen 3. En este capítulo se evalúa la capacidad y el nivel de servicio proporcionado a los usuarios por medio de una intersección semaforizada.

La capacidad y el nivel de servicio son análisis que se realizan por separado, a partir de un proceso que se inicia con la recaudación de la información (aforos), a partir de los cuales se realiza un análisis para obtener la capacidad y, por consiguiente, el nivel de servicio en el que se encuentra la intersección.

Para determinar la capacidad o el nivel de servicio, es imprescindible entender en primer lugar la forma en que se agrupan los carriles, identificado como: movimientos por carriles o movimientos por grupos de carril (GC), definiendo el "GC" como el mismo movimiento que se lleva a cabo en uno o más carriles. En segunda medida para determinar la capacidad y el Nivel Servicio, se debe analizar por grupos de carriles los cuales acceden a una intersección, e identificar la demora media en parada por Grupo de Carril de la intersección, para este factor se encuentra que es alterado por la calidad de progresión, de duración de la fase verde, del ciclo y de la capacidad.

#### 4.7.2. Determinación de la capacidad y el nivel de servicio

Como se ha dicho anteriormente, para la determinación de la capacidad en una intersección semaforizada, el Highway Capacity Manual 2010, en su capítulo 18 de intersecciones semaforizadas, describe una metodología para la evaluación de la capacidad y nivel de servicio. Además, incluye una serie de medidas de actuación que describen el funcionamiento de la intersección para modos de viajes múltiples. Estas medidas sirven como clave para identificar el origen de los problemas y proporcionar información sobre el desarrollo de estrategias de mejora.



### *Nivel de Análisis*

Al aplicar esta metodología, el nivel de análisis puede describirse en tres niveles:

- **Análisis Operacional:** El análisis operacional es un proceso que permite la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de una intersección. El análisis operacional es la aplicación más detallada y requiere información sobre el tráfico, tanto condiciones geométricas como de señalización.
- **Análisis en base al Diseño:** El análisis en base al diseño también requiere información detallada sobre las condiciones de tráfico y niveles de servicio, así como sobre las condiciones geométricas y de señalización. Este análisis busca determinar unos valores razonables para las condiciones no previstas.
- **Planificación e ingeniería preliminar:** este requiere solamente de información proporcionada por el analista. Para los otros datos de entrada se toman unos valores por defecto.

Al intervalo de tiempo representado por la evaluación de actuación lo llamamos periodo de estudio. Y el periodo de análisis es el intervalo de tiempo evaluado por una sola aplicación de la metodología.

La metodología se basa en la suposición de que las condiciones de tráfico son constantes durante el período de análisis, es decir, el cambio sistemático en el tiempo es despreciable. Por esta razón, el período de análisis varía desde 0,25 hasta 1 hora. Hay que tener especial precaución con los períodos de análisis que exceden de 1 h, ya que las condiciones de circulación generalmente no son estables durante largos períodos de tiempo.

Uno de los enfoques que más se utilizan se basa en la evaluación del número de vehículos en los 15 minutos más cargados del período de estudio. El período de análisis es de 0,25 h.

Por tanto, describiremos como el factor de hora punta a la relación entre la intensidad horaria de la hora punta y cuatro veces la intensidad del cuarto de hora más cargado de esa hora punta.



Para el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio en intersecciones semaforizadas la estructura de la metodología presenta una secuencia de cálculos necesarios para determinar las medidas de actuación. Y estos cálculos se describen a continuación:

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

El designar un grupo de movimiento es eficaz para especificar los datos de entrada mientras que el grupo de carril es útil para la descripción de los cálculos asociados con la metodología.

Las siguientes reglas son utilizadas para determinar grupos de movimientos en una intersección:

- 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.

El concepto de grupo de carriles es útil cuando un carril compartido está presente en un enfoque que tiene dos o más carriles. Las siguientes reglas son utilizadas para determinar los grupos de carriles en una intersección:

- Uno o más carriles exclusivos de giro a la izquierda deben ser asignados como un grupo de carriles separado. Del mismo modo ocurre en carriles exclusivos de giro a derechas.
- Cualquier carril compartido debe ser designado como un grupo de carriles separado.
- Aquellos carriles que no sean carriles de giro exclusivos o carriles compartidos debe combinarse en un grupo de carriles.

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

- Carril (o carriles) exclusivo de giro a la izquierda.



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

La metodología puede aplicarse a cualquiera combinación lógica de estos grupos de carriles.

La figura 17 muestra los grupos de movimientos y grupos de carriles más comunes que se utilizan para el análisis.

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

Figura 17. Grupo de carriles comunes para el análisis



## 2. Determinar la intensidad por grupo de movimientos

En este paso se determina la intensidad para cada grupo de movimientos. Si el movimiento de giro es atendido por uno o más carriles exclusivos o no compartidos, entonces la intensidad de los movimientos es asignada a un grupo de movimientos. La intensidad de giros a la derecha en rojo es sustraída de la intensidad de giros a la derecha, independientemente si el giro a la derecha ocurre de un carril compartido o exclusivo. En una intersección existente, el número de giros a la derecha en rojo debe ser determinado mediante observación en campo.

## 3. Determinar la intensidad por grupo de carriles

En este paso se determina la intensidad por grupo de carriles. Si no hay carriles compartidos en la intersección o sólo tiene un carril, hay una correspondencia exacta entre grupo de carriles y grupo de movimiento, por lo que la intensidad de los grupos de carriles será igual que la intensidad de los grupos de movimientos.

Si hay uno o más carriles compartidos en la actuación y dos o más carriles, entonces la intensidad por grupo de carriles se basa en el deseo que asumen los conductores al elegir el carril que minimice su tiempo de servicio en la intersección, donde la intensidad de saturación es utilizada para estimar las diferencias relativas en ese momento entre los diferentes carriles.

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

El ajuste de la intensidad de saturación para cada carril de cada grupo de carril se calcula en base a la siguiente ecuación. Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base (so) con unas condiciones específicas que se presentan en la intersección. La siguiente ecuación se utiliza para carriles exclusivos con modo protegido sin interacción de peatones ni ciclistas.

$$s = s_o \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad (1)$$

En donde:



$s_0$  =intensidad de saturación base (1900 veh/h/carril).

$f_w$  =factor de ajuste por ancho de carril.

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

$f_g$  =factor de ajuste por inclinación del acceso.

$f_p$  = factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento.

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

$f_a$  =factor de ajuste por tipo de área.

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

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

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

$f_{Lpb}$  =factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones y ciclistas.

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

### ***Intensidad de saturación base ( $s_0$ )***

Con este término se representa el valor promedio de intensidad para un tráfico que tenga unas condiciones evaluadas de 1 para cada valor de ajuste. Dicho valor es de 1900 vehículos/carril/hora según determina el HCM de 2010.

### ***Factor de ajuste por ancho de carril- $f_w$***

Depende del ancho promedio del carril en un grupo de carriles. Este tiene en cuenta el impacto que pueden ejercer los carriles estrechos en la intensidad de saturación, así como el incremento de intensidad producidos por carriles anchos. El ancho estándar es de 3,65 metros. En el caso de que el carril fuese superior a los 4,8 metros de ancho, debería analizarse considerándose dos carriles estrechos. El uso de dos carriles siempre conllevará una mayor intensidad de saturación que con un único carril, pero



en ningún caso se ha de calcular este factor para anchuras inferiores a los 2,4 metros.  
A continuación, se muestra la tabla con los valores de estos factores.

<b><i>f<sub>w</sub></i></b>	<b>Ancho de carril (m)</b>
0,96	≤ 3
1	3-3,9
1,04	≥ 3,9

Tabla 2. Factor de ajuste por ancho de carril.

### **Factor por vehículos pesados- *f<sub>HV</sub>***

$$F_{HV}=100 / (100+P_{HV} * (E_T - 1)) \quad (2)$$

Donde:

**P<sub>HV</sub>**: porcentaje de vehículos pesados en el grupo de carriles

**E<sub>T</sub>**= 2 para camiones y autobuses.

Este factor tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados y sus diferentes paradas en relación con los vehículos ligeros. Es un factor de corrección por demora adicional, reduce el flujo de saturación.

### **Factor por pendiente- *f<sub>g</sub>***

Este se utiliza para corregir el efecto de la pendiente sobre la velocidad de los vehículos, es decir, tiene en cuenta el efecto de la inclinación en cualquier operación de todos los vehículos.

$$F_g=1 - P_g / 200 \quad (3)$$

Expresado en % y límites en  $-6 \leq P_g \leq 10$  siendo los valores negativos con la pendiente abajo.



**Factor de ajuste por maniobras de estacionamiento -  $f_p$**

$$F_p = (N - 0,1 - (18 * N_m / 3600)) / N \quad (4)$$

Donde:

N= número de carriles en el grupo de carriles.

N<sub>m</sub>= número de maniobras por hora en 75 m aguas arriba, y con límite de 180.

F<sub>p</sub>= 1 si o=no hay aparcamiento.

$$F_p \geq 0,05$$

Nota: se entiende que cada maniobra estorba 18 segundos.

El factor de ajuste de estacionamiento es primordial en la obtención de la tasa de flujo saturación, este tiene en cuenta el efecto de fricción que el carril de estacionamiento ejerce sobre el grupo de carriles en conjunto, así como el bloqueo ocasional de estos carriles por los vehículos que entran y salen de los aparcamientos. Este factor depende del número de carriles y del número de maniobras de estacionamiento por hora.

**Factor por bloqueo del bus -  $f_{bb}$**

$$f_{bb} = (N - (14,4 * N_B / 3600)) / N \quad (5)$$

Donde:

N= número de carriles en el grupo de carriles

N<sub>B</sub>= número de buses parados en 75m aguas arribas o aguas abajo, y con límite de 250.

$$f_{bb} \geq 0,05$$

Nota: se entiende un bloqueo medio de 14,4 segundos por fase de verde.





Este factor tiene en cuenta el impacto de los autobuses de circulación local al recoger o descargar pasajeros en la zona anterior o posterior de la intersección, en una distancia comprometida entre 75 metros y la línea de parada.

***Factor de ajuste por tipo de área -  $f_a$***

Este factor tiene en cuenta la ineficiencia relativa de las intersecciones en las zonas comerciales en comparación con aquellas zonas situadas en otros lugares, y se debe fundamentalmente a la complejidad y congestión general en el entorno de las zonas comerciales. Cuando ocurre esta situación este factor adopta el valor de 0,90.

***Factor por uso de los carriles –  $f_{LU}$***

$$f_{LU} = V_g / N * V_{g1} \quad (6)$$

donde:

$V_g$ = es el volumen de tráfico del grupo de carriles

$N$ = es el número de carriles del grupo.

$V_{g1}$ = es el volumen de tráfico del carril más cargado.

Este factor se utiliza para estimar la intensidad de saturación para un grupo de carriles con más de un carril exclusivo.

$f_{LU}$  vale 1 cuando solo tiene un carril o cuando no hay variación en la distribución del tráfico entre los carriles de un grupo (al no haber variación del número de carriles aguas arriba o abajo del cruce ni preposicionamiento para giros complicados), es decir que, Si el grupo de carriles tiene un carril compartido o un carril exclusivo, entonces este factor es 1,0.

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

Se usa para considerar el efecto del mayor tiempo que toma el movimiento de giro a la izquierda.



Este factor de ajuste intenta reflejar el efecto de la geometría. Para calcular su valor se utiliza la expresión que se muestra a continuación:

$$f_{LT} = 1 / E_L \quad (7)$$

Donde:

$E_L$  = equivalente de vehículos que giran a la izquierda en modo protegido. Será igual a 1,05. Para carril compartido o único equivale a 0,85 y para doble carril su valor será de 0,75.

#### ***Factor por giros a derecha - $f_{RT}$***

Se considera por el efecto de la geometría y por el uso del cruce peatonal.

$$f_{RT} = 1 / E_R \quad (8)$$

Donde:

$E_R$  = equivalente de vehículos que giran a la derecha en modo protegido. Será igual a 1,18. Sin embargo, para carril compartido o único equivale a 0,95 y, para doble carril su valor será de 0,92. Para una calle en intersección en T se usa 0,85 para un carril y 0,75 para dos carriles.

#### ***Ajustes en giros por cruce de peatones y bicicletas - $f_{Lpb}$ $f_{Rpb}$***

Se incluyen en la ecuación del flujo de saturación, para considerar la reducción en el flujo de saturación que resulta de los conflictos entre los automóviles, peatones y bicicletas.

Para determinar estos factores se determinará el promedio de ocupación por los peatones y por los ciclistas, la ocupación de la zona relevante en conflicto (tanto para peatones como para ciclistas) y, por último, proceder a calcular el factor de ajuste.

*-Promedio de ocupación de los peatones*



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

$$V_{pedg} = V_{ped} * (c / gp) \leq 5000 \quad (9)$$

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)

$gp$  = 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:

$$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000 \quad (10)$$

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

$$OCC_{pedg} = 0,4 + (V_{pedg} / 2000) \leq 0,90 \quad (11)$$

*-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:

$$V_{bicg} = V_{bic} * (c / g) \leq 1900 \quad (12)$$

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:

$$OCCbicg = 0,02 + (Vbicg / 2700) \quad (13)$$

-Zonas de conflictos ocupacional relevantes

Con las ecuaciones que se muestran a continuación (14) y (15), 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 (OCCr).

$$OCCr = (gped / g) * OCCpedg \quad (14)$$

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

- El cruce de peatones se lleva a cabo durante el período de tiempo asociado con  $gped$ .
- El no cruzar ocurre durante el período de fase en verde  $g-gped$ , 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.

$$OCCr = (gped / g) * OCCpedg + OCCbicg - ((gped / g) * OCCpedg * OCCbicg) \quad (15)$$

- Factor de ajuste

Por último, para determinar el factor de ajuste ( $fLpb$  y  $fRpb$ ), 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:

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:

$$A_{pbT}=1-OCCr \quad (16)$$

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:

$$A_{pbT}=1-(0,6 * OCCr) \quad (17)$$

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.

$$f_{Rpb}=A_{pbT} \quad (18)$$



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.

$$fLpb=ApbT$$

#### 5. Determinar la duración de fase de semáforo

La duración de fase de semáforo depende del tipo de control utilizado en la intersección. Si la intersección tiene un control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se omite.

#### 6. Determinación de la capacidad $c_i$

Al tener una intersección de análisis se requiere llegar a cuál es su capacidad actual por grupo de carril e identificar cuál es su nivel de servicio a partir de la demora de control, siendo esta el tiempo que los vehículos se ven afectados por el tiempo en el que la señal semafórica ocasionada bloqueo de acceso a la intersección.

La Capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una intersección.

La capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación,

proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles. La capacidad de una intersección viene dada por:

$$c = \frac{N \cdot s \cdot g}{C} \quad (20)$$



Donde:

$c_i$  = capacidad del grupo de carriles  $i$  (veh / h)

$s_i$  = intensidad de saturación de un carril (veh / h \* carril)

$g_i / C$  = proporción efectiva de verde para el grupo de carriles  $i$ .

#### *Obtención del grupo de carriles críticos*

El grupo de carriles crítico es aquel que tiene el mayor valor de  $X$  o índice volumen / capacidad.

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

$$X = \frac{v}{c} \quad (21)$$

En donde:

$X$  = proporción volumen-capacidad

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

$c$  = capacidad (veh/h)

Es aquel que determinará la duración de verde requerida en su fase repartiendo el ciclo restante entre los demás movimientos.

### **7. Determinación de la demora**

La demora se define como una medida compleja ya que depende de una serie de valores que incluyen la calidad de la progresión, la relación de verde, la duración del ciclo, y la relación intensidad-capacidad para el grupo de carriles en cuestión.

La demora que se calcula en este apartado representa el promedio de la demora media experimentada por todos los vehículos que llegan durante el período de



estudio. La demora de control para un grupo de carril dado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad (22)$$

Donde:

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

$d_1$ = demora uniforme (s/veh): se calcula asumiendo llegadas uniformemente distribuidas a lo largo del tiempo del ciclo. Si la intersección se encuentra en capacidad, la demora media será igual a la mitad del tiempo de rojo.

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

$d_2$ = demora incremental (s/veh)

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

Para que la demora fuera nula es necesario que las llegadas se dieran solamente en el tiempo de verde. Y este es el efecto que procura tomar el factor de progresión, cuya influencia resulta superior al de todos los otros juntos para el término de demora uniforme.

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





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

Tipo de llegada	El factor de ajuste de progresión PF como una función de la proporción de verde					
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
No coordinado	1	1	1	1	1	1
Coordinado *	0,92	0,86	0,78	0,67	0,5	0,22

$$*PF = \frac{1 - [1,33 \cdot g/C]}{1 - g/C}$$

Tabla 3. Valores Para el Factor de Ajuste de Progresión.

El HCM 2010 sugiere unos valores por defectos para identificar el tipo de llegada, para después calcular el factor de progresión, están basados en el espaciamiento entre semáforos y en consideraciones generales que pueden no ser correctamente interpretadas para determinados casos particulares.

Retomando el concepto de la demora uniforme, se hallará utilizando la siguiente ecuación:

$$d_1 = \frac{0,5 \cdot C \cdot \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \cdot \frac{g}{C}\right]} \quad (23)$$

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.

La demanda incremental ( $d_2$ ), se estima por las llegadas no uniformes y los fallos temporales de ciclo, así como las causadas por periodos de sobresaturación. Esto se basa en la relación volumen-capacidad ( $v/c$ ) del grupo de carriles ( $x$ ), de la duración



del período de análisis (T) y la capacidad del grupo de vías (c). Asumiendo que no hay demanda sin servicio causada por filas residuales en el comienzo del período de análisis, obteniéndose la demora incremental ( $d_2$ ) con la siguiente ecuación:

$$d_2 = 900 \cdot T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad (24)$$

En donde:

$d_2$  = demora incremental (s/veh)

T= duración del ciclo (h)

X= relación v/c del grupo de carriles

c= capacidad (veh/h)

Ya en último lugar, pero no menos importante, la demora por cola inicial ( $d_3$ ) representa la demora experimentada por todos los vehículos que llegan durante el periodo de análisis, incluyendo la demora que es experimentada en los períodos de tiempo subsecuentes. Por tanto, esta demora debe agregarse en caso de que exista cola inicial. En caso de que no sea así, la demora por cola inicial es igual a 0. La expresión que se utilizará para su cálculo es la siguiente:

$$d_3 = \frac{1800 \cdot Q_b \cdot (1 + u) \cdot t}{c \cdot T} \quad (25)$$

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

### 8. Determinar el nivel de servicio (NS)

Para definir el nivel de servicio se utiliza la tabla mencionada en el estado del arte sobre el nivel de servicio en referencia a la demora; se determina el nivel de servicio para cada grupo de carriles, cada planteamiento y cada intersección como un conjunto. El nivel de servicio es una indicación de la aceptabilidad de los niveles de demora de vehículos en la intersección. También puede indicar una operabilidad inaceptable por un grupo de carriles individual.

NIVEL SERVICIO	DE	DEMORA SEGUNDOS	EN
A		<10	
B		>10-20	
C		>20-35	
D		>35-50	
E		>50-80	
F		>80	

*Tabla 4. Demora del tráfico según nivel de servicio.*



## 5. CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

---

### 5.1. Características de la intersección semaforizada

#### 5.1.1. Caracterización del Tramo

El tramo de estudio elegido se localiza en la parte oeste, es decir municipio Santo Domingo Oeste de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana, específicamente en la Zona Industrial de Herrera. Se trata de una de las principales vías de acceso a la ciudad de Santo Domingo por la Autopista 6 de noviembre y la Autopista Circunvalación de Santo Domingo; estas autopistas son la conexión entre la región sur del país y la provincia Santo Domingo. En sus proximidades se encuentran elementos que hacen que esta intersección adquiera gran importancia en la ciudad de Santo Domingo; tales como: El Hospital Regional Doctor Marcelino Vélez Santana, El Instituto Agrario Dominicano, el Ministerio de Defensa De la República Dominicana, La Plaza de la Bandera de la República Dominicana, El Campus Central de la Universidad Tecnológica de Santiago (UTESA). Además de eso está ubicada en una de las zonas industrial más grande de Santo Domingo, la zona Industrial de Herrera donde hay muchos trabajadores que tienen que trasladarse hacia esta.

La intersección está formada por la avenida Prolongación de la Avenida 27 de febrero, la avenida Isabel Aguiar y la Calle primera esta misma sirve de conexión hacia la Autopista 6 noviembre, que conecta a la ciudad de santo domingo con la región sur del país. En la figura 18 se muestra una foto tomada de Google Earth donde se puede ver la intersección completa.

Desde la Plaza de la Bandera hacia el oeste, la Prolongación de la Avenida 27 de Febrero se torna la principal vía que mueve el tránsito de los vehículos que viajan hacia barrios densamente poblados como Herrera, Los Alcarrizos y Manoguayabo, entre otros.

La intersección de la avenida Isabel Aguiar con prolongación Avenida 27 de Febrero, popularmente llamada “Pintura”, es el punto de empalme con la autopista “6 de



Noviembre”, y utilizada diariamente por miles de conductores que viajan desde y hacia la región Sur y Haití.

Igualmente, por esa esquina circula una parte significativa de los vehículos que van al Cibao, los que a través de la Prolongación de la Avenida 27 de Febrero, se unen a la Autopista Duarte.

Se analizará la intersección por accesos y más adelante, se definirá la problemática localizada en la semaforizada de este estudio con más detalle.



Figura 18. Vista de Google Earth de la intersección objeto de estudio.



Figura 19. Vista de Google Maps de la intersección objeto de estudio.

### Acceso 1

En este acceso los vehículos proceden de la Prolongación Avenida 27 de Febrero, dirección Este-Oeste, la cual se inicia en la Plaza de la Bandera de la República Dominicana y finaliza en el cruce del kilómetro 13 de la Autopista Duarte, que después el cruce pasa a ser Avenida República de Colombia. Se trata de una de las principales vías de acceso a la ciudad, posee 7251 metros de longitud y unos 14 metros de anchura y dispone de cuatro carriles. Este acceso contiene vehículos que van a diferentes direcciones: un giro a la derecha con dirección a la Isabel Aguiar, uno directo que sigue la prolongación Avenida 27 de Febrero, un giro a la izquierda con dirección a la Isabel Aguiar. En este acceso se presentan autobuses y peatones, pero no presenta parada de bus ni cruce de peatones, no presenta semáforo para peatones.



Figura 20. Fotografía del Acceso 1

### **Acceso 2**

Este acceso es el que le da entrada desde la región sur del país hacia la ciudad de Santo Domingo, como el acceso 1 este los vehículos proceden de la Prolongación Avenida 27 de Febrero Oeste-Este, posee 7251 metros de longitud y en esta parte de la intersección posee 18.00 metros de anchura divididos en 5 carriles. Los vehículos de este acceso van dirección hacia la Avenida Isabel Aguiar, y directo en la misma prolongación 27 de febrero.



*Figura 21. Fotografía del Acceso 2.*

### **Acceso 3**

En este acceso los vehículos proceden de la avenida Isabel Aguiar, dirección Norte-Sur la cual inicia en el kilómetro 12 de la carretera Sánchez y terminando en el kilómetro 9 de la Autopista Duarte. Tiene una longitud de unos 9000 metros atravesando gran parte del municipio Santo Domingo Oeste, ha desarrollado una gran estructura comercial, convirtiéndose así, en una de las Avenidas más significativas de este municipio. Este acceso está conformado por 3 carriles. Al igual que los accesos explicados anteriormente no presenta paradas de buses ni estacionamiento en la intersección.





*Figura 22. Fotografía del Acceso 3.*

#### **Acceso 4**

El acceso 4 al igual que el 3 los vehículos proceden de la avenida Isabel Aguiar, pero en dirección Sur-Norte. Al tratarse de la misma avenida del acceso 3 esta tendrá las mismas características en cuanto a dimensión de trata que fueron especificadas en dicho acceso. Posee 3 carriles. Al igual que los otros accesos no posee estacionamiento, ni parada de buses y tampoco paso para peatones.



Figura 23. Fotografía del Acceso 4.

#### Acceso 5

En este acceso los vehículos proceden de la Calle primera con una longitud de 625 metros y 9.3 metros de anchura. Existe un giro hacia la derecha con dirección a la Avenida Isabel Aguiar.



Figura 24. Fotografía del Acceso 5.



### 5.1.2. Caracterización del Transporte Urbano

Para el conocimiento completo del transporte urbano que se maneja sobre las intersecciones, se debe hallar la información sobre los movimientos que se producen en los centros atractores y receptores cerca de las intersecciones. En el estudio que nos ocupa, se encuentran cerca lugares con una gran afluencia de vehículos, lo que conlleva bastante tráfico en las horas punta, ya que esta intersección se utiliza para acceder a los distintos lugares, tales como: El Hospital Regional Doctor Marcelino Vélez Santana, El Instituto Agrario Dominicano, el Ministerio de Defensa De la República Dominicana, La Plaza de la Bandera de la República Dominicana, El Campus Central de la Universidad Tecnológica de Santiago (UTESA). Además de eso está ubicada en una de las zonas industrial más grande de Santo Domingo, la zona Industrial de Herrera.

En lo referente al transporte público urbano que circula en la Republica Dominicana hay que destacar tres tipos principales de transporte urbano: el metro, los autobuses o guaguas, el concho o carro público y el motoconcho.

El metro de Santo domingo transporta a diario mas de 350000 pasajeros que se desplazan en el gran Santo Domingo. En la intersección objeto de estudio no presenta paradas del metro aledañas a la estación.

Hay que destacar, hay que saber que hay dos tipos de autobuses en el país. Por un lado, están los autobuses o guaguas locales, que son los que trasladan pasajeros de un sitio a otro de la ciudad. Operan dos servicios diferentes de estos autobuses: los autobuses públicos (gestionados por sindicatos de conductores), que no tienen paradas establecidas y son menos puntuales; y los autobuses OMSA (pertenecientes al Estado), que están en mejores condiciones, pero cubren menos rutas que los otros. En la intersección de estudio operan los autobuses públicos gestionados por sindicatos de conductores.



El concho, o carro público, es el transporte urbano más típico de República Dominicana. Estos son taxis colectivos que ofrecen sus servicios por las principales ciudades del país.

El sistema de Carros Públicos consiste en vehículos privados que transitan una ruta específica diariamente y en el cual los pasajeros pueden elegir el sitio de parada. Este es una de las principales vías de transporte dentro de la ciudad capital, Santo Domingo, como también en otras ciudades importantes. Sin embargo, este sistema no es muy fiable y los vehículos pueden ser algo incómodos, ya que los conductores tratan de encajar tantas personas como puedan dentro de ellos.

El motoconcho funciona igual que el “concho”, pero es una motocicleta. Lo habitual es utilizarla para los trayectos cortos.

### 5.1.3. Caracterización de la intersección de estudio

Para realizar el análisis de la capacidad de la intersección semaforizada se ha decidido estudiar la intersección dividida por accesos, 5 para ser más específicos como se dijo anteriormente. En las siguientes imágenes se representan, para cada acceso, los movimientos vehiculares que se dan en el mismo.

#### **Acceso 1**

El acceso 1 cuenta con 4 carriles de unos 3.50 metros de ancho que operan en dirección Este-Oeste. Aquí se presenta un carril que permite el giro a la derecha, un carril que permite el giro a la izquierda y dos carriles con dirección directa.

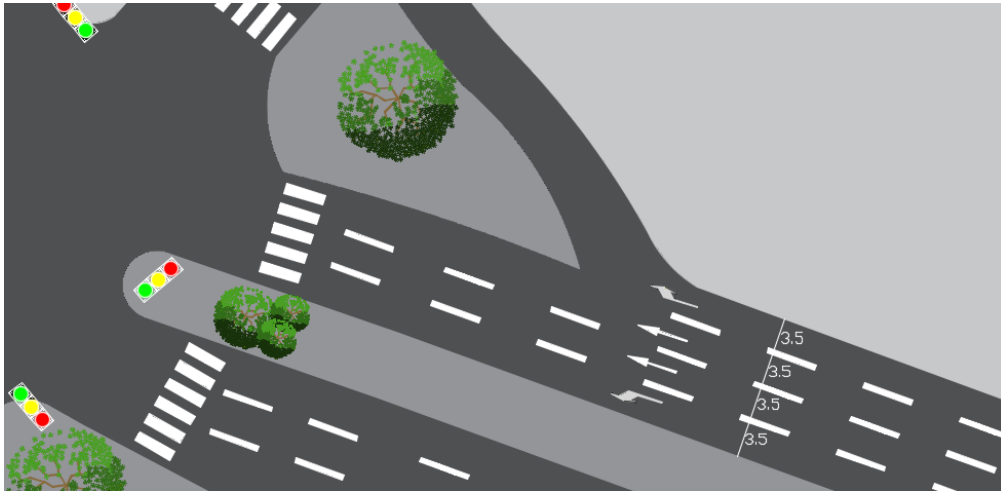


Figura 25. Descripción física del Acceso 1

## Acceso 2

El acceso 2 cuenta con 5 carriles de unos 3,60 metros de ancho los cuales operan de Oeste- Este. El carril más situado al sur permite exclusivamente el giro a la derecha, existe un carril que permite el giro a la izquierda y tres carriles en sentido Oeste-Este directo.

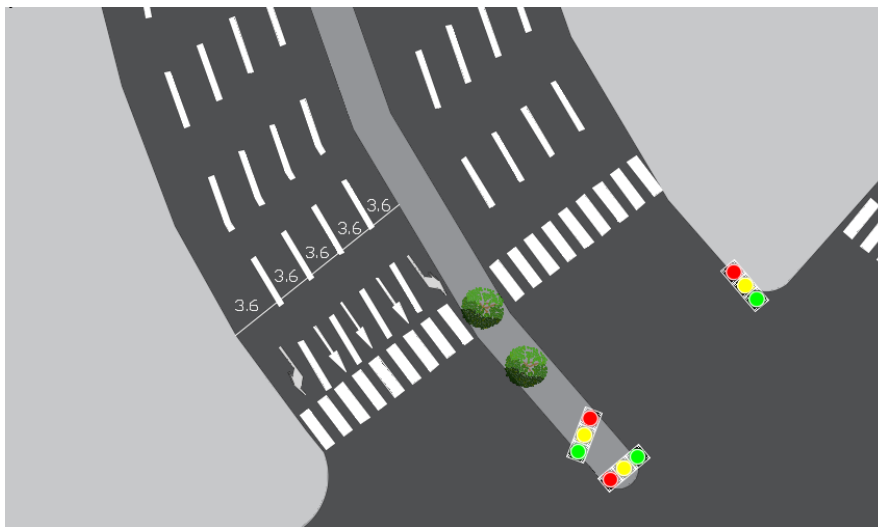


Figura 26. Descripción física del Acceso 2



### Acceso 3

El acceso 3 cuenta con 3 carriles, cada uno de 2,75 metros de ancho. El carril más situado al Oeste permite el giro a la derecha. En sentido Sur a Norte, se cuenta con 3 carriles, cada uno de 2.80 metros de ancho, los cuales proceden de los vehículos que han continuado en el acceso 4, los que giran a la derecha en el acceso 1 y los que giraron a la izquierda en el acceso 2.



Figura 27. Descripción física del Acceso 3.

### Acceso 4

El acceso 4, cuenta con 3 carriles en la dirección de Sur a Norte de 2.80 m, en los que el carril más situado al Este permite el giro a la derecha, y el resto sigue recto hacia el acceso 3 y los que giran a la izquierda con dirección al acceso 2. En dirección Norte posee tres carriles de 2.75 metros que proviene de los que continuaron recto del acceso 3, los que giraron a la izquierda del acceso 1 y los que giraron a la derecha proveniente del acceso 2.

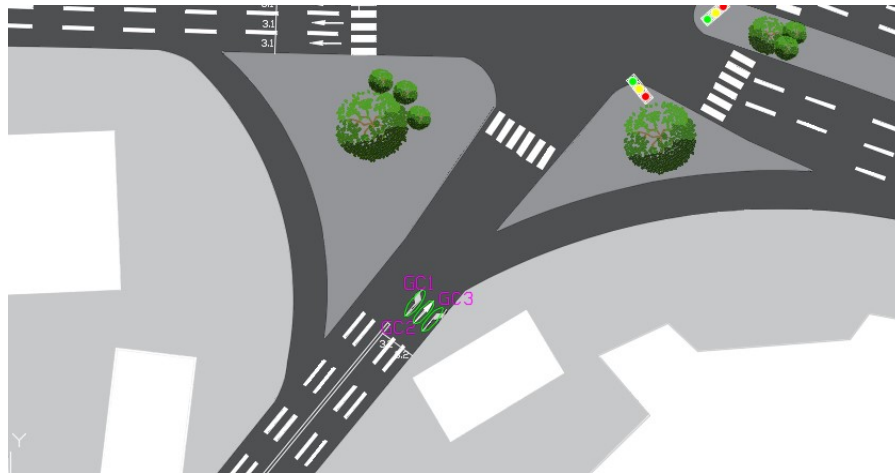


Figura 28. Descripción física del Acceso 4.

### Acceso 5

El acceso 5, cuenta con 3 carriles de 3.1 metros, el carril situado más al sur permite el giro a la derecha.

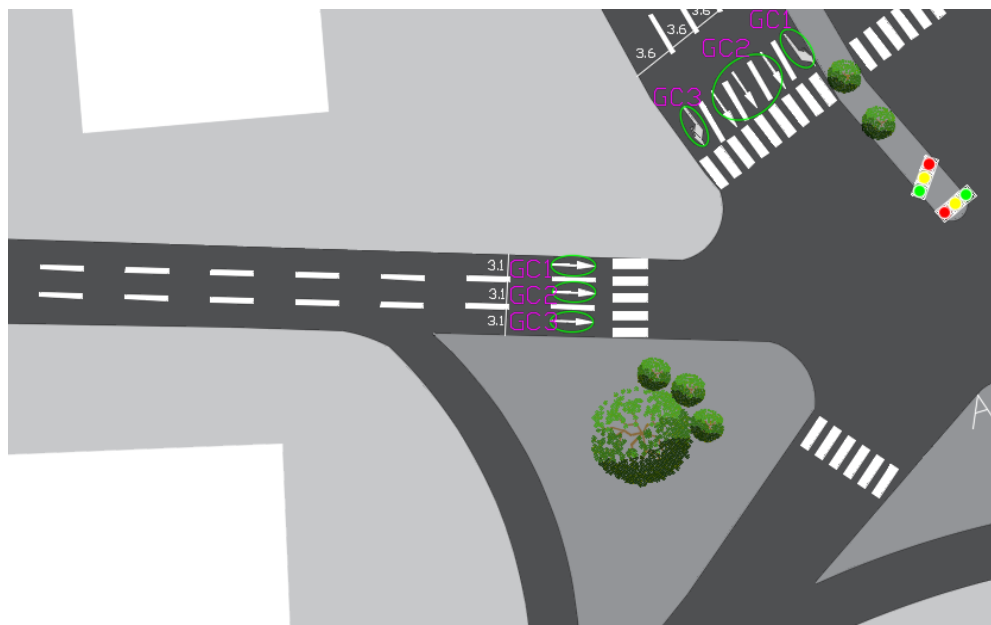


Figura 29. Descripción física del Acceso 5.



## 5.2. Toma de Información

Para la implementación de mejoras en el nivel de servicio de una intersección, es esencial realizar un análisis y evaluación de ella. Para desarrollarlo es necesario recolectar información, la cual en el análisis de intersecciones es principalmente con relación a su geometría y los conflictos que ésta presenta. Para ello, se ha recogido información sobre datos vehiculares.

Debido a la falta de información de aforos distribuidos en la intersección de estudio, se han obtenido los datos mediante un conteo manual en la hora de la mañana situada entre las 07,00h y las 08,00h y la punta de la tarde situada entre las 17,00h a las 18,00h. se ha anotado el número de vehículos, diferenciando entre vehículos pesados y ligeros, así como la dirección que tomaban en cada acceso.

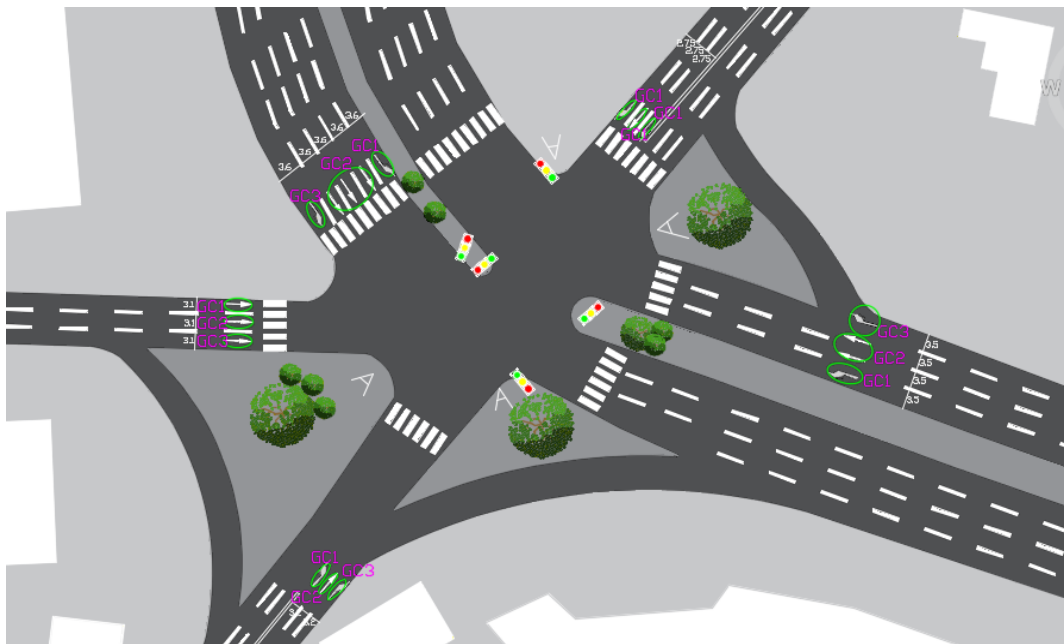


Figura 30. Ubicación de los aforos



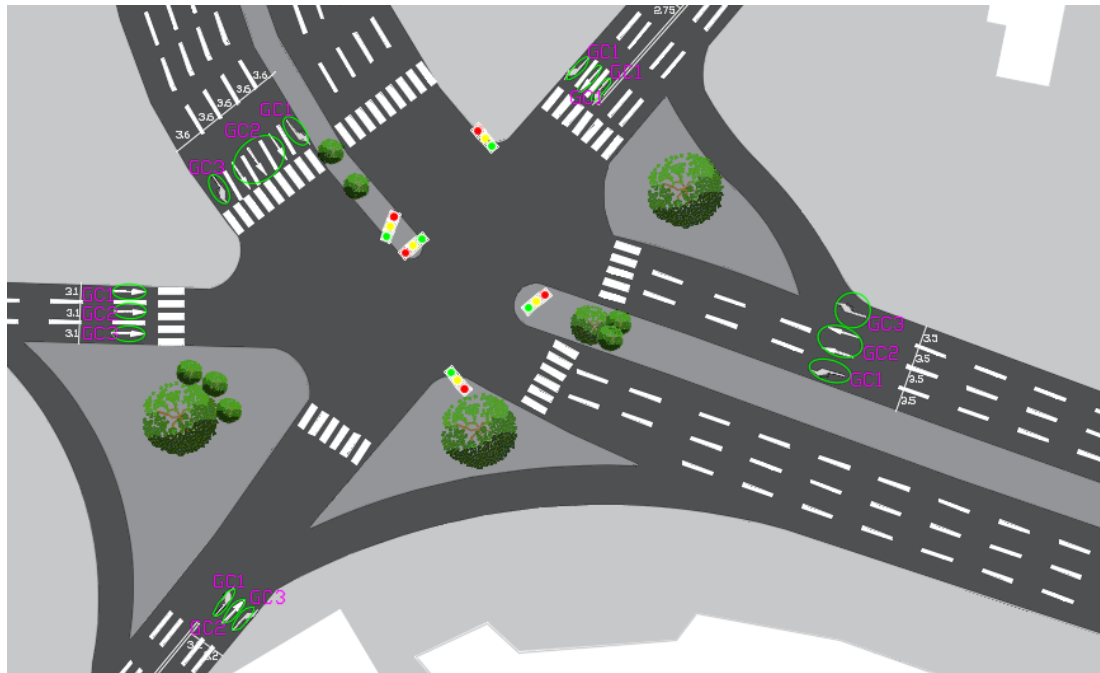


Figura 31. Intersección completa

#### 5.2.1. Volúmenes vehiculares

Los datos de volúmenes vehiculares se adquieren para poder realizar un análisis de la capacidad y nivel de servicio en la intersección de estudio. Con estos aforos se obtiene una clasificación vehicular, los movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas, la dirección de recorridos y el uso de los carriles.

Los aforos se realizaron en días hábiles, concretamente lunes, miércoles y jueves. El resto de los días se descartan porque el comportamiento en estos días es variable respecto a los mencionados anteriormente.

En cuanto al volumen vehicular de cada acceso en particular, se identifican múltiples giros que son los que presentan mayor demanda de tráfico.

- En el acceso 1, la mayor demanda de tráfico proviene de la Avenida Prolongación 27 de Febrero con unos 985 veh/hora, los cuales atraviesan la intersección.



- En el acceso 2, se tienen los vehículos que continúan recto hacia el acceso 2, con un volumen de 1002 vehículos/hora, pero, además, hay un buen volumen de vehículos que giran a la izquierda hacia la avenida Isabel Aguiar.
- En el acceso 3, el movimiento de los vehículos que siguen recto conlleva mayor tráfico, unos 214 veh/hora, correspondiéndose con los vehículos que vienen de la Isabel Aguiar en dirección Sur-Norte a la zona comercial de la Isabel Aguiar y la industrial de Herrera.
- En el acceso 4, los vehículos que siguen recto conllevan mayor tráfico, unos 201 veh/hora, correspondiéndose con los vehículos que provienen de la Avenida Isabel Aguiar dirección sur.
- En el acceso 5, los vehículos que provienen de la Calle 1<sup>era</sup>, el movimiento que sigue recto conlleva mayor tráfico, unos 148 veh/hora, pero además los vehículos que giran a la izquierda conllevan un gran volumen de tráfico, unos 145 veh/horas.

#### 5.2.2. Composición vehicular

La composición vehicular de la intersección se caracteriza por tener un bajo volumen de vehículos pesados, ya que, al tratarse de una intersección situada en zona urbana, el acceso a vehículos pesados está bastante limitado, por eso el porcentaje de vehículos pesados que ronda en torno al 4-5%, en función de la hora, tratándose básicamente de vehículos destinados al transporte público.

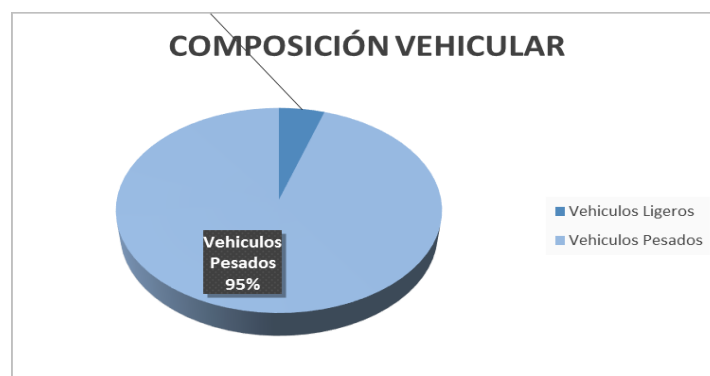


Figura 32. Gráfico de composición Vehicular



### 5.3. Problemática de la Intersección

Como se ha dicho anteriormente, este trabajo tiene como objetivo analizar la capacidad y funcionalidad de la intersección semaforizada definida previamente, para así poder mejorar el conflicto que se observa en ella.

La problemática de esta intersección se desarrolla en horas muy específicas que se denominan horas punta, comprendidas entre las 7:00h a 8:00h de la mañana y las 17:00h a 18:00 h de la tarde. Estos intervalos coinciden con el inicio y fin de la jornada laboral, que va de 7:00 h de la mañana hasta 17:00 horas de la tarde. Sin tener conocimiento del nivel de servicio de las distintas intersecciones del estudio, se percibe que en los accesos 1 y 2 es donde se presenta un gran atasco, afectando a la capacidad de la intersección.

Antes de analizar la intersección calculando su capacidad y su nivel de servicio hay que destacar una serie de problemas presentes en la intersección que provocan que el caos sea mucho mayor que lo que resulte del cálculo del nivel de servicio, entre estos problemas hay que resaltar:

- El desorden en la circulación de los vehículos convierte en un caos el entorno de las avenidas prolongación 27 de febrero e Isabel Aguiar, en la zona conocida popularmente como Pintura, en el municipio Santo Domingo Oeste.
- La falta de educación vial de los conductores que transitan por el lugar provoca taponamientos que irritan a quienes están obligados hacer la travesía.
- Es costumbre observar a transportistas de pasajeros atravesados en carriles que deben ser utilizados para quienes giran a la derecha o izquierda, así como detenerse bajo semáforos a montar o dejar pasajeros.
- De igual modo se paran en los carriles centrales de la prolongación 27 de febrero e Isabel Aguiar para subir o dejar pasajeros, sin importar el peligro al que exponen a los usuarios.



La falta de educación constituye uno de los componentes causantes del gran desorden existente en el tránsito en Santo Domingo, es un fenómeno que nos tipifica con los peores modales en la escena vial.

Las imprudencias cometidas por choferes de carros y guaguas del transporte público son una constante en avenidas principales del Distrito Nacional y la provincia Santo Domingo, que a diario contribuyen a que el tránsito se torne cada vez más caótico, especialmente en las horas pico.

El empeñamiento de ganarse el pan de cada día ha obligado a muchos conductores a irrespetar la luz roja del semáforo, estacionarse en paralelo, manejar de forma temeraria, arrancar antes de que el pasajero cierre la puerta del vehículo al bajar además de sin número de actuaciones que incrementan el caos en la intersección.

Esto se ve a diario, a cada momento, la obstrucción del tránsito para recoger más pasajeros. Es un desorden que ha venido desde años.

El tránsito y la movilidad urbana en el área de Santo Domingo se han convertido en un auténtico problema para los ciudadanos, quienes día a día necesitan desplazarse para acudir a su trabajo, llevar a los hijos al colegio o realizar gestiones de toda índole (médicos, bancos, administración...), pero que se les dificulta, debido a la alta congestión de vehículos en las calles de la ciudad y el comportamiento imprudente de los conductores.

Las cifras de accidentes automovilísticos en la República Dominicana son alarmantes. Según el último “Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial” (2016) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la República Dominicana es el país con la tasa de muertes por accidente de tránsito más alta de América y una de las 15 más elevadas del mundo, con 29,3 muertos por cada 100.000 habitantes. Los fallecimientos en carretera se mantienen como una de las primeras causas de muerte en todos los grupos de edad hasta los 45 años en la República Dominicana.



Con un parque vehicular de 3.612.964 para 2015, siendo el 53,9% motocicletas, los accidentes viales en el país se atribuyen a falta de conciencia, a la imprudencia de muchos conductores, a la ausencia de educación vial, y la permisividad de las autoridades.

En intersección de estudio convergen los vehículos de las localidades de la región Sur del país, a través de la autopista 6 de noviembre, los que acuden a la Zona Industrial de Herrera, otros que continúan hacia la autopista Duarte y quienes se desplazan hacia la carretera Sánchez con destino a Haina.

Sin conocer aún el nivel de servicio de los distintos accesos de estudio, se aprecia que en los accesos que provienen de la avenida prolongación 27 de febrero, se produce un atasco que bloquea ciertos carriles, disminuyendo la capacidad de la intersección.

El problema de la intersección se definirá tomando como esquema la figura 18 al poder entrarse por 5 acceso a la intersección, provoca que no funcione bien.

La cantidad de vehículos que llegan a la intersección es tan alta que provoca que se provoquen grandes atascos en la intersección en completo.

En los siguientes capítulos se hará un análisis de la intersección completa e intentaremos resolver el problema con diferentes alternativas, eligiendo la más conveniente para disminuir esa congestión y liberar de flujo vehicular la intersección.

El volumen tan alto de vehículos que acceden a la intersección sumados al incivismo ya explicado provoca que la intersección exista un gran caos que se presenta en la figura siguiente:



*Figura 33. Problema presente en la intersección.*



*Figura 34. Problema existente en la intersección. Vista del acceso 2.*



*Figura 35. Vehículos transitando en la intersección.*



## 6. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA CON EL HCM 2010

En este apartado se muestra el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio actual de la intersección semaforizada, utilizando la metodología definida previamente, para mejorar la capacidad de la zona de estudio.

### 6.1 Parámetros de entrada

Para realizar el análisis de los datos se necesitan unos parámetros de entrada, los cuales se definen en la tabla 4 para poder así seguir todos los pasos de la metodología descrita.

<b>Condiciones geométricas</b>	<b>Número de carriles (N)</b>
	Ancho de carril (W)
<b>Condiciones de tráfico</b>	<b>Volumen (veh/h)</b>
	FHP
	Paradas de autobuses (buses/h)
	Número de aparcamientos (Maniobras/h)
<b>Condiciones de Señalización</b>	<b>Volumen de peatones (Vped/h)</b>
	Volumen de ciclistas (Vbic/h)
	Tiempo de ciclo (s)
	Tiempo efectivo de verde(s)
	Tiempo mínimo de peatones (s)

Tabla 5. Parámetros de entrada para el análisis.

Estos parámetros de entrada se obtienen en la hora punta definida en capítulos anteriores, mediante la medición de aforo de 07:00 a 08:00 y de 17:00 a 18:00 en el área de estudio; ya que son las horas que presentan mayores flujos vehiculares.

Más adelante se especifican los parámetros requeridos para el análisis operacional.





### Condiciones geométricas:

- **Acceso 1:** Avenida Prolongación 27 de Febrero (Dirección Este): 4 carriles con 3,50 metros de ancho.
- **Acceso 2:** Avenida Prolongación 27 de Febrero (Dirección Oeste): 5 carriles con 3,65 metros de ancho.
- **Acceso 3:** Avenida Isabel Aguiar (Dirección Norte): 3 carriles con 2,75 metros de ancho.
- **Acceso 4:** Avenida Isabel Aguiar (Dirección Sur): 3 carriles con 2,80 metros de ancho.
- **Acceso 5:** Calle Primera: 3 carriles con 3,10 metros de ancho.

### Condiciones de tráfico:

Para los volúmenes de tráfico se ha decidido utilizar la media de los volúmenes de cada hora punta.

	Acceso 1	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	245	10
GC2	985	42
GC3	106	4

Tabla 6. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 1.

	Acceso 2	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	286	10
GC2	1002	38
GC3	101	4

Tabla 7. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 2.



	Acceso 3	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	208	7
GC2	214	7
GC3	146	4

Tabla 8. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 3.

	Acceso 4	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	187	6
GC2	201	7
GC3	112	4

Tabla 9. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 4.

	Acceso 5	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	145	4
GC2	148	6
GC3	87	3

Tabla 10. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 5.

### Condiciones de señalización:

Volumen de peatones y volumen de ciclistas:

- En la intersección objeto de estudio no presenta paso peatonal, ni mucho menos semáforo para peatones. En la república dominicana no son muy comunes los ciclistas en las zonas urbanas y es casi nulo la presencia de carril bici.
- Tiempo de ciclo, tiempo efectivo de verde y tiempo mínimo de peatones:

En el Anexo...también se facilitan los tiempos correspondientes de cada fase semafórica de cada tramo seleccionado.



Una vez conocidos estos parámetros, se procederá a desarrollar la metodología definida con anterioridad.

## 6.2 Aplicación metodología HCM 2010

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

Para definir los grupos de carriles y grupos de movimientos usaremos las bases establecidas en capítulos anteriores. Para cada acceso en específico, se obtienen una serie de grupos de carriles y grupos de movimientos, estos se han establecido según las maniobras que realizan los conductores sobre los diferentes carriles, respetando las marcas viales existentes.

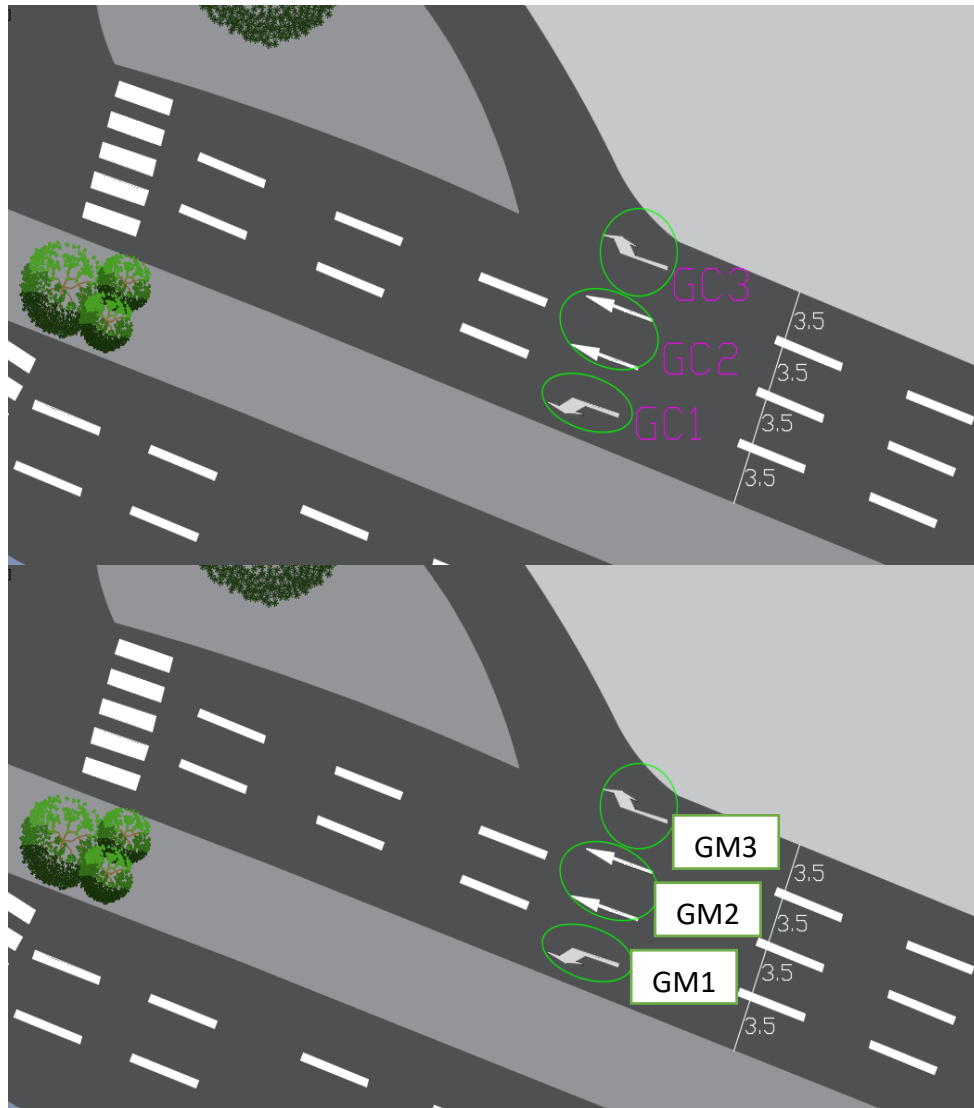


Figura 36. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 1.

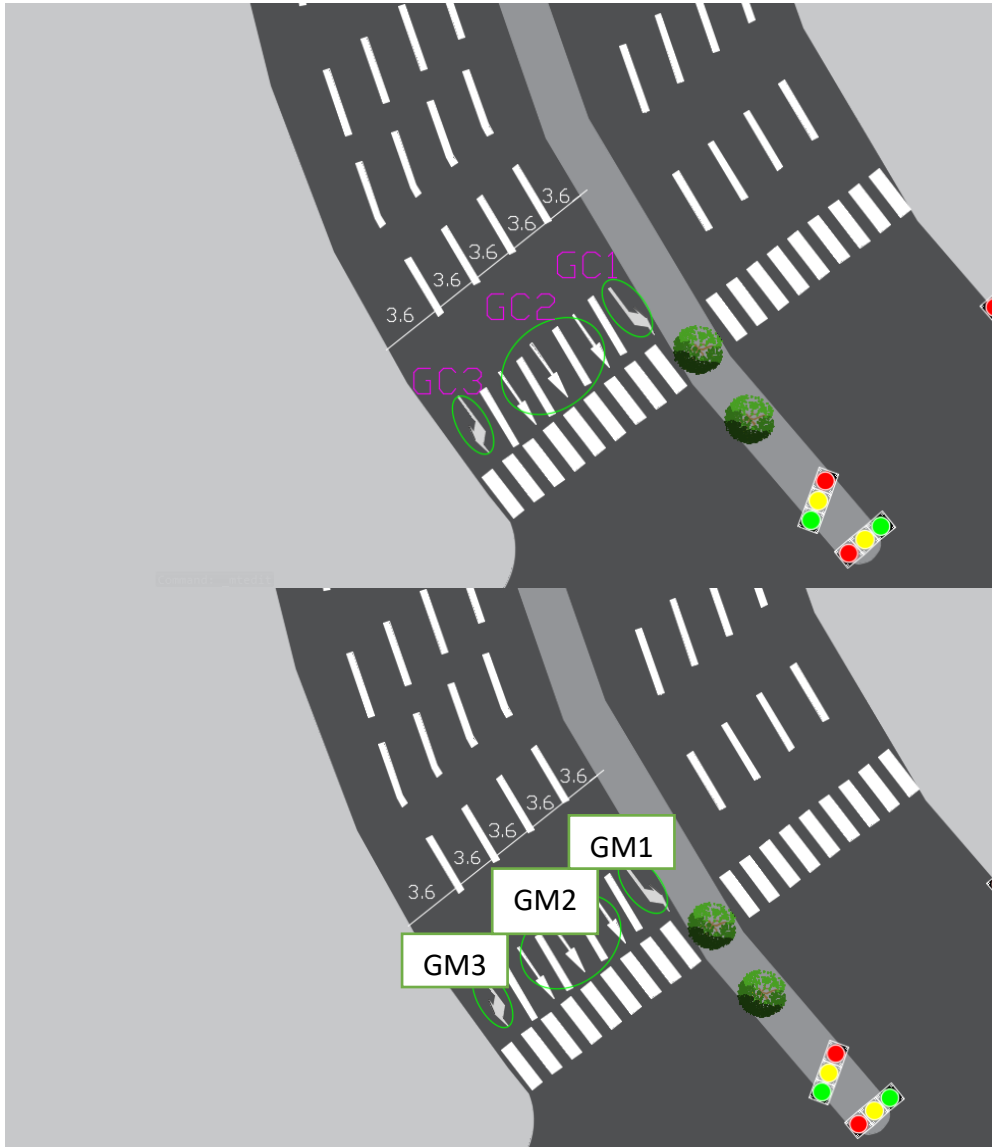


Figura 37. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 2.

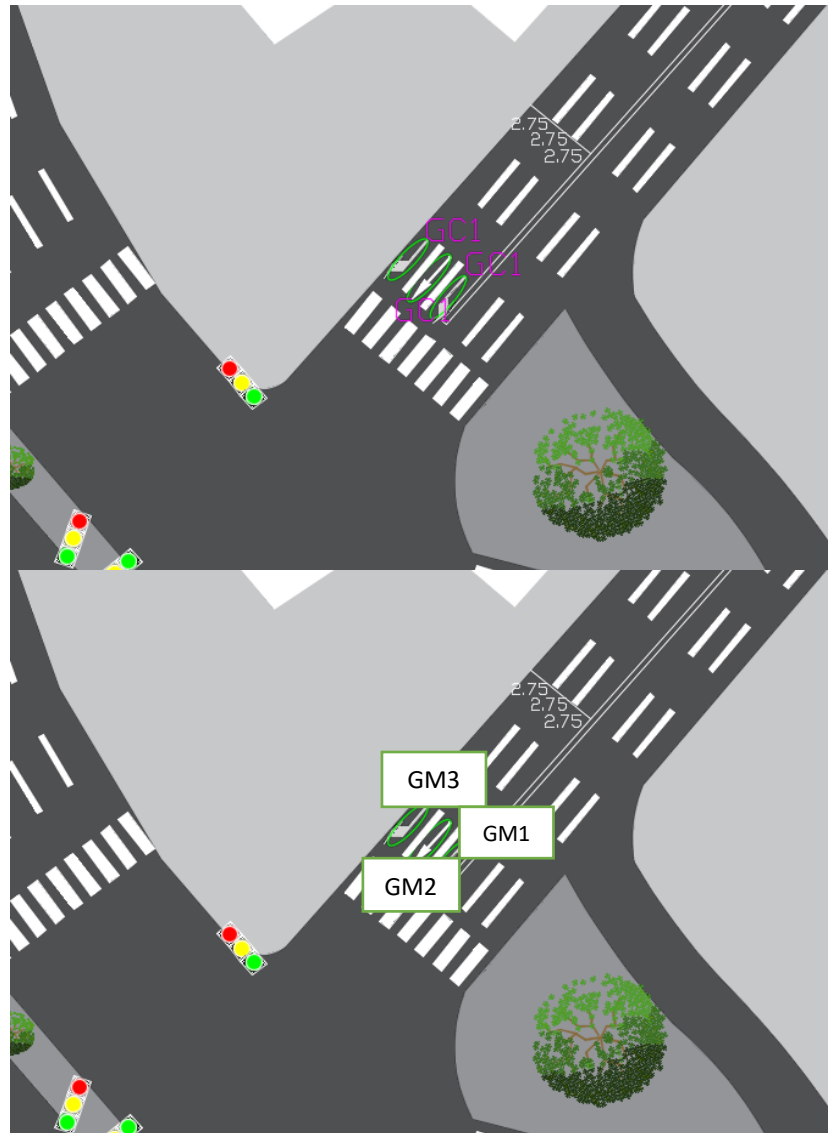


Figura 38. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 3.

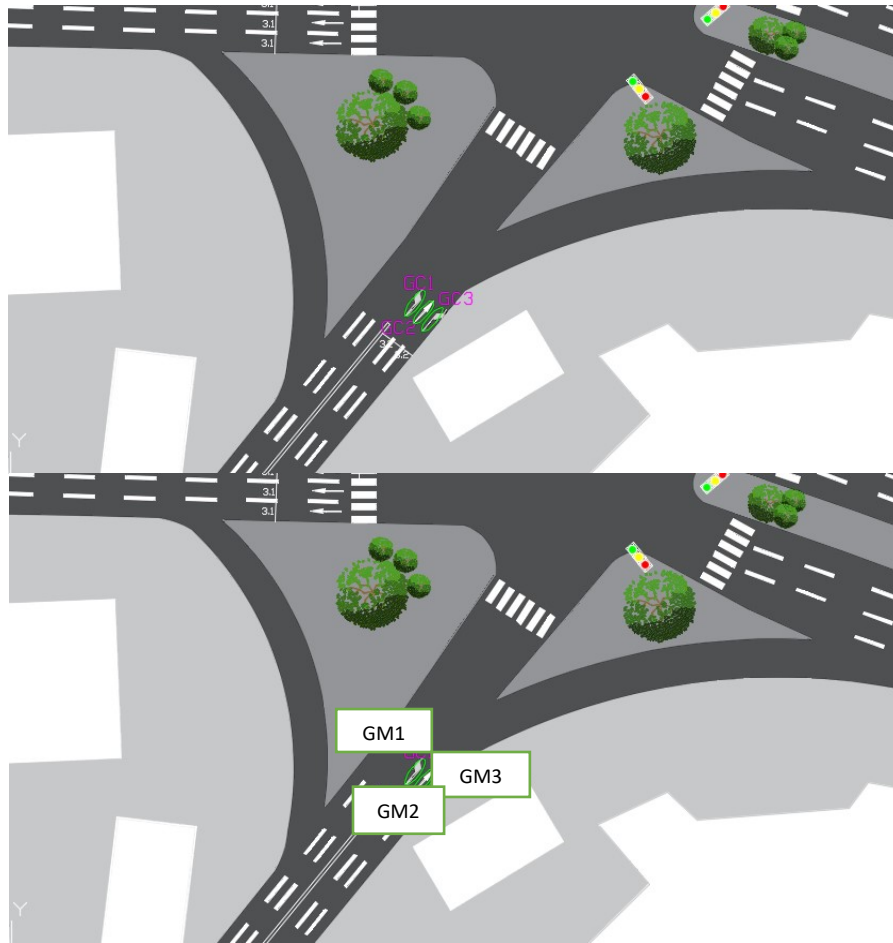


Figura 39. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 4.

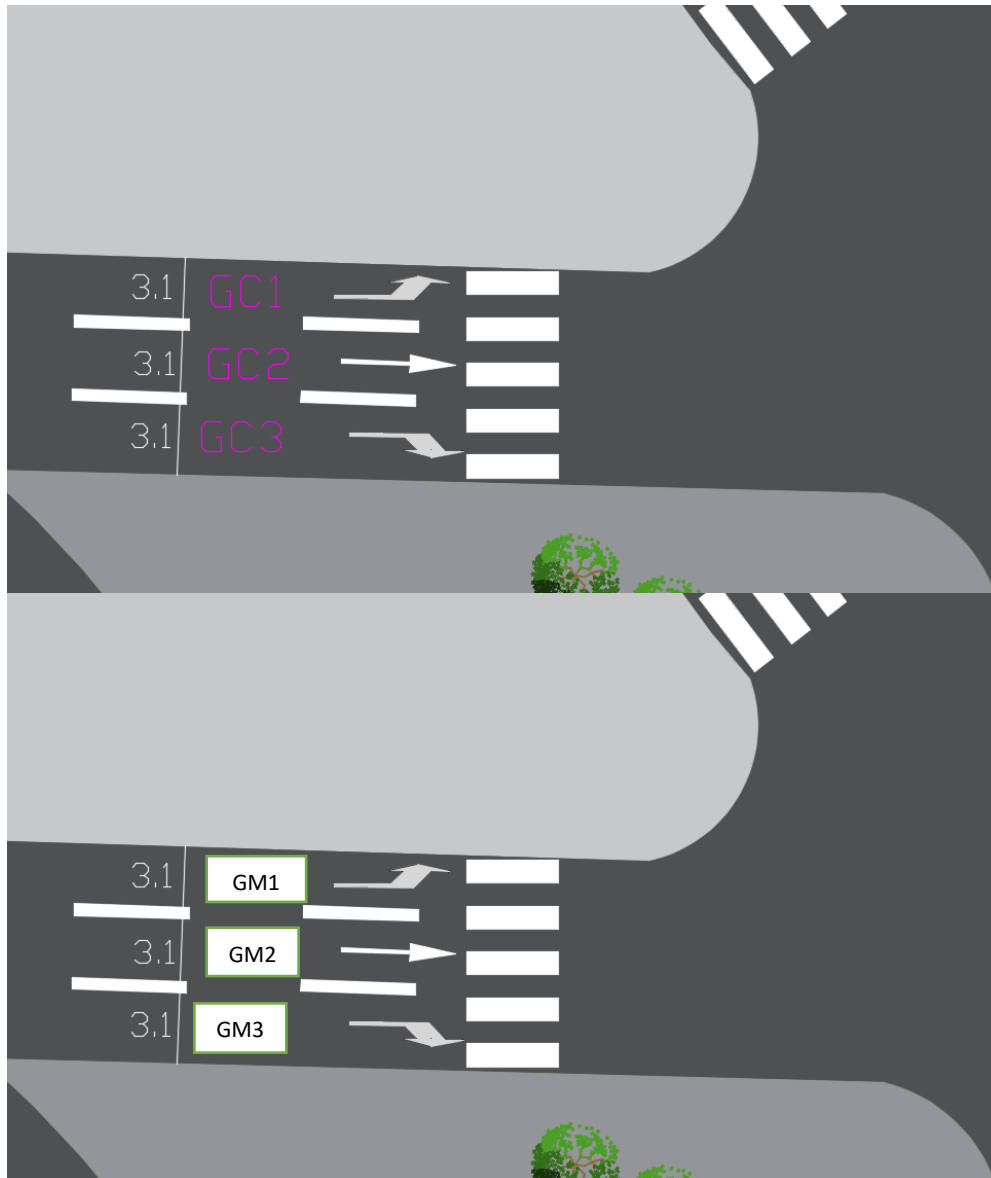


Figura 40. Grupo de carriles y grupo de movimientos del acceso 5.

## 2- Determinar la intensidad por grupo de carriles

Los grupos de carriles definidos anteriormente sirven para la descripción de los carriles, sin embargo, los grupos de movimientos sirven para especificar.

A continuación, se establece para cada grupo de carril su intensidad de vehículos por hora. Como se ha comentado en apartados anteriores, se ha partido de los datos obtenidos en las horas punta en las que la intersección se ve más congestionada.





Determinamos las intensidades de cada grupo de carriles para cada Acceso:

**Acceso 1:**

- Grupo de Carril 1: 245 Veh/hr
- Grupo de Carril 2: 985 Veh/hr
- Grupo de Carril 3: 106 Veh/hr

**Acceso 2:**

- Grupo de Carril 1: 286 Veh/hr
- Grupo de Carril 2: 1002 Veh/hr
- Grupo de Carril 3: 101 Veh/hr

**Acceso 3:**

- Grupo de Carril 1: 208 Veh/hr
- Grupo de Carril 2: 214 Veh/hr
- Grupo de Carril 3: 146 Veh/hr

**Acceso 4:**

- Grupo de Carril 1: 187 Veh/hr
- Grupo de Carril 2: 201 Veh/hr
- Grupo de Carril 3: 112 Veh/hr

**Acceso 5:**

- Grupo de Carril 1: 145 Veh/hr
- Grupo de Carril 2: 148 Veh/hr
- Grupo de Carril 3: 87 Veh/hr



### 3- Determinar el ajuste de la intensidad de saturación

Como se describió anteriormente (capítulo 4.7) para efectuar el cálculo de la intensidad de saturación se utilizará la expresión que se muestra a continuación. Esta intensidad se ve afectada por varios factores que se ajustan a la intensidad de saturación base,  $s_0$ , a la cual se le atribuye el valor de 1900 veh/h/carril.

$$s = s_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Así pues, se tendrá para cada grupo de carril de cada acceso individualizado una intensidad de saturación específica.

Se utilizará el mismo procedimiento para todas las intersecciones, el cual se muestra con más detalle en el Anexo .... En donde se presentan los cálculos de todos los factores para cada grupo de carril utilizando las fórmulas definidas con anterioridad.

#### Acceso 1:

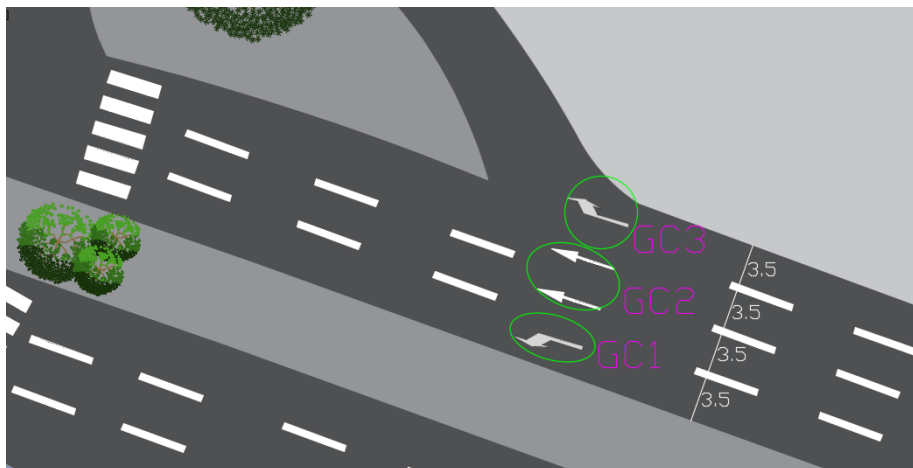


Figura 41. Grupo de Carriles del Acceso 1.

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1568,95128	2384,157424	1406,94422

Tabla 11. Intensidad de grupos de carril del acceso 1.



**Acceso 2**

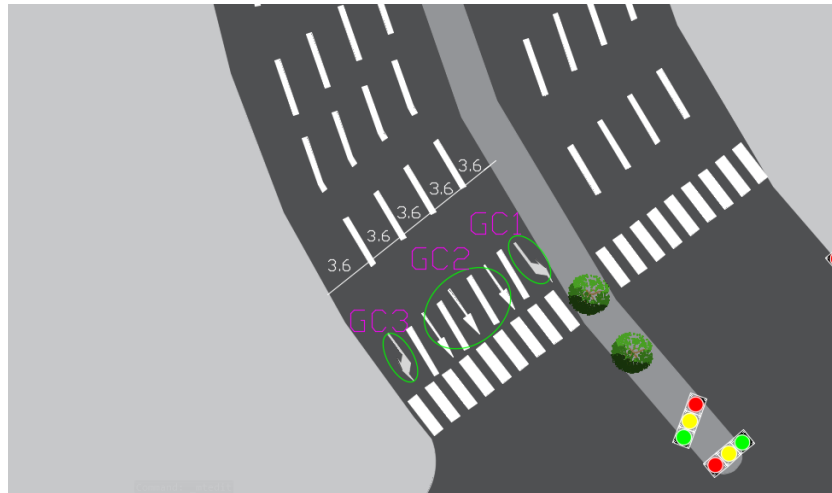


Figura 42. Grupo de Carriles del Acceso 2.

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1571,980143	1675,831108	1390,7414

Tabla 12. Intensidad de grupos de carril del acceso 2.

**Acceso 3**



Figura 43. Grupo de Carriles del Acceso 3.



	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1514,950166	1590,697674	1351,97905

Tabla 13. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.

#### Acceso 4



Figura 44. Grupo de Carriles del Acceso 4.

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1512,019895	1587,62089	1583,02797

Tabla 14. Intensidad de grupos de carril del acceso 4.



### Acceso 5

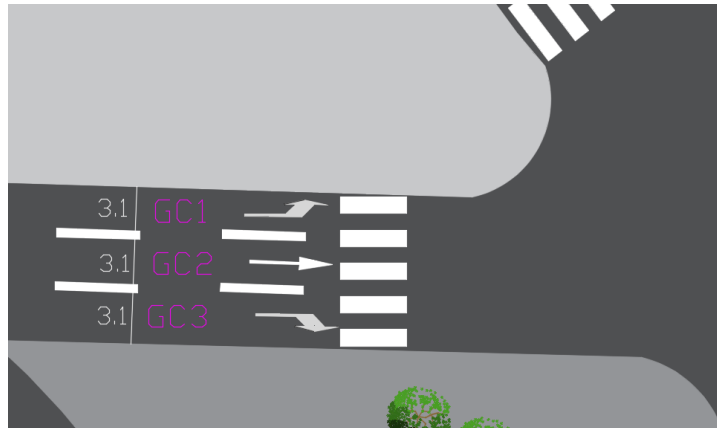


Figura 45. Grupo de Carriles del Acceso 4.

	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC2
Intensidad de Saturación (Veh/h)	1582,673886	1645,813282	1402,85822

Tabla 15. Intensidad de grupos de carril del acceso 5.

#### 4- Determinación la duración de fase de semáforo

Para determinar la duración de fase de semáforo es necesario saber qué tipo de control se utiliza en la intersección, ya que como se comentó anteriormente, si la intersección tiene un control prefijado entonces la duración de fase es una entrada y este paso se omite, y si la duración de fase es desconocida, entonces se ha de considerar la duración de fase prefijada según un procedimiento de cálculo.

En nuestro estudio, al tratarse de una intersección con un control prefijado, se omitirá este paso en el procedimiento.



**5- Determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad.**

Tomando en consideración lo que se ha aclarado anteriormente, la capacidad de las intersecciones está basada en el concepto de intensidad de saturación, proporción de verde efectivo del grupo de carriles y número de carriles.

Por tal motivo, para hallar la capacidad de cada grupo de carriles se utilizará la siguiente expresión.

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

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

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

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	2	1
<b>s</b>	1568,95128	2384,157424	1406,944216
<b>g</b>	24	24	24
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,2	0,2	0,2
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	313,790256	953,6629694	281,3888432

Tabla 16. Capacidad de grupos de carril del Acceso 1.



	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	3	1
<b>s</b>	1571,980143	1675,831108	1390,741403
<b>g</b>	23	23	23
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,191666667	0,191666667	0,191666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	301,2961942	963,6028872	266,558769

Tabla 17. Capacidad de grupos de carril del Acceso 2.

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	1	1
<b>s</b>	1514,950166	1590,697674	1351,979048
<b>g</b>	18	18	18
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,15	0,15	0,15
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	227,2425249	238,6046512	202,7968572

Tabla 18. Capacidad de grupos de carril del Acceso 3.

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	1	1
<b>s</b>	1512,019895	1587,62089	1583,027965
<b>g</b>	17	17	17
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,141666667	0,141666667	0,141666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	214,2028185	224,9129594	224,2622951

Tabla 19. Capacidad de grupos de carril del Acceso 4.



	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	1	1
<b>s</b>	1582,673886	1645,813282	1402,858221
<b>g</b>	13	13	13
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,108333333	0,108333333	0,108333333
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	171,4563376	178,2964389	151,9763073

Tabla 20. Capacidad de grupos de carril del Acceso 5.

Una vez calculada la capacidad, se obtiene la proporción volumen-capacidad (v/c) para cada grupo de carriles.

Es decir:  $X = v/c$

Donde:

X= proporción volumen-capacidad

V= flujo de demanda (veh/h)

c= capacidad (veh/h)

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	313,790256	953,6629694	281,3888432
Vi (Veh/h)	245	985	106
X	0,780776316	1,032859649	0,376702924

Tabla 21. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 1.





	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	301,2961942	963,6028872	266,558769
Vi (Veh/h)	286	1002	101
X	0,949232037	1,039847445	0,37890331

Tabla 22. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 2.

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
Capacidad	227,2425249	238,6046512	202,7968572
Vi (Veh/h)	208	214	146
X	0,915321637	0,896881092	0,719932261

Tabla 23. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 3.

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
Capacidad	214,2028185	224,9129594	224,2622951
Vi (Veh/h)	187	201	112
X	0,873004386	0,893679051	0,499415205

Tabla 24. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 4.

	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC2
Capacidad	171,4563376	178,2964389	151,9763073
Vi (Veh/h)	145	148	87
X	0,845696356	0,830078273	0,572457652

Tabla 25. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 5.



## 6- Determinar la demora

Luego de calculadas la capacidad y la proporción volumen-capacidad se procede a determinar la demora. Como se ha dicho en apartados anteriores, para el cálculo de la demora se ha de tener en consideración tres conceptos: la demora uniforme ( $d_1$ ), la demora incremental ( $d_2$ ) y la demora por cola inicial ( $d_3$ ). Además, hay que aplicarle un factor de ajuste de la progresión a la demanda uniforme ( $PF$ ).

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

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

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

Luego, la demanda incremental ( $d_2$ ) se halla a través de las llegadas no uniformes y a los fallos temporales de ciclo, así como las llegadas causadas por períodos de sobresaturación. Por tanto, en base a la duración del ciclo en horas, la relación volumen-capacidad y la capacidad de los grupos de carriles calculamos la demora incremental.

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

Luego de calculadas la demora uniforme ( $d_1$ ) y la demora incremental ( $d_2$ ) se procede a determinar la demora por cola inicial ( $d_3$ ), que representa la demora experimental de todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Por tanto, esta



demora debe agregarse en caso de existencia de cola inicial. En el caso que nos ocupa no existe cola inicial por lo que este valor será igual a 0.

Una vez se calculan 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.

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
PF (seg)	0,91750	0,91750	0,91750
d1 (seg)	45,50600	48,00000	41,52880
d2 (seg)	17,37129	37,92093	0,91750
Demora (s/veh)	59,12305	81,96093	39,02018

Tabla 26. Demora de los grupos de carril del Acceso 1.

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,92175	0,92175	0,92175
d1 (s)	47,92311	48,50000	42,27426
d2 (s)	40,36891	39,86024	4,06055
Demora (s/veh)	84,54217	84,56524	43,02695

Tabla 27. Demora de los grupos de carril del Acceso 2.

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,94176	0,94176	0,94176
d1 (s)	50,25	50,09	48,60
d2 (s)	41,16068	36,65638	19,72794
Demora (s/veh)	88,48352	83,82798	65,49592

Tabla 28. Demora de los grupos de carril del Acceso 3.



	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,94553	0,94553	0,94553
d1 (s)	50,44	50,44	47,57
d2 (s)	35,59536	35,59536	7,74151
Demora (s/veh)	83,29064	83,29064	52,72033

Tabla 29. Demora de los grupos de carril del Acceso 4.

	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,95991	0,95991	0,95991
d1 (s)	52,52	52,42	50,86
d2 (s)	37,39707	34,10541	14,73061
Demora (s/veh)	87,80703	84,42165	63,54973

Tabla 30. Demora de los grupos de carril del Acceso 5.

#### 7- Determinar el Nivel de Servicio

Para finalizar, se obtendrá el nivel de servicio para cada grupo de carriles de cada acceso en función de la demora determinada en el punto anterior. Para ello, se utilizará la tabla de niveles de servicios para intersecciones semaforizadas mostrada a continuación.

NIVEL DE SERVICIO	DE	DEMORA EN SEGUNDOS
A		<10
B		>10-20
C		>20-35
D		>35-50
E		>50-80
F		>80

Tabla 31. Demora del tráfico según nivel de servicio



	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	59,12305	81,96093	39,02018
Nivel de Servicio	E	F	D

Tabla 32. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 1.

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	84,54217	84,56524	43,02695
Nivel de Servicio	F	F	D

Tabla 33. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 2.

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	88,48352	83,82798	65,49592
Nivel de Servicio	F	F	E

Tabla 34. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 3.

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	83,29064	83,29064	52,72033
Nivel de Servicio	F	F	D

Tabla 35. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 4.

	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	87,80703	84,42165	63,54973
Nivel de Servicio	F	F	E

Tabla 36. Niveles de servicio para los grupos de carriles del Acceso 5.



Luego de obtenidos todos los resultados para poder hallar la demora, se puede apreciar que en la mayoría de los grupos de carriles el nivel de servicio se encuentra entre los niveles D, E y F. Esto representa unas condiciones de tráfico en las que los vehículos tienen unas demoras muy significativas es decir que este nivel de servicio aparece cuando la relación entre el volumen y la capacidad es alta, la progresión es desfavorable y la duración del ciclo es larga, además, los fallos en los ciclos individuales empiezan a ser frecuentes. En las siguientes imágenes se puede apreciar la congestión que se produce en la intersección completa.



*Figura 46. Congestión en la intersección. Vista del Acceso 2.*



*Figura 47. Congestión en la intersección. Vista desde Acceso 4.*



*Figura 48. Congestión en la intersección.*



Específicamente, uno de los factores para el ajuste de la intensidad de saturación no puede calcularse concretamente ya que el caso específico de uno de los grupos de carriles no está contemplado en la normativa del HCM 2010 para realizar su cálculo.

Por tal razón, en cada acceso los grupos de carriles que realizan los giros a izquierda no pueden calcularse con precisión.

En el manual de capacidad HCM 2010 no se define el cálculo concreto del factor para este tipo de carriles.

Estos carriles, son los que al realizar el giro a izquierda se encuentran con una fase en rojo. Por tal razón, no podemos analizar este grupo de carriles con la metodología definida y se ha de recurrir a un análisis diferente que los tenga en cuenta.

Para dar solución a esta problemática se propone un análisis de almacenamiento sobre el grupo de carriles situados al interior, que realicen el giro a izquierdas, y los que se vean afectados en caso de congestión producida por esos vehículos.

Para el estudio del almacenamiento en cada intersección se necesitan unos datos de entrada. Para ellos utilizaremos un vehículo estándar, con una longitud de 5 metros y una anchura de 2 metros. Otro dato es que se adopta una distancia de 1 metro entre vehículos y un total de 3 y 4 carriles disponibles para el almacenamiento de vehículos, este análisis se hará en los accesos 1 y 2 respectivamente que son los accesos con mayor cantidad de vehículos en giros a izquierda. Con estos datos se procede a analizar cada acceso para averiguar si la demanda existente de vehículos produce almacenamiento.

### **Acceso 1**

En este acceso el grupo de carril 1, engloba los vehículos que giran a izquierda, estos vehículos son los que proceden del este en Prolongación Avenida 27 de Febrero.





En esta intersección suceden varios factores a la vez, los cuales producen un problema de almacenamiento que deriva en que los vehículos que se dirigen a la Avenida Isabel Aguiar dirección Sur se queden bloqueados.

Los grupos de carriles GC1, GC2 y GC3, presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 24 segundos. Durante el tiempo efectivo de verde, el total de vehículos que se acumulan es de 19 vehículos.

Una vez obtenidos los datos se procede a estudiar el acceso. En la siguiente imagen se aprecia el número de vehículos que producen el almacenamiento y, por tanto, la congestión de la intersección. Si el número de vehículos que realizan el movimiento a la izquierda, es decir, que no continúan por la Prolongación Avenida 27 de febrero, es mayor a 15 vehículos, el acceso se vería saturada y, por tanto, llegaría a la congestión.

En el caso estudiado, el número de vehículos es superior al valor mencionado, por lo que se produciría atasco.



*Figura 49.- Congestión por almacenamiento de vehículos en el Acceso 1*

A continuación, se detalla el problema que se presenta en los giros a izquierda.



## Acceso 2

En este acceso el grupo de carril 1, engloba los vehículos que giran a izquierda, estos vehículos son los que proceden del este en Prolongación Avenida 27 de Febrero desde el Oeste

En esta intersección suceden varios factores a la vez, los cuales producen un problema de almacenamiento que deriva en que los vehículos que se dirigen a la Avenida Isabel Aguiar dirección Norte se queden bloqueados.

Los grupos de carriles GC1, GC2 y GC3, presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 45 segundos. Durante el tiempo efectivo de verde, el total de vehículos que se acumulan es de 21 vehículos.

Una vez obtenidos los datos se procede a estudiar el acceso. En la siguiente imagen se aprecia el número de vehículos que producen el almacenamiento y, por tanto, la congestión de la intersección. Si el número de vehículos que realizan el movimiento a la izquierda, es decir, que no continúan por la Prolongación Avenida 27 de febrero, es mayor a 15 vehículos, el acceso se vería saturada y, por tanto, llegaría a la congestión.

En el caso estudiado, el número de vehículos es superior al valor mencionado, por lo que se produciría atasco.



*Figura 50.- Congestión por almacenamiento de vehículos en el Acceso 1*



## 7. PRESENTACIÓN Y ELECCIÓN DE PROPUESTAS

---

### 7.1 Introducción

Cuando se habla de intersecciones semaforizadas estas cuentan con movimientos protegidos o permitidos para que la circulación para que la circulación de los vehículos sea más grata, permitiendo, a su vez una mayor fluidez en la intersección completa, es decir en todas las direcciones. Además de esto también se facilita un espacio suficiente de tiempo para que los movimientos de peatones y ciclistas se produzcan con normalidad, pero en determinadas ocasiones, las intersecciones poseen unos puntos de conflicto que suelen llegar a crear un problema o riesgo vial en el momento que se realizan.

En el presente estudio se puede observar que los giros a izquierda y giros que van recto son los que presentan mayor problema en toda la intersección, el giro a la izquierda es la causa que provoca mayor número de accidentes en las intersecciones semaforizadas y son propensas a ser accidentes graves debido a las velocidades que pueden llegar a ser relativamente altas, además del ángulo de impacto.

Para dar una solución a este gran problema, se ha realizado un estudio con diferentes alternativas las cuales puedan disminuir la demanda producida en giros a la izquierda y los giros que van rectos, y de esta manera, evitar que se produzcan atascos en la intersección.

Para este caso se presentarán varias propuestas, se analizan sus ventajas e inconvenientes, y se comprueba si son adecuadas para su implementación en la intersección.

### 7.2. Propuestas

En la intersección objeto de estudio existe un gran número de puntos de conflictos esto debido a que está formada por tres vías muy importantes que permiten giros a la izquierdo, giros a la derecha y el que sigue recto provocando que se permita acceder a



la intersección por cinco lados confluyendo en la misma una gran cantidad de giros que ocasionan varios puntos de conflictos. Estos puntos de conflicto son puntos potenciales de accidentes, y la posibilidad de producirse será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad del tráfico.

Los giros a izquierda y los que siguen rectos que provocan los puntos de conflictos con más problemas, por lo tanto, se presentaran varias propuestas para dar solución a los problemas que se producen en ellos.

Para reducir las colisiones producidas por estos giros se utilizan sistemas que separa los vehículos de diferentes trayectorias, estos pueden mediante una separación física o bien mediante una separación en el tiempo.

La intersección está regulada por semáforos, estos dan alternativamente paso a los vehículos que siguen una u otra trayectoria. Hay que destacar que una propuesta para disminuir los puntos de conflictos podría ser mediante la señalización de marcas viales de forma que, el conductor llegue a los puntos de conflicto de forma más agradable.

Además, se pueden aminorar las congestiones y el colapso en la intersección mediante la reducción de intensidad de vehículos que llegan a la intersección, desviándolos por otra trayectoria antes de llegar a la intersección. No solo los vehículos privados sino también autobuses de transporte público.

Por otro lado, si se dispone de espacio suficiente, se puede incluso suprimir los puntos de cruce, estableciendo una corriente de tráfico circular alrededor de una isleta central.

#### 7.2.1 Alternativa 1: Modificación sentido Calle Primera

En este punto se pretende valorar la modificación del sentido de la trayectoria de la Calle Primera, de sentido único. Específicamente se propone que esta calle sea solo de salida de la intersección, y no de entrada a la misma, con esta propuesta se elimina el número de vehículos de la calle primera que entran a la intersección, y con ello,



disminuiría el número de vehículos que entran a la intersección y además aumentaría el tiempo de verde de las otras dos vías. Esta calle se convertiría de sentido único saliendo de la ciudad. Los vehículos darían la vuelta por calle Sánchez y volvería el que quisiera por Isabel Aguiar.

Su ejecución resultaría sencilla de aplicar, dado que se cambiaría la señalización horizontal de los viales.



Figura 51. Alternativa 1. Modificación del sentido Calle Primera.



### 7.2.2 Alternativa 2: Paso Inferior

Otra propuesta consiste en la ejecución de un paso inferior. Específicamente se propone un túnel en la Avenida 27 de Febrero por debajo de la Plaza de la Bandera, que llegue hasta la autopista 6 de noviembre, completando así el denominado corredor 27 de Febrero.

Por medio de esta alternativa, los vehículos que siguen recto en la 27 de Febrero se irían por el paso inferior dejando espacio para los giros a izquierda y derecha. Los vehículos que siguen recto que es el giro con mayor cantidad de vehículos, tendrían una circulación más fluida evitando semáforos y, en segundo lugar, dejaría lugar a una intersección con más espacio.

El paso inferior supondría una reducción del flujo de vehículos en la intersección completa de alrededor de un 57 %. Hay que destacar que esta alternativa tiene el inconveniente de que su ejecución es muy costosa, causando un gran impacto en el tráfico de vehículos durante la construcción, afectando además a los peatones que transitan la intersección.

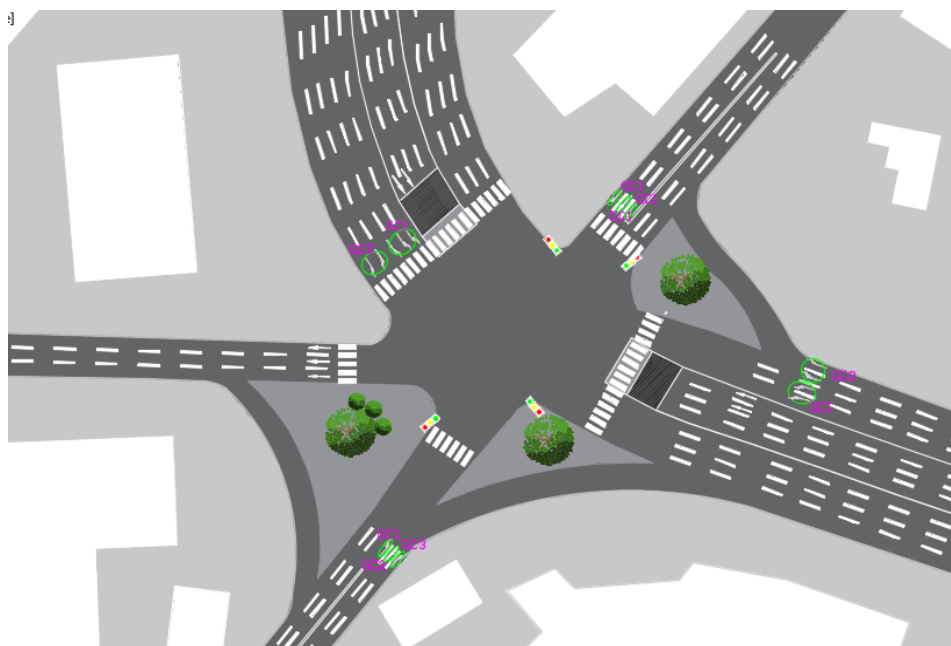


Figura 52. Alternativa 2. Paso Inferior en Avenida 27 de febrero.



### 7.2.3 Alternativa 3: Puente Elevado

Esta alternativa se basa en la ejecución de un puente elevado. Concretamente se propone un puente elevado en la Avenida Isabel Aguiar.

A través de esta alternativa, los vehículos que van directo en la Avenida Isabel Aguiar se irían por el puente elevado. Quedando los dos carriles disponibles para giros a derecha e izquierda.

Por medio de esta propuesta los vehículos que siguen rectos evitarían el acceso a la intersección y, por tanto, se reducen el atasco en la intersección.

### 7.2.4 Alternativa 4: Glorieta

La intersección giratoria, glorieta en República Dominicana conocida como rotonda es una construcción vial diseñada para facilitar los cruces de caminos y reducir el peligro de accidentes. En las intersecciones giratorias, las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen, por tal razón el número de puntos de conflicto es menor que en otros tipos de nudo. Una desventaja de este tipo de construcción es que aumenta la longitud recorrida de los vehículos dentro de la intersección y se presentan tramos que pueden originar problemas de capacidad.

Es positivo emplear glorietas cuando:

- La importancia de los tramos que acceden a la intersección es semejante, específicamente en zonas urbanas.
- La intersección tiene cuatro tramos y todos los giros a la izquierda presentan intensidades muy altas. Esto supone una disminución de la velocidad de los vehículos que acceden a la misma.

Hay que destacar que la capacidad podría llegar a ser superior a la de una intersección canalizada, al tener intensidades de tráfico descompensadas en los ramales de acceso,



esto ocasiona demoras importantes, con lo que el funcionamiento dejaría de ser eficaz.

### 7.3 Análisis y Selección de la Propuesta

En el apartado anterior se presentaron diversas propuestas para reducir el atasco de los vehículos en la intersección y por lo tanto mejorando el nivel de servicio y evitando problemas en la intersección. Cada una de estas alternativas que se presentaron son viables en lo que se refiere a la implementación de estas, pero a pesar de esto a continuación se seleccionara la solución más adecuada para la intersección de estudio.

Para iniciar, se prescinde de la instalación de una glorieta sobre el estado actual, esto porque:

- La demanda no es equilibrada: Como se trata de una zona urbana, en la que existen grandes variaciones de intensidad de tráfico según la hora del día, la glorieta no marcharía eficazmente.
- La importancia de los tramos que interfieren en la intersección es diferente: Los tramos de la Avenida 27 de Febrero son el itinerario principal, albergando más carga de vehículos, mientras que el resto de los tramos que llegan a la intersección como la Avenida Isabel Aguiar y Calle primera: son vías de carácter secundario respecto al itinerario principal. Por lo que, en caso de construir una glorieta, los tramos principales perderían prioridad, lo que supondría demoras a todos los usuarios.

Se propone la unión de la alternativa 1 y alternativa 2, esta ayuda a resolver el conflicto en la intersección. Es una propuesta recomendable ya que supondría una disminución de un 56% de los vehículos que circularían por la intersección, aunque conlleva gastos un tanto elevados para realizar su ejecución. Esta propuesta supondría la eliminación total del problema de almacenamiento. En la figura 53 se muestra como sería esta propuesta.





Se plantea que en la avenida 27 de febrero se mantenga la misma cantidad de carriles, pero si disminuyendo el ancho de estos carriles.

La capacidad en el paso inferior para 2 carriles nos da igual que la intensidad de saturación al duplicarse la capacidad.

Se propone además analizar la unión de la alternativa 1 y la alternativa 3, esta propuesta supone una reducción de un 19% de los vehículos que acceden a la intersección.

Además de estas 4 alternativas se plantea la aplicación de una marca vial horizontal, concretamente la señalización M-7.10 denominada comúnmente como “Cuadrícula” de color amarillo, según lo establecido en la Norma 8.2-IC- “Marcas Viales”. Se plantea también remodelar la marca vial M-4.3 (paso para peatones) existente en la intersección, ya que se encuentran muy destruidas y casi no se aprecia la pintura.

La cuadrícula funciona como recordatorio a los conductores de la prohibición de penetrar en una intersección aun cuando el semáforo lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Otro punto importante es que debe realizarse un aforo peatonal y con este incorporal al diseño un semáforo para peatones.



## 8. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE LAS PROPUESTAS

Este capítulo está destinado a estudiar el comportamiento que presentan las propuestas planteadas sobre la intersección semaforizada que se está analizando, con el objetivo de poder resolver el conflicto que se presenta en la zona de estudio.

### 8.1. Alternativa 1 y 2

Las actuaciones propuestas con la unión de estas dos alternativas afectan directamente la intersección estudiada, por lo que los grupos de carriles han sufrido modificaciones. Por lo tanto, se hace una estimación de los vehículos que ingresarían en caso de establecer los cambios propuestos.

Como la alternativa 1 es la modificación de sentido de la calle primera los vehículos que ingresaban a la intersección por ese acceso ya no estarán presente por lo que llegarían una cantidad menor de vehículos a la misma. De igual manera los vehículos que siguen rectos al realizarse la alternativa 2 se irían por el paso inferior por tal motivo no entrarían en el análisis de la propuesta.

Para empezar, se estudiará la intersección con el procedimiento descrito en el HCM 2010, y se verificará si se presenta mejora en la capacidad y el nivel de servicio.

En las tablas que se presentan a continuación se muestra la variación en el volumen de vehículos, modificada por la reducción de flujo entrante en la intersección:

#### Acceso 1:

	Acceso 1	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	245	10
GC2	106	4

Tabla 37. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 1.



**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	Veh/hr	Veh. Pesados
<b>GC1</b>	286	10
<b>GC2</b>	101	4

*Tabla 38. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 2.*

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	Veh/hr	Veh. Pesados
<b>GC1</b>	208	7
<b>GC2</b>	214	7
<b>GC3</b>	146	4

*Tabla 39. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 3.*

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	Veh/hr	Veh. Pesados
<b>GC1</b>	187	6
<b>GC2</b>	201	7
<b>GC3</b>	112	4

*Tabla 40. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el acceso 4.*

Luego de obtenidos los cambios en los volúmenes de los grupos de carriles afectados, se estudia la propuesta elegida con la metodología del HCM 2010. En primer lugar, se muestra las intensidades de saturación, las cuales no se han visto modificadas.



**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	GC1	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	2674,038703	1406,944216

*Tabla 41. Intensidad de grupos de carril del acceso 1.*

**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	GC1	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1406,944216	1390,741403

*Tabla 42. Intensidad de grupos de carril del acceso 2.*

**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1514,950166	1595,335277	1351,97905

*Tabla 43. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.*

**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1512,019895	1648,987464	1397,447

*Tabla 44. Intensidad de grupos de carril del acceso 3.*

Luego de esto se procede a calcular la capacidad y la proporción volumen capacidad, en estos se notaron los cambios introducidos.



**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	GC1	GC2
<b>N</b>	2	2
<b>s</b>	2674,038703	1406,944216
<b>g</b>	46	35
<b>C</b>	120	120
<b>g/C</b>	0,383333333	0,291666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	2050,096339	820,7174593

Tabla 45. Propuesta. Capacidad del Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	GC1	GC2
<b>N</b>	3	2
<b>s</b>	1406,944216	1390,741403
<b>g</b>	46	35
<b>C</b>	120	120
<b>g/C</b>	0,383333333	0,291666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	1617,985848	811,2658187

Tabla 46. Propuesta. Capacidad del Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	1	1
<b>s</b>	1514,950166	1595,335277	1351,979048
<b>g</b>	35	24	46
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,291666667	0,2	0,383333333
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	441,8604651	319,0670554	518,2586352

Tabla 47. Propuesta. Capacidad del Acceso 3.



**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	1	1
<b>s</b>	1512,019895	1648,987464	1397,447003
<b>g</b>	35	30	46
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,291666667	0,25	0,383333333
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	441,0058027	412,246866	535,6880179

*Tabla 48. Propuesta. Capacidad del Acceso 4.*

Después de calculado la capacidad se procede al cálculo de la proporción volumen-capacidad de cada grupo de carriles. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación, utilizada con anterioridad:

$$X = v/c$$

**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	GC1	GC2
Capacidad	2050,096339	820,7174593
Vi (Veh/h)	245	106
X	0,119506579	0,129155288

*Tabla 49. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 1.*

**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	GC1	GC2
Capacidad	1617,985848	811,2658187
Vi (Veh/h)	286	101
X	0,17676298	0,124496802

*Tabla 50. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 2.*



**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
Capacidad	441,8604651	319,0670554	518,2586352
Vi (Veh/h)	208	214	146
X	0,470736842	0,670705409	0,281712624

Tabla 51. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
Capacidad	441,0058027	412,246866	535,6880179
Vi (Veh/h)	187	201	112
X	0,424030702	0,48757193	0,209076918

Tabla 52. Propuesta. Proporción volumen-capacidad de los grupos de carril del Acceso 4.

Dándole seguimiento al procedimiento definido en el manual HCM 2010, después de obtenido la proporción volumen-capacidad, se calcula la demora según la formulación descrita.

$$d = d1(PF) + d2 + d3$$

**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	GC1	GC2
PF (seg)	0,76429	0,86412
d1 (seg)	23,12081	31,28
d2 (seg)	0,36137	0,32501
Demora (s/veh)	18,03228	27,35684

Tabla 53. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 1.



**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	GC1	GC2
PF (s)	0,79486	0,86412
d1 (s)	24,15342	31,24
d2 (s)	0,15326	0,31526
Demora (s/veh)	19,35197	27,30898

Tabla 54. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,86412	0,91750	0,79486
d1 (s)	34,90	44,35	25,58
d2 (s)	3,56971	10,71559	1,35649
Demora (s/veh)	33,72328	51,40582	21,68828

Tabla 55. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,86412	0,89000	0,79486
d1 (s)	34,35	38,43	24,80
d2 (s)	2,97082	4,08225	0,88604
Demora (s/veh)	32,65565	38,28936	20,60240

Tabla 56. Propuesta. Demora de los grupos de carril del Acceso 4.

Para finalizar, se halla el nivel de servicio de cada grupo de carriles para cada acceso.





**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	18,03228	27,35684
Nivel de Servicio	B	C

Tabla 57. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	19,35197	27,30898
Nivel de Servicio	B	C

Tabla 58. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	33,72328	51,40582	21,68828
Nivel de Servicio	C	D	C

Tabla 59. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC2
Demora (s/veh)	32,65565	38,28936	20,60240
Nivel de Servicio	C	D	C

Tabla 60. Propuesta. Nivel de Servicio en los grupos de carril del Acceso 4.

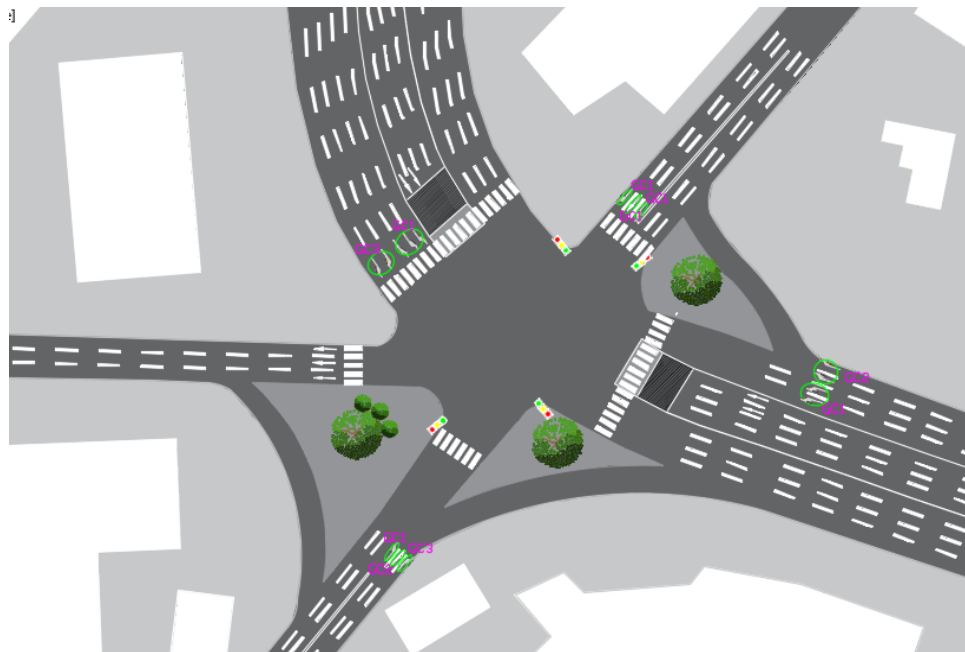


Figura 53. Propuesta 1. Modificación Calle 1era y Paso Inferior en Avenida 27 de febrero.

## 8.2. Alternativa 1 y 3

Las actuaciones propuestas con la unión de estas dos alternativas afectan directamente la intersección estudiada, por lo que los grupos de carriles han sufrido modificaciones. Por lo tanto, se hace una estimación de los vehículos que ingresarían en caso de establecer los cambios propuestos.

Al igual que la propuesta anterior esta presenta la modificación del sentido de la calle primera y la alternativa 3 un túnel elevado en la avenida Isabel Aguiar presentando una reducción de los vehículos en un 18% lo que significa una mejora en la capacidad de la intersección.

Para empezar, se estudiará la intersección con el procedimiento descrito en el HCM 2010, y se verificará si se presenta mejora en la capacidad y el nivel de servicio.

En las tablas que se presentan a continuación se muestra la variación en el volumen de vehículos, modificada por la reducción de flujo entrante en la intersección:



**Acceso 1:**

	Acceso 1	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	245	10
GC2	985	42
GC3	106	4

Tabla 61. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	286	10
GC2	1002	38
GC3	101	4

Tabla 62. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	208	7
GC2	146	4

Tabla 63. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	Veh/hr	Veh. Pesados
GC1	187	6
GC2	112	4

Tabla 64. Propuesta 2. Vehículos ordinarios y pesados por hora en el Acceso 4.



En apartados anteriores se ha dicho que luego de obtenidos los cambios en los volúmenes, se analiza la propuesta elegida con la metodología del HCM 2010. En un inicio, se muestra las intensidades de saturación.

**Acceso 1:**

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1568,95128	1641,074856	1406,94422

*Tabla 65. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 1.*

**Acceso 2:**

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1571,980143	1647,398844	1390,7414

*Tabla 66. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 2.*

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	GC1	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1514,950166	1351,979048

*Tabla 67. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 3.*

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	GC1	GC2
<b>Intensidad de Saturación (Veh/h)</b>	1512,019895	1397,447003

*Tabla 68. Propuesta 2. Intensidad de saturación para el grupo de carriles del Acceso 4.*



Luego de esto se procede a determinar la capacidad y la proporción volumen-capacidad.

**Acceso 1:**

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
<b>N</b>	1	2	1
<b>s</b>	1568,95128	1641,074856	1406,944216
<b>g</b>	40	40	40
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,333333333	0,333333333	0,333333333
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	522,98376	1094,049904	468,9814053

Tabla 69. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC2
<b>N</b>	1	3	1
<b>s</b>	1571,980143	1647,398844	1390,741403
<b>g</b>	35	35	35
<b>C</b>	120	120	120
<b>g/C</b>	0,291666667	0,291666667	0,291666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	458,4942085	1441,473988	405,6329093

Tabla 70. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	GC1	GC2
<b>N</b>	1	1
<b>s</b>	1514,950166	1351,979048
<b>g</b>	30	35
<b>C</b>	120	120
<b>g/C</b>	0,25	0,291666667
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	378,7375415	394,3272224

Tabla 71. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 3.



**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	GC1	GC2
<b>N</b>	1	1
<b>s</b>	1512,019895	1397,447003
<b>g</b>	30	40
<b>C</b>	120	120
<b>g/C</b>	0,25	0,333333333
<b>Capacidad (Veh/h)</b>	378,0049737	465,8156678

Tabla 72. Propuesta 2. Capacidad obtenida en el Acceso 4.

Dando continuidad a la misma metodología explicada anteriormente, después de calculada la capacidad se procede al cálculo de la proporción volumen-capacidad de todos los grupos de carriles. Para esto, se utiliza la ecuación, que se usó anteriormente.

$$X=g/C$$

**Acceso 1:**

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	522,98376	1094,049904	468,9814053
Vi (Veh/h)	245	985	106
X	0,468465789	0,900324561	0,226021754

Tabla 73. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
Capacidad	458,4942085	1441,473988	405,6329093
Vi (Veh/h)	286	1002	101
X	0,623781053	0,695121805	0,248993604

Tabla 74. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 2.



**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	GC1	GC2
Capacidad	378,7375415	394,3272224
Vi (Veh/h)	208	146
X	0,549192982	0,370250877

Tabla 75. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	GC1	GC2
Capacidad	378,0049737	465,8156678
Vi (Veh/h)	187	112
X	0,494702485	0,240438456

Tabla 76. Proporción de volumen-capacidad del Acceso 4.

Dando seguimiento al procedimiento del HCM, procedemos a calcular la demora. Esta se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d = d1(PF) + d2 + d3$$

**Acceso 1:**

	Acceso 1		
	GC1	GC2	C3
PF (seg)	0,83500	0,835	0,83500
d1 (seg)	31,60139	38,10112674	28,84
d2 (seg)	2,99589	11,77157925	1,11724
Demora (s/veh)	29,38305	43,58602	25,19818

Tabla 77. Propuesta 2. Demora del Acceso 1.



**Acceso 2:**

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
PF (s)	0,86412	0,864117647	0,864117647
d1 (s)	36,79929	37,75971754	32,46163214
d2 (s)	6,27654	2,790332794	1,464891478
Demora (s/veh)	38,07546	35,41917	29,51556

*Tabla 78. Propuesta 2. Demora del Acceso 2.*

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	GC1	GC2
PF (s)	0,89000	0,76429
d1 (s)	39,12	22,89
d2 (s)	5,63343	1,11415
Demora (s/veh)	40,45137	18,60741

*Tabla 79. Propuesta 2. Demora del Acceso 3.*

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	GC1	GC2
PF (s)	0,89000	0,83500
d1 (s)	38,51	29,83
d2 (s)	4,57014	1,78905
Demora (s/veh)	38,84683	26,69325

*Tabla 80. Propuesta 2. Demora del Acceso 4.*

Para finalizar se obtiene el nivel de servicio.





**Acceso 1:**

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	29,38305	43,58602	25,19818
Nivel de Servicio	C	D	C

Tabla 81. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 1.

**Acceso 2:**

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
Demora (s/veh)	38,07546	35,41917	29,51556
Nivel de Servicio	D	D	C

Tabla 82. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 2.

**Acceso 3:**

	Acceso 3	
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	40,45137	18,60741
Nivel de Servicio	D	B

Tabla 83. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 3.

**Acceso 4:**

	Acceso 4	
	GC1	GC2
Demora (s/veh)	38,84683	26,69325
Nivel de Servicio	D	C

Tabla 84. Propuesta 2. Nivel de servicio del Acceso 4.



Figura 54. Propuesta 2. Modificación Calle 1era y Puente Elevado en Av. Isabel Aguiar.



### Cuadro Comparativo

	Intersección Actual		Propuesta 1		Propuesta 2	
			Alternativa 1 y 2		Alternativa 1 y 3	
	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio	Demora (s/veh)	Nivel de Servicio
<b>Acceso 1</b>						
GC1	59,123	E	18,0323	B	29,383	C
GC2	81,9609	F	27,3568	C	43,586	D
GC3	39,0202	D	-	-	25,1982	C
<b>Acceso 2</b>						
GC1	84,5422	F	19,352	B	38,0755	D
GC2	84,5652	F	27,309	C	35,4192	D
GC3	43,027	D	-	-	29,5156	C
<b>Acceso 3</b>						
GC1	88,4835	F	32,6557	C	40,4514	D
GC2	83,828	F	51,4058	D	18,6074	B
GC3	65,4959	E	21,6883	C	-	-
<b>Acceso 4</b>						
GC1	83,2906	F	32,6557	C	38,8468	D
GC2	83,2906	F	38,2894	D	26,6933	C
GC3	52,7203	D	20,6024	C	-	-
<b>Acceso 5</b>						
GC1	87,807	F	-	-	-	-
GC2	84,4217	F	-	-	-	-
GC3	63,5497	E	-	-	-	-

Tabla 85. Cuadro comparativo de demoras y niveles de servicio entre la intersección modificada y la existente.

### 8.3. Análisis de los resultados

En el cuadro mostrado se puede destacar que, tras aplicar las modificaciones propuestas, se produce una mejora en las demoras y, por tanto, en el nivel de servicio de cada intersección.



#### 8.4.1. Propuesta 1: (Alternativa 1 y 2)

La unión de estas dos alternativas representa modificaciones que afectan directamente a los grupos de carriles específicamente los que producen mayor congestión en la intersección. Los grupos de carriles de los vehículos que siguen rectos en los accesos 1 y 2 ya no ingresarán a la intersección debido a que utilizarán el paso inferior por lo que se reduce el volumen de vehículos en un 47.68%. La alternativa 1 consiste en la modificación del sentido de la calle primera, dando como resultado que los grupos de carriles del acceso 5 ya no ingresen a la intersección produciendo una disminución del volumen de vehículos en un 9.10%. dando como resultado final un total de 56.79% en la reducción de los vehículos que llegan a la intersección.

Con la implementación de esta propuesta la mejora de la capacidad y por ende los niveles de servicio, presentando niveles de servicio de B, C y D en todos los accesos. Esta propuesta presenta mejora en los accesos que presentan mayor problema a la intersección como los accesos 1, 2 y 5 por lo tanto esta propuesta se considera la más favorable para dar solución a la problemática existente en la intersección. A pesar de que esta propuesta presenta una modificación significativa en la intersección se propone su ejecución debido a que la gran cantidad de vehículos que siguen rectos en la avenida 27 de febrero son los que presentan mayores demoras.

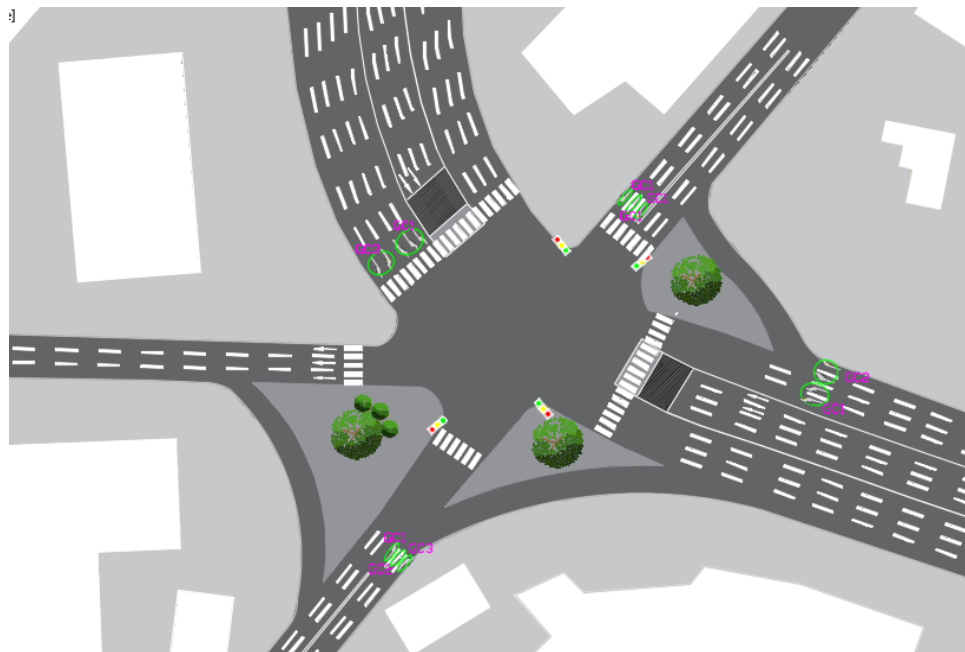


Figura 55. Propuesta 1. Modificación Calle 1era y Paso Inferior en Avenida 27 de febrero.

8.4.2. Propuesta 2: (Alternativa 1 y 3: Modificación de sentido Calle 1era y Puente elevado).

La alternativa 1 como se ha dicho anteriormente consiste en la modificación del sentido de la calle primera, modificando los grupos de carriles del acceso 5 que como se dijo anteriormente ya no ingresarán a la intersección. El acceso 5 presenta una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo de verde efectivo de 13 segundos. La alternativa 3 se trata de un puente elevado en la avenida Isabel Aguiar, donde se ven modificados los accesos 3 y 4 con la implementación del puente elevado. En los accesos 3 y 4 los grupos de carriles presentan una duración de ciclo de 120 segundos con un tiempo efectivo de verde de 18 segundos.

Con la implementación de esta propuesta el número de vehículos que circulan por la intersección se reduce en un 18% esto debido a que los vehículos que siguen rectos en la avenida Isabel Aguiar utilizarían el puente elevado evitando el ingreso de estos a la intersección.



Como se pudo ver en el apartado donde se analizó esta alternativa las demoras se redujeron considerablemente en los accesos 3 y 4, sin embargo, en los accesos 1 y 2 los giros que van rectos siguen presentando problemas de capacidad dando un nivel de servicio de C y E respectivamente.

Los vehículos que siguen rectos en la Avenida 27 de febrero representan un 52.48% del total de los vehículos que acceden a la intersección por lo que se propone una alternativa donde se le dé solución a esta problemática, por lo tanto, esta propuesta no se considera la más favorable. Otro punto que destacar que por cuestiones de espacio en la Av. Isabel Aguiar no es muy factible la implementación de un Puente Elevado.



*Figura 56. Propuesta 2. Modificación Calle 1era y Puente Elevado en Av. Isabel Aguiar.*



## 9. CONCLUSIONES

---

Al determinar los niveles de servicio de determinados grupos de carriles de la intersección de estudio no es del todo precisa calcularla mediante la metodología definida en el HCM 2010. Esto se debe a que el HCM no estudia lo que sucede cuando los vehículos que giran a izquierda deben detenerse en otro semáforo en rojo, provocando esto almacenamiento de los coches en el paso al frente, que es el caso de la intersección objeto de estudio.

Por esta razón, se ha de utilizar un procedimiento distinto, que sea mas fiable y se acerque mas a la realidad. Este procedimiento consiste en analizar el almacenamiento de vehículos que se llega a producir durante un ciclo en estos carriles y si estos producen una congestión tal que dificultan el movimiento de seguir en recto de los vehículos que restan.

La intersección presenta niveles de servicio mayormente de E y F en todos los accesos presentando mayor problema de capacidad los giros a izquierda y los que siguen rectos.

Se presenta una dificultad a la hora de identificar los grupos de movimientos y los grupos de carriles. Es debido a que los vehículos no se ciñen a las marcas viales que se representan en los carriles, sino que presentan un comportamiento diferente. Por este motivo, se debe observar dichos comportamientos y no obedecer únicamente a lo indicado en dicha señalización.

Se plantean dos propuestas posibles para disminuir la congestión existente en la intersección. La propuesta que engloba la alternativa 1 y 2 disminuye la demanda de vehículos en los accesos 1, 2 y 5, siendo los accesos 1 y 2 los más conflictivos y donde se ocasiona el mayor bloqueo a los conductores. Esta propuesta plantea la modificación del sentido de la Calle primera y la ejecución de un paso inferior en la avenida 27 de Febrero. La segunda propuesta consiste en la modificación del sentido de la calle primera y la ejecución de un puente elevado en la avenida Isabel Aguiar,



donde se ven afectados los accesos 3, 4 y 5. Con la ejecución de esta propuesta se obtuvo niveles de servicio de C y D, pero mayormente D.

Además de las dos propuestas planteadas se propone mejorar las marcas viales existentes, ya que por ejemplo el paso peatonal está dañado y casi no se ve, provocando mayor problema a la intersección. También se plantea la aplicación de una marca vial horizontal, concretamente la señalización M-7.10 denominada comúnmente como “Cuadrícula” de color amarillo, según lo establecido en la Norma 8.2-IC- “Marcas Viales”. Esta señal funciona como recordatorio a los conductores de la prohibición de penetrar en una intersección aun cuando el semáforo lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Luego de determinar los niveles de servicio, se concluye que la alternativa que engloba las opciones 1 y 2, disminuye la situación de congestión en gran medida, aunque represente la necesidad de altos costes de ejecución con la implementación del paso inferior. Esta propuesta resuelve completamente los conflictos de demora y atascos.

Se plantea que se realice una consulta ciudadana con la intención de saber si es rechazada por la ciudadanía.

### **FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

A través de las conclusiones obtenidas se puede prever las posibles líneas de investigación. El principal objetivo en un futuro debería ser 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 eficaz para cada caso que facilite la determinación del factor de ajuste de giro a la izquierda; ya que en el manual HCM 2010, no se contemplan todos los casos posibles de las intersecciones semaforizadas.





## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Transportation Research Board (2000), *Highway Capacity Manual 2000*, National Research Council, Washington D.C.
- [2] Transportation Research Board (2010), *Highway Capacity Manual 2010*, National Research Council, Washington D.C.
- [3] Luttinen, R., y Nevala, R (2002), *Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections*, Finnra Repots 25/2002.
- [4] Bared, J., Edara, P. *Simulated Capacity of Roundabouts and Impact on Roundabout Within a Progressed signalized Road*. Transportation Research Board, National Research Council, 2010.
- [5] Galarraga J., M. Herz, L. Albrieu, V. Depiante (2001): *El Manual de Capacidad 200 y la estimación de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas para condiciones argentinas*. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, C1-180, Buenos Aires.
- [6] Hummer, J.E (1998). *Unconventional left-turn alternatives for urban and suburban arterials – part one*. ITE Journal (Institute of Transportation Engineers).
- [7] Wang, X., y Abdel-Aty, M (2008). *Modeling left-turn crash occurrence at signalized intersections by conflicting patterns*. Accident Analysis and Prevention. 40(1). 76-88.
- [8] Bañón Blázquez, L., Beviá García, J.F. Manual de Carreteras. Volumen I: elemento y proyecto Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A, 2000.
- [9] Ministerio de Fomento, *Norma de carreteras 8.2-IC Marcas Viales*, Gobierno de España. Orden de 16 de Julio de 1987.
- [10] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO.
- [11] MOPC, Criterios Básicos para el Diseño geométrico de carreteras M-012, Republica Dominicana. Julio de 1982.



[12] Congreso Nacional, Ley 241 Del 28 De diciembre De 1967, Sobre Tránsito De Vehículos, G.O 9068.

[13] Stevens, C. Signals and Meters at Roundabouts. Texas Transportation Institute. Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Aes, Iowa, August, 2005.

[14] Ley no. 114-99 que modifica la ley 241, sobre tránsito de vehículos de motor en sus Artículos no. 49, 51, 52,109 (mod. arts. 106, 107 y 108), 153 y 161



# *ANEXOS*



## Anexo 1 (Tiempos de cada fase semafórica de cada tramo)

MEDICIONES DE AFORO	Semáforos afectados en los cálculos				
	1	2	3	4	5
Tiempo de ciclo (seg)	120	120	120	120	120
Tiempo efectivo de verde (seg)	24	23	18	17	25



Semáforos presente en la intersección



## Anexo 2 (Ajuste de la intensidad de saturación en la intersección semafórica existente).

### Acceso 1:

	Acceso 1		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900	1900	1900,00
Fw	1,00	1,00	0,00
Fhv	0,96	0,96	0,00
Fg	1,00	1,00	1,00
Fp	1,00	1,00	0,97
Fbb	1,00	1,00	1,00
Fa	0,90	0,90	1,00
Flu	1,00	0,73	1,00
FLT	0,95	1,00	0,90
FRT	1,00	1,00	1,00
FLpb	1,00	1,00	1,00
FRpb	1,00	1,00	0,85
<b>Intensidad de Saturación</b>	<b>1568,95</b>	<b>2384,16</b>	<b>1406,94</b>

### Acceso 2:

	Acceso 2		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900,00	1900,00	1900
Fw	1,00	1,00	1,00
Fhv	0,97	0,96	0,96
Fg	1,00	1,00	1,00
Fp	1,00	1,00	1,00
Fbb	1,00	1,00	1,00
Fa	0,90	0,90	0,90
Flu	1,00	0,57	1,00
FLT	0,95	1,00	1,00
FRT	1,00	1,00	0,85
FLpb	1,00	1,00	1,00
FRpb	1,00	1,00	1,00
<b>Intensidad de Saturación</b>	<b>1571,98</b>	<b>1675,83</b>	<b>1390,74</b>



**Acceso 3:**

	Acceso 3		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900	1900	1900
Fw	0,96	0,96	0,96
Fhv	0,97	0,97	0,97
Fg	1,00	1,00	1,00
Fp	1,00	1,00	1,00
Fbb	1,00	1,00	1,00
Fa	0,90	0,90	0,90
Flu	1,00	1,00	1,00
FLT	0,95	1,00	1,00
FRT	1,00	1,00	0,85
FLpb	1,00	1,00	1,00
FRpb	1,00	1,00	1,00
<b>Intensidad de Saturación</b>	<b>1514,95</b>	<b>1590,70</b>	<b>1351,98</b>

**Acceso 4:**

	Acceso 4		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900	1900	1900
Fw	0,96	0,96	0,96
Fhv	0,97	0,97	0,96
Fg	1,00	1,00	1,00
Fp	1,00	1,00	1,00
Fbb	1,00	1,00	1,00
Fa	0,90	0,90	0,90
Flu	1,00	3,40	1,00
FLT	0,95	1,00	1,00
FRT	1,00	1,00	1,00
FLpb	1,00	1,00	1,00
FRpb	1,00	1,00	1,00
<b>Intensidad de Saturación</b>	<b>1512,02</b>	<b>1587,62</b>	<b>1583,03</b>



**Acceso 5:**

	Acceso 5		
	GC1	GC2	GC3
So (veh/h/carril)	1900,00	1900,00	1900,00
Fw	1,00	1,00	1,00
Fhv	0,97	0,96	0,97
Fg	1,00	1,00	1,00
Fp	1,00	1,00	1,00
Fbb	1,00	1,00	1,00
Fa	0,90	0,90	0,90
Flu	1,00	1,00	1,00
FLT	0,95	1,00	1,00
FRT	1,00	1,00	0,85
FLpb	1,00	1,00	1,00
FRpb	1,00	1,00	1,00
<b>Intensidad de Saturación</b>	<b>1512,02</b>	<b>1645,81</b>	<b>1402,86</b>