

# Revisión del HCM 2010 y 2000 intersecciones semaforizadas

## Review HCM 2010 and 2000 Signalized Intersections

Recibido: 3 de diciembre de 2014 • Aceptado: 23 de marzo de 2015

Para citar este artículo: D. Rodríguez, «Revisión del Hcm 2010 y 2000 Intersecciones Semaforizadas», *Ingenium*, vol. 16, n.º 32, pp. 19-31, mayo, 2015.



Daniella Rodríguez Urrego\*

## Resumen

El siguiente artículo presenta una evaluación del Capítulo 18 del Manual de carreteras «Highway Capacity Manual 2010» (HCM 2010), indicando las variaciones que se han tenido en la última versión en intersecciones controladas por semáforos en comparación con la penúltima versión HCM 2000, a partir de un estudio realizado en la ciudad de Valencia, España, en el cual se observa como los giros tanto a izquierda como a la derecha han disminuido su capacidad con la versión actual del manual, y los movimientos directos al contrario aumentan. Con la actualización de esta metodología, se identifica las variaciones que se han dado y como posiblemente afectan los análisis en las intersecciones semaforizadas, dando niveles de servicio diferentes y afectando el estado actual de las intersecciones diseñadas con la versión antigua.

## Palabras clave

HCM 2010, HCM 2000, Intersecciones, semaforizadas.

## Abstract

This paper presents an evaluation of Chapter 18 of the Manual of Roads «2010 Highway Capacity Manual» (HCM 2010), indicating that changes have had on the latest version at intersections controlled by traffic lights compared to the penultimate version HCM 2000.

\* M.Sc. Ingeniera Civil, Grupo de Investigación HD+I, Universidad Piloto De Colombia. E-mail: daniella-rodriguez@unipiloto.edu.co

From a study conducted in the city Valencia, España identifies as turning both left and right have diminished capacity with the current version of the manual and direct movements to increase. With the update of this methodology is interesting to identify of changes that have occurred and as possibly affecting the analysis at signalized intersections, giving different service levels and affecting the current state of the intersections designed with the old version.

### Keywords

HCM 2010, HCM 2000, signalized intersections.

## 1. Introducción

En contexto las intersecciones están diseñadas de acuerdo a las circunstancias del tráfico, en los cuales son implementadas a unos tiempos específicos que son dados para la fluidez de la intersección, evitando la congestión y manteniendo un nivel de servicio óptimo. Estas intersecciones están reguladas por semáforos, las cuales permiten varios movimientos en diferentes sentidos dentro de la intersección, que a su vez se establecen por una variedad de condiciones que afectan la circulación del tráfico rodado, como son: la cantidad y distribución del tráfico, composición del mismo, diseños geométricos, manejo de la semaforización, señalización tanto vertical como horizontal, entre otros. Se conoce que el semáforo es la variable directa de las intersecciones semaforizadas el cual distribuye el tiempo entre los movimientos conflictivos que se dan, para así poder dar un excelente funcionamiento a la capacidad de la misma, sin llegar a sobresaturar sus accesos.

Los semáforos al regular el tráfico-intersección, tienen operaciones implícitas que afectan directamente a la circulación identificados 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. Dentro de las señales de tráfico el manual de capacidad de carreteras, como se designa en inglés *Highway Capacity Manual* (HCM) maneja dos tipos de operaciones para la señalización semaforizada: operación prefijada y accionada, siendo la primera una acción que consiste en una secuencia de fases fijas, que están en un orden repetitivo, la duración de cada fase es precisa siempre con los mismos tiempos, es decir 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; y la segunda operación es definida como fase de la secuencia en que la presentación de cada fase depende o está asociada a los movimientos del tráfico. La duración del intervalo de verde es determinada por la demanda de tráfico, información obtenida del detector. La operación de un control accionado se puede describir como: Actuado, semiactuado, coordinado-actuado.

Para determinar qué tan óptimo es el flujo vehicular en una intersección, el HCM identifica la capacidad y el nivel de servicio (NS). Estos son fundamentales para definir como se encuentra la intersección en el momento del análisis y poder decir con certeza como se está llevando a cabo el tráfico diariamente. Tanto la capacidad como el NS son análisis que se realizan por separado, a partir de un proceso que se inicia con la recaudación de

la información (aforos) que conllevan mediante un análisis al obtener la capacidad y por consiguiente el NS en el que se encuentra. Para hallar la capacidad o el NS es imprescindible entender en primera medida la forma en que se manejan o se agrupan los carriles, identificado como: movimientos por carriles o movimientos por grupos de carril (GC), definido GC como el mismo movimiento que se lleva a cabo en uno o más carriles. En segunda medida para hallar la capacidad y el NS, se debe analizar por grupos de carriles los cuales acceden a una intersección, e identificar la demora media en parada por GC de la intersección, 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.

Una problemática que se presenta a nivel mundial en las intersecciones semaforizadas y que ha sido abarcada por todas las versiones del manual de capacidad de carreteras son los giros a la izquierda. A nivel mundial en algunos países como Argentina, está prohibido el diseño de los giros a la izquierda y en países como España, se está implementando poco a poco otros diseños que sustituyan el giro a la izquierda. Según Humer, J., [1] especifica diferentes alternativas para sustituir el giro a la izquierda en arterias urbanas o suburbanas. Con estas problemáticas se observa que lo primordial es reducir los puntos de conflicto en las intersecciones, cambiando las rutas de los giros a la izquierda y reduciendo el número de fases en las intersecciones, para así evitar la sobresaturación, aumentando su capacidad y por lo consiguiente mejorando el Nivel de Servicio (NS).

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) ha ido modificando su metodología en las últimas décadas para calcular la capacidad y nivel de servicio (NS) en intersecciones controladas por semáforos, identificando una variación entre las versiones de los manuales en cuanto a los giros a la izquierda y movimientos directos, presentando alteraciones en el momento del análisis de flujo vehicular. La última versión procede del año 2010 (HCM 2010) [2], la cual consta de diferentes capítulos, entre los cuales se destaca el estudio de Intersecciones semaforizadas (Signalized intersections – Chapter 18), presentando algunos cambios significativos en cuanto a la versión HCM 2000 [3], identificados y analizados durante el desarrollo del presente documento, indicando las afectaciones posibles ante el análisis de una intersección diseñada con la versión anterior y analizada con la actual.

## 2. Síntesis del manual de capacidad de carreteras HCM 2010 y 2000

El conocimiento sobre los cambios que ha tenido el HCM 2010 con respecto al HCM 2000, se verifica en cuanto a los siguientes aspectos, con el fin de tenerse en cuenta durante el análisis del caso de estudio:

### 2.1. Condiciones de semaforización - datos de entrada

La metodología del Manual de capacidad HCM 2010 propone un análisis que mantiene las mismas condiciones iniciales (datos de entrada) que el HCM 2000. Un ejemplo es el tiempo de servicio de los peatones, el cual se precisa en la ecuación (1) y (2). Otro punto a identificar para el análisis de la intersección es la definición de los GC, en ambos manua-

les los carriles se siguen agrupando por ramales de trayectoria o movimientos, teniendo también las mismas consideraciones como GC los giros exclusivos a izquierda/derecha.

$$G_p = 3.2 + \frac{L_{cc}}{S_p} + 2.7 \frac{N_{ped}}{W_e} \quad \text{Si } W_e > 3m \quad \text{Ec. (1)}$$

$$G_p = 3.2 + \frac{L_{cc}}{S_p} + 0.27 (N_{ped}) \quad \text{Si } W_e \leq 3m \quad \text{Ec. (2)}$$

## 2.2. Obtención de la tasa de flujo de saturación (S)

Para hallar la saturación de la intersección la última versión del manual HCM trabaja los mismos factores que se relacionan en el HCM 2000, ecuación (3). Identificando 12 factores, los cuales son: **So**, flujo de saturación base, **fw**, factor por ancho de carril, **fHV**, factor por vehículos pesados, **fg**, factor de ajuste por inclinación del acceso, **fp**, factor de ajuste por existencia del carril de estacionamiento, **fb**, factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona, **fa**, factor de ajuste por tipo de área, **fLU**, factor de ajuste por utilización de carril, **fLT**, factor de ajuste por giro a la izquierda en el GC, **fRT**, factor de ajuste por giro a la derecha en el GC, **fLpb**, factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones, **fRp**, factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones y ciclistas.

El primer factor indica el flujo de saturación base (So), el cual se precisa cuando la intersección se encuentre en un área metropolitana con 250.000 habitantes o más, según el HCM 2010 (So) es de 1900 automóviles/carril/hora, y en otras ciudades 1750. Para el HCM 2000 se identifica una tasa de flujo de saturación base única siendo de 1900 vehículos/carril/hora.

$$S = S_o f_w f_{HV} f_g f_p f_b f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rp} \quad \text{Ec. (3)}$$

El ancho de carril se tiene en cuenta por el impacto que ejercen los carriles estrechos en la intensidad de saturación, al igual que el incremento del flujo con los carriles anchos. El ancho estándar es de 3.65 metros y si llega a pasar de 4.8 metros se debe analizar como dos carriles, indicando que el usar dos carriles indica un alto flujo de saturación. Por ningún motivo se debe calcular un ancho menor a 2.4 metros. Para este caso el HCM 2010 de acuerdo al ancho de los carriles maneja factores únicos indicados en la **tabla 1** y el HCM 2000 precisa de condiciones diferentes como se aprecia en la ecuación (4), especificando que se debe analizar para un ancho de carril mayor a 2.4m, si es mayor a 4.8m se debe analizar como dos carriles.

Promedio ancho carril (m)	Factor ajuste ancho de carril (fw)
<3.0	0.96
≥ 3.0 – 3.92	1.00
>3.92	1.04

Tabla 1. Anchos de carril. HCM 2010  
Fuente: HCM 2010. Cap. 18. Pág. 40

$$F_w = 1 + \frac{(W-3.6)}{9} \quad \text{Ec. (4)}$$

Las dos últimas versiones del HCM incorporan una minimización a la tasa de flujo de saturación a partir del factor de ajuste por vehículos pesados ( $fHV$ ), al tener en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados y las diferentes paradas en relación con los vehículos ligeros. Por tal razón se indica un factor de equivalencia ( $E_t$ )=2. Otro análisis que contempla el HCM en su última versión es el factor de ajuste por inclinación ( $f_g$ ), el cual tiene en cuenta el efecto de las rampas y pendientes, y se aplica un factor de corrección, este factor se mantiene para pendientes entre un rango de -6% a 10%.

El factor de ajuste de estacionamiento ( $f_p$ ) 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, es decir pudiendo presentar un bloqueo en los carriles por los vehículos que entran y salen de los aparcamientos. Al presentar estacionamientos se debe tener en cuenta que las maniobras duran un promedio de 18sg. HCM 2010 y HCM 2000.

Al hablar de estacionamiento es importante en el análisis de la intersección estudiar el transporte público, el cual se debe tener en cuenta por el impacto de los buses de circulación que se da por cargar y descargar pasajeros en la zona anterior o posterior de la intersección, en una distancia de 76m a la línea de parada. El número de paradas es primordial en el momento del análisis si se presenta más de 250 autobuses/hora se debe ajustar como límite práctico, y se debe considerar un tiempo promedio de bloqueo de 14.4 seg. durante la señal semafórica. (Si bloquea los carriles de circulación)

En el análisis es importante identificar 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, debido a condiciones como: carriles angostos, estacionamientos, paraderos, entre otros. El manual recomienda que sea utilizado un factor de área ( $f_a$ ) de 0.90, si se presenta algunas de las condiciones mencionadas anteriormente.

El factor de ajuste por utilización de carril ( $f_{lu}$ ) es usado para estimar la tasa de saturación de flujo por GC con más de un carril exclusivo. Si el GC tiene carriles exclusivos este factor es 1.0.

### 2.3. Factor de ajuste por giro a la izquierda ( $FLT$ ) y a la derecha ( $FRT$ ).

Ambos manuales especifican el ajuste que se debe dar por la existencia de vehículos girando a la izquierda. El realizar estos tipos de giros ya sea en modo permitido o protegido, indican una disminución en la velocidad, influye en el aumento de fases disminuyendo la capacidad de la intersección, aumentan la demora, e incrementa los atascos. Este factor en ambos manuales indica que el factor será 0.95 para carriles exclusivos. Cuando es carril compartido el HCM 2000 indica que se deben tener en cuenta la proporción de los vehículos que giran a la izquierda en el GC. Ecuación (5).

$$FLT = \frac{1}{1+0.05(PLT)}. \quad \text{Ec. (5)}$$

El HCM 2010 identifica factores exclusivos propios del análisis del actual manual, indicando para carril único o compartido un factor de 0.95 mencionado anteriormente, si es doble carril usar 0.92. Para una calle de intersección en T, usar 0.85 para un carril y 0.75 para dos carriles.

El giro a la derecha implica directamente una intervención en demoras, punto de conflicto con los peatones, y ciclistas. Se debe tener en cuenta que los giros a la derecha se pueden realizar de igual modo, permitidos o protegidos. Por tal razón es un factor importante a tener en cuenta en el ajuste de la tasa de saturación

El factor de corrección según el HCM 2000 para giros a la derecha (giro exclusivo) es directamente 0.85 y si el carril es compartido propone la ecuación **(7)**, y si el carril es único, ecuación **(8)**. Indicando PRT como la proporción de vehículos que giran a la derecha en el GC.

$$FRT = 1 - 0.15(PRT) \quad \text{Ec. (6)}$$

$$FRT = 1 - 0.135(PRT) \quad \text{Ec. (7)}$$

El HCM 2010, propone utilizar el factor directamente 0.85 cuando se realiza el giro a la derecha en modo protegido para carril compartido o único. Al ser carriles dobles el factor a usar es de 0.75

#### 2.4. Movimiento de peatones

Ambos manuales tienen en cuenta el movimiento de peatones y de ciclistas en las intersecciones semaforizadas. La importancia es la interacción que se tiene peatón-ciclista en la misma fase con los vehículos, quienes están en la zona de conflicto. Por tal razón el Manual propone un factor de reducción para movimientos de peatones – ciclistas en zonas de conflicto con los giros a la izquierda y a la derecha. En el HCM 2000 el factor utilizado para el giro a la izquierda (*flbd*), al no presentar movimientos protegidos se debe identificar el factor a partir de la ecuación **(9)** donde se considera el porcentaje de vehículos que giran en la intersección en el GC (*PLT*), la proporción del tiempo que la zona de conflicto (peatón–vehículos) está desocupada. (*Apbt*) y el porcentaje de vehículos que giran en la intersección (*PltA*).

$$Flpb = 1 - PLT (1 - ApbT)(1 - PltA) \quad \text{Ec. (9)}$$

En comparación con el HCM 2010 se anula el porcentaje de los vehículos que giran en la intersección. Indicando que el factor utilizado es igual la proporción del tiempo que la zona de conflicto (peatón–vehículos) está desocupada. (*Apbt*). Ecuación **(10)**

$$F_{Lpb} = A_{pbT}. \quad \text{Ec. (10)}$$

El factor de ajuste para movimientos de giro de peatones (*ApbT*) es calculado con la ecuación **(11)** o **(12)** respectivamente, dependiendo si el número de carriles receptores

es igual al número de carriles de giro, los vehículos al girar no tendrán la posibilidad de maniobrar esquivando bicicletas y peatones; el factor de ajuste es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada como se aprecia en la ecuación (11)

$$ApbT = 1 - OCCr \quad \text{Ec. (11)}$$

Si el número de carriles receptores excede el número de carriles de giro, los vehículos que giran pueden maniobrar para esquivar peatones o bicicletas, reduciendo tal vez así los efectos del flujo de saturación de peatones y bicicletas. Para este caso se calcula con la ecuación (12)

$$ApbT = 1 - 0.6 OCCr \quad \text{Ec. (12)}$$

La ocupación de la zona de conflicto ( $OCCr$ ), el cual tiene en cuenta la zona de conflicto por parte de peatones ( $pedg$ ) y bicicletas ( $bicg$ ), ambos manuales lo definen como se observa en la ecuación (13). La ocupación de la zona de conflicto en el tiempo de verde para peatones y ciclistas es calculada en el Manual de capacidad en ambas versiones.

$$OCCr = \left( \frac{gped}{g} OCCpedg \right) + OCCbicg - \left( \frac{gped}{g} OCCpedg OCCbicg \right) \quad \text{Ec. (13)}$$

## 2.5. Determinación de capacidad y v/c en intersecciones semaforizadas

La capacidad se sigue hallando de la misma manera, solo que en el nuevo manual HCM 2010 el número de carriles es multiplicado en la capacidad en lugar de ser multiplicado en la obtención de la saturación, como habitualmente se hace con el HCM 2000. El tener una intersección de análisis se requiere llegar a cuál es su capacidad actual por grupo de carril e identificar cuál es su NS 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 ocasiona bloqueo de acceso a la intersección. Este es calculado a partir del control de demora el cual considera llegadas uniformes ( $d1$ ), el factor de progresión ( $PF$ ) y el incremento de demora ( $d2$ ). Ecuación (14)

$$d = d1(PF + 2) \quad \text{Ec. (14)}$$

## 2.6. Nivel de servicio

Los distintos tipos de NS 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.

# 3. Localización - intersección de estudio

El tramo de estudio está localizado al sur-este de Valencia, (España) en el distrito Caminos Grau, el cual colinda en el extremo norte con la Universidad Politécnica De Valencia, y en el extremo sur con la Universidad De Valencia. Al oeste y este, corresponden las glorietas Avenida de Cataluña y de Serrería. Figura 2 a.

Sobre el tramo se especifica una intersección en la Avenida de Los Naranjos con Ramón Llull. Su diseño en forma de T tiene un punto en específico, en el cual 80 metros después de la primera intersección aguas arriba se presenta un Giro en –U a la izquierda, por tal motivo la intersección es dividida en dos, para un análisis más detallado, obteniendo dos tipos de intersecciones, Figura 2:

- 1era. Intersección: Avenida de Los Naranjos con RamónLlull
- 2da. Intersección: En la Avenida de Los Naranjos. –U



a.



b.

Figura. 2 – Visión aérea del estudio de locación.

## 4. Datos - información

### 4.1. Identificación de los movimientos estudiados

Toda intersección tiene varios movimientos, como: giros a la izquierda y a la derecha, giros permitidos o protegidos, entre otros. La identificación de los movimientos de las dos (2) intersecciones de estudio, se representan en las Figura 3a y 3b, correspondientes a la intersección 1 y 2 respectivamente.

### 4.2. Descripción de los carriles

La primera intersección (I1) Figura 3a, ubicada en la Avenida de Los Naranjos con Ramón Llull, de W-E cuenta con cuatro (4) carriles, cada uno de 3m de ancho, 3 carriles

pertenece a vehículos livianos, un carril exclusivo bus y un carril para giro a la derecha compartido. En sentido E-W cuenta con 5 carriles, cada uno de 3 metros de ancho, un carril exclusivo carril bus ubicado al extremo norte, para giro a la izquierda compartido ubicado al extremo sur de ese acceso. En sentido S-N la Avenida Ramón Llul tiene cuatro carriles, un carril para uso exclusivo de bus ubicado al lado extremo derecho y los demás carriles en sentido único de giro a la izquierda, cada carril mide 3 metros.

La segunda intersección (I2) Figura 3b, cuenta con cuatro carriles en sentido W-E, el carril al extremo sur es exclusivo bus y el carril al extremo norte es un carril compartido para giros a la izquierda y movimiento recto. En el sentido E-W cuenta con cuatro carriles, el carril al extremo norte, es carril exclusivo bus.

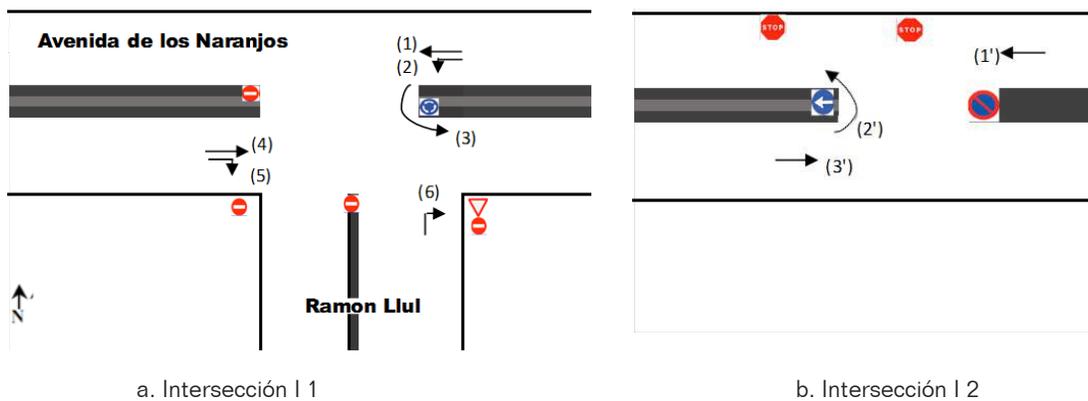


Figura. 3 – Tramos de Estudio – Movimientos por intersección

### 4.3. Tráfico - volumen de estudio vehicular

Los aforos realizados durante días típicos (martes, miércoles y jueves) en periodos picos del año (Junio - Julio) y durante un tiempo de conteo de 16 horas mediante cámaras de video, indica un periodo crítico y congestión en la intersección I1. De acuerdo al estudio de tráfico y los aforos vehiculares de ambas intersecciones se identifica mayor tráfico entre las 19 y 22 hrs, según los datos obtenidos exactamente entre las 20:00 y 21:00pm, con volúmenes por cuarto de hora con poca variación obteniendo un F.H.P con un valor cercano a 1. En la Figura 4 de acuerdo a los volúmenes vehiculares obtenidos por el estudio, se presentan los porcentajes de vehículos por movimiento en ambas intersecciones. En la Figura 4a (I1), se observa una alta demanda para los movimientos M1 y M4, con un 32% correspondientemente a una IMD de 17209 y 16922 vehículos/día. Los giros a la izquierda M2 y M6 presentan una demanda media, equivalente a un 9 y 11% a comparación de los movimientos directos (M1, y M4). La Figura 4b (I2), el giro a la izquierda en U, (M2) equivale a un 14% de todos los movimientos de la intersección, siendo predominante el movimiento recto M3' y M4' con un porcentaje superior al 40%. Siendo la I1 la intersección con más demanda, se indica que aunque los giros a la izquierda tiene un promedio de 5534 vehículos/diarios con respecto a los movimientos rectos, el cual representan un promedio de 17605 vehículos/diarios; los giros a la izquierda presentan un 34% de los movimientos totales realizados en la intersección (I1).

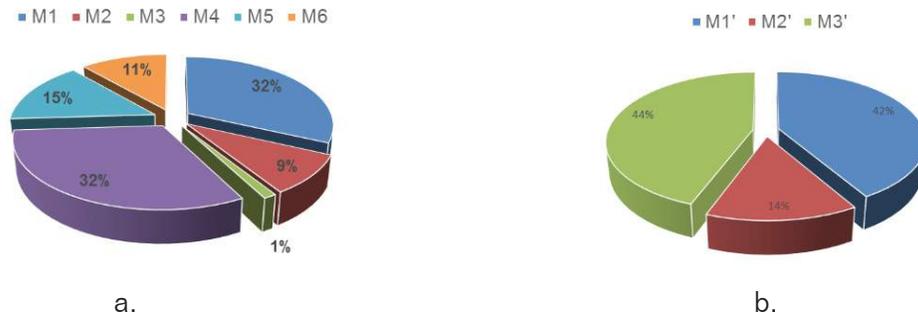


Figura 4. Porcentajes de volúmenes de estudio vehicular. 11a. – 12 b.

En la Figura 5 se observan las Intensidades Medias Diarias (IMD) de las intersecciones I1 y I2, de los vehículos ligeros y los pesados, con respecto a cada GC. Por la Avenida de los Naranjos se presenta un IMD de E-W de 22789 y de W-E de 24798 veh; identificando un mayor flujo vehicular de W-E. Los giros a la izquierda presentan una IMD mayor a 5000 veh.

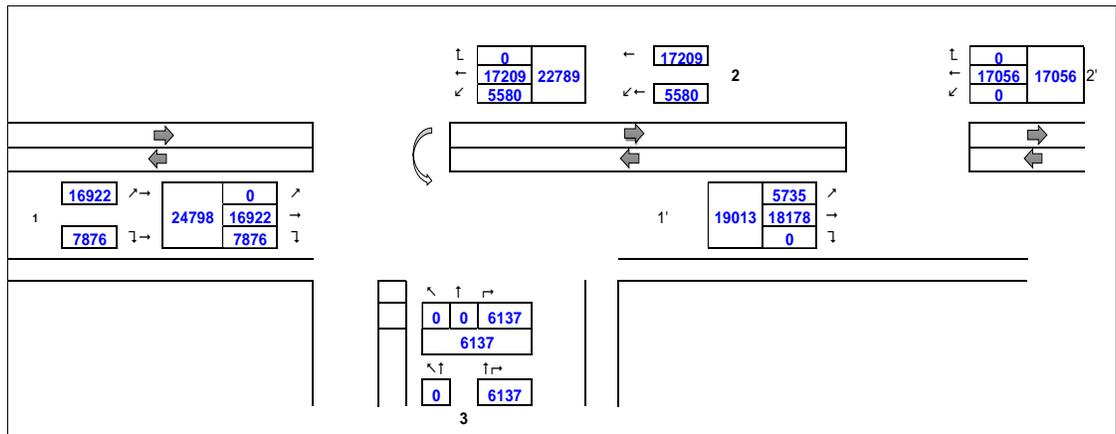


Figura. 5 – Intensidad Media Diaria I1 – I2

## 5. Análisis de resultados HCM 2010 – HCM 2000

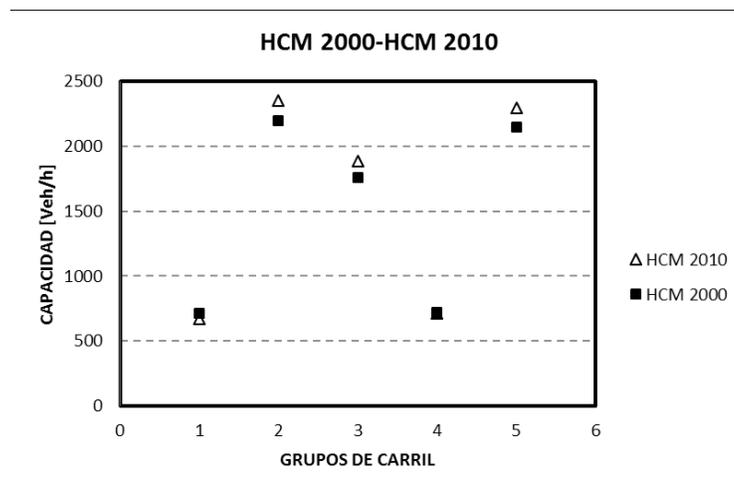
### 5.1. Volúmenes Intersección de estudio

Las dos (2) intersecciones son analizadas a partir de los aforos indicando volúmenes hasta de 1400 Veh/h. La I1 presenta mayor flujo vehicular para los movimientos directos en sentido E-W y W-E, entre 1000 y 1400veh/h. Indicando volúmenes para el GC2 de 1065veh/h, GC3 1310 Veh/h. El GC1 (Giros a la izquierda) presenta un volumen de 756 veh/h, GC4 (Giro a la derecha) de 862 veh/h y GC5 de 552 Veh/h. La I2, presenta la misma tendencia de mayor flujo vehicular para los movimientos directos (M3' y M2'), respectivamente GC 1', y GC2' indican volúmenes de 1353 y 1542 veh/h. El GC3' presenta una disminución vehicular ante los otros GC al ser un giro a la izquierda con 498Veh/h. En la Figura 5 se identifican GC de ambas intersecciones de estudio. De acuerdo al flujo vehicular y análisis de datos de aforos, se realiza únicamente el estudio para la intersección 1 (I1), ya que indica un atasco en horas pico, presentando una problemática de análisis en comparación de la intersección 2.

## A. Análisis Capacidad – Niveles de Servicio HCM 2010-2000

De acuerdo al análisis de estudio en la Gráfica 1 se indica la capacidad obtenida de la I1 a partir de los cinco (5) grupos de carriles. Como se observa los movimientos directos correspondientes al GC2, GC3, y GC5, presenta un aumento promedio del 6% con respecto a la capacidad que se obtiene a partir del análisis con el HCM 2000. A diferencia los giros tanto a izquierda como derecha disminuyeron su capacidad con el actual manual. Como se observa en la gráfica 1, disminuye aproximadamente un 7% la capacidad para los GC1 y GC4.

Así se Identifica un posible aumento de la congestión vehicular, aumento de cola, a reevaluar las intersecciones semaforizadas con la versión actual HCM 2010 en cuanto a giros a la izquierda y derecha. Según estudios, ante la saturación de la capacidad de una intersección, según *Daganzo, C.F.* [4] los efectos de la sobresaturación sólo pueden ser eliminados mediante la reducción de la demanda o aumento de la capacidad, al no realizarse ningún procedimiento puede causar parálisis a nivel de red; la mayor contribuidora de la sobresaturación son los giros a la izquierda al asignar por separado la fases de verde, produciendo una reducción en la capacidad de la intersección, los cuales son un obstáculo para la fluidez del tráfico en las intersecciones a nivel [*Xuan, Y., et al.,*] [5]

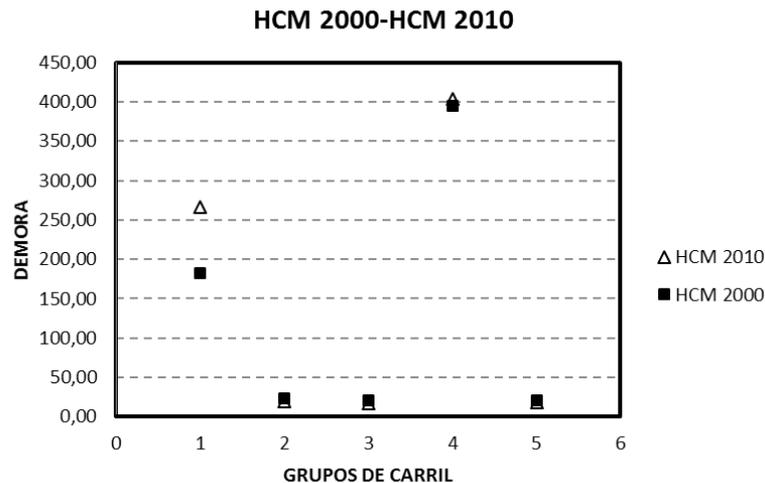


Gráfica 1. Capacidad de la Intersección de estudio.

Como resultado la **Gráfica 2**, identifica en consecuencia las demoras que presenta los diferentes movimientos que se demuestran en la intersección 1 de estudio. Las demoras son calculadas por GC, para así identificar la demora de los movimientos y proceder a identificar el NS. Como se observa al analizarse con el HCM 2000 identifica demoras hasta de 395 s/veh y la demora más baja de 20 s/veh. Obteniendo una demora media de la intersección de 128 s/veh. Al ser analizado a partir del HCM 2010, se presenta la demora más alta de 403 s/veh, y la demora más baja de 16.82 s/veh. Con una demora media de la intersección de 144 s/veh.

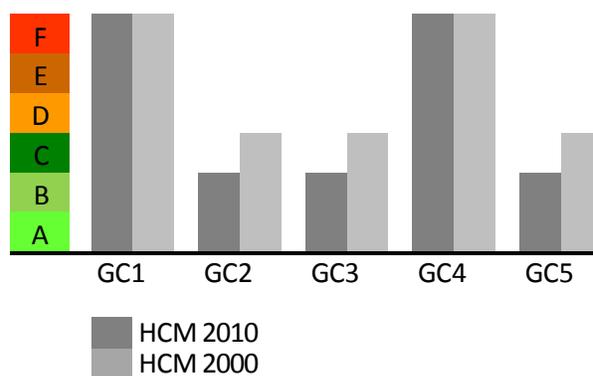
Los resultados identifican en ambos manuales los posibles atascos que se presentan en los giros a la izquierda y a la derecha. Evidenciando con la última versión del manual

(HCM2010), un incremento en las demoras del 30% para los giros a la izquierda y del 2% para los giros a la derecha. También se evidencia la afectación de la variación de los manuales ante la disminución de la capacidad. Para los movimientos directos la última versión del manual aumenta capacidad disminuye las demoras pertinentes, por consiguiente mejora el nivel de servicio.



Gráfica 2. Demora Intersección de estudio

Con las demoras presentadas se identifican los niveles de servicio, como se observa en la gráfica 3. Los grupos de carril 2, 3 y 5 presentan NS entre B y C, analizado con el HCM 2010 y 2000, Correspondientemente. Conociendo que un NS (B) identifica demoras entre 10 y 20 s/veh, y (C) entre 20 y 35 s/veh. Los giros tanto a la izquierda y derecha indican atasco, presentando demoras superiores a 80 s/veh, NS (F). Al aumentar la demora, también afecta la seguridad vial de la intersección. Wang, X., & Abdel-Aty, M., [6], y Larsen, L., & Kines, P., [7] identifican que los giros a la izquierda son causa de un alto porcentaje de accidentes en las intersecciones semaforizadas, siendo propensos a tener una gravedad elevada, debido a las velocidades que se manejan siendo relativamente altas y al ángulo de impacto.



Gráfica 3. Demora Intersección de estudio

## VI. Conclusiones

- Los cambios en el capítulo de intersecciones semaforizadas en la última versión del manual HCM 2010, con respecto al manual HCM 2000, indican una variación en la obtención de la tasa de flujo de saturación ( $S_o$ ), exactamente en los factores de ajuste por giro a la izquierda o derecha. Siendo los puntos que afectan los resultados en la capacidad y por consiguiente en el nivel de servicio de la intersección de estudio.
- Los giros a la izquierda incrementan los puntos de conflictos, al incrementarse las fases en una intersección semaforizada, afectando la movilidad de la misma y por consiguiente su capacidad, si se considera que se han alterado los factores de los giros a la izquierda y derecha con la última versión del manual, se obtiene una disminución en su capacidad y por lo tanto un aumento en la demora con respecto a la versión anterior.
- El HCM 2010 profundizó su estudio con respecto a los giros, siendo más explícitos y concretos, por lo cual los resultados serán más adecuados a las condiciones de tráfico actual para los nuevos diseños de las intersecciones semaforizadas.
- Las demoras que se presentan en la intersección son excesivas, en la realidad los vehículos no realizan los giros utilizando el carril compartido sino también hacen uso de los otros carriles de movimiento directo, lo que permite que aumenten las demoras, afectando la movilidad de la intersección en general, reduciendo la movilidad de los otros GC y por consiguiente la capacidad de la intersección.
- Aunque la variación del nivel de servicio en el caso de estudio entre las dos versiones de los manuales no presentan cambios notorios, en las demoras si indica que su variación es del 30%, afectando el análisis que se realizará para un nuevo rediseño. Por lo cual cabe de notar que es importante tener en cuenta el manual de diseño con el cual fue diseñada la intersección, y rediseñar teniendo las consideraciones antiguas e intervenir con el nuevo manual.
- La última versión del manual HCM presenta un mejor análisis de la intersección semaforizada, siendo más detallado y estudiado, por lo tanto identifica con más precisión la capacidad actual de la intersección estudiada.

## 7. Referencias

- [1] Hummer, J. E. (1998). Unconventional left-turn alternatives for urban and suburban arterials - part one. *ITE Journal (Institute of Transportation Engineers)*, 68(9), 26-29.
- [2] Manual de capacidad de carreteras. HIGWAY CAPACITY MANUAL 2010
- [3] Manual de capacidad de carreteras. HIGWAY CAPACITY MANUAL 2000 Department of transportation Federal Highway Administration
- [4] Daganzo, C. F. (2007). Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(1), 49-62.
- [5] Xuan, Y., Daganzo, C. F., & Cassidy, M. J. (2011). Increasing the capacity of signalized intersections with separate left turn phases. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(5), 769-781.
- [6] Wang, X., & Abdel-Aty, M. (2008). Modeling left-turn crash occurrence at signalized intersections by conflicting patterns. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 76-88.
- [7] Larsen, L., & Kines, P. (2002). Multidisciplinary in-depth investigations of head-on and left-turn road collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 367-380.