

## **I. INTRODUCCIÓN**

---

### **GENERALIDADES.**

Al crecer las ciudades, también se incrementa el uso del automóvil, aumentando los problemas de tránsito, principalmente en los puntos donde convergen dos caminos, que es la intersección. El problema suele solucionarse con un señalamiento adecuado; como son los semáforos, que permiten el paso sucesivo de los vehículos, en un intervalo de tiempo dado, para cada acceso.

Las primeras señales de tránsito del tipo semáforo fueron colocadas en Parliament Square, Londres, en 1868, con lámparas de gas rojo y verde, para el uso nocturno.

El primer semáforo en América apareció en Cleveland, Ohio, el 5 de Agosto 1914 y el primer semáforo con rojo, ámbar, y verde se usó en Nueva York, en 1918.

Algunos ejemplos de controles primitivos se muestran en las gráficas.

Las grandes ciudades, como Chicago, iniciaron sus problemas de tránsito de inmediato, en 1910. Noventa años después, en el año 2000, ciudades como Monterrey, N. L., donde se implantaron ideas de esta investigación, aun tienen problemas de tránsito que tratan de resolver como lo han hecho otras ciudades en el mundo.

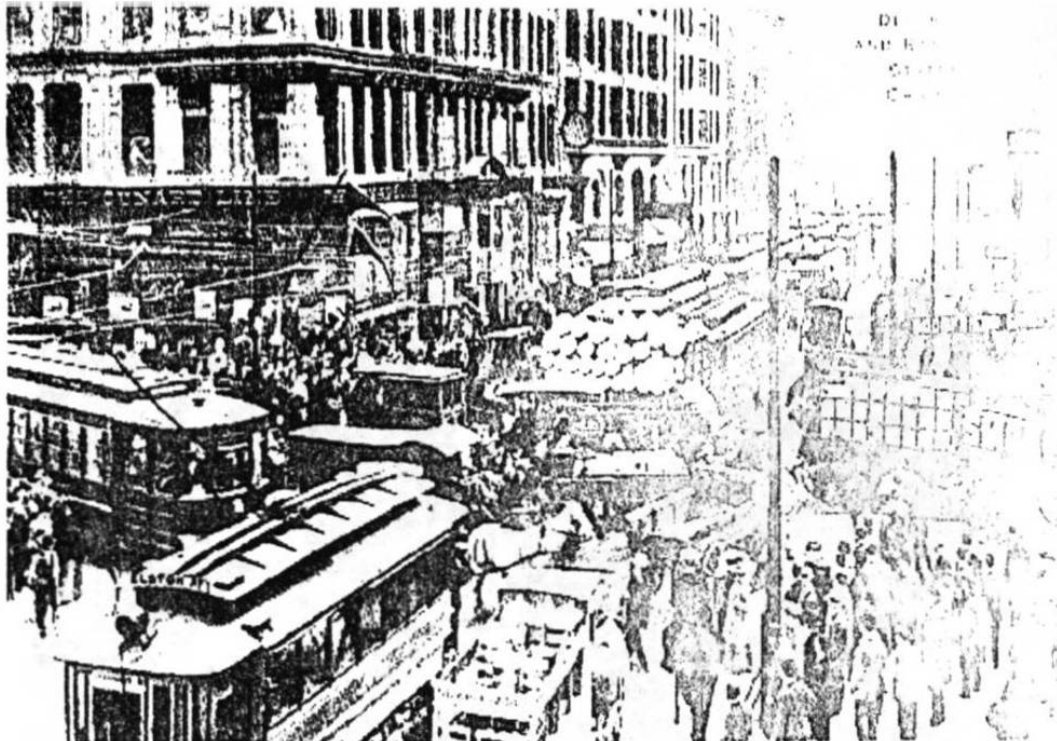
### **EN LOS SEMÁFOROS DE LUZ FIJA:**

**LA LUZ ROJA:** indica "alto". Se podrá realizar una vuelta a la derecha en luz roja, o se podrá realizar una vuelta a la izquierda, en luz roja, cuando se voltee de una calle de un solo sentido a otra de un solo sentido, con tránsito moviéndose hacia la izquierda. En ambos casos, el conductor debe hacer alto total y ceder el paso al tránsito opuesto y a los peatones.

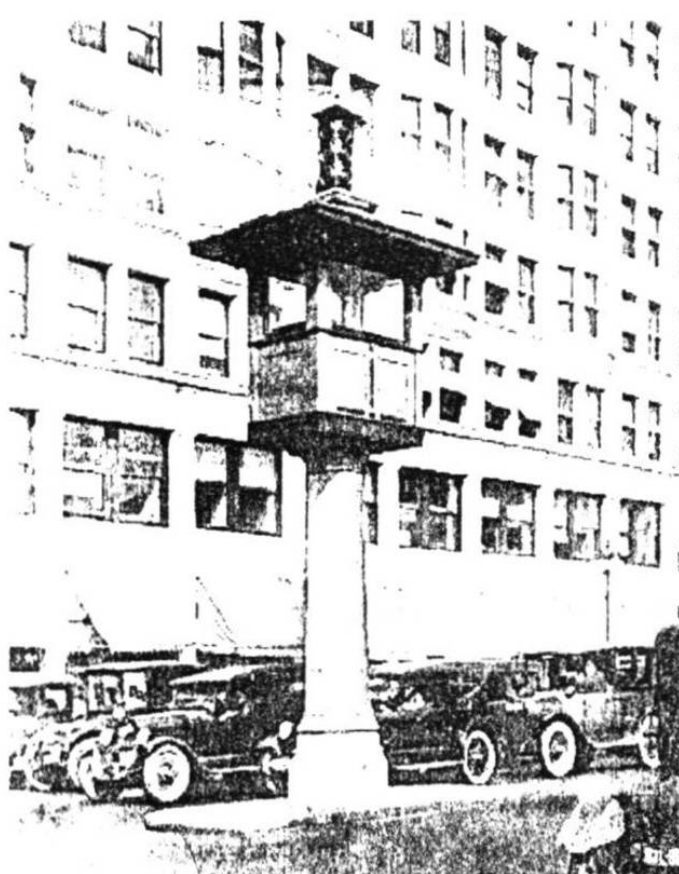
**LA LUZ AMARILLA:** indica "no entrar en la intersección".

**LA LUZ VERDE:** indica "siga, pero ceda el paso a cualquier peatón y/o vehículos en la intersección".

En intersecciones semaforizadas, el tratamiento común para mejorar la eficiencia de la vuelta izquierda es incrementar la capacidad de vuelta izquierda instalando bahías de vuelta izquierda o con fases separadas de vuelta izquierda. Sin embargo, en una cierta condición de tránsito y en configuración geométrica dada, no existen guías



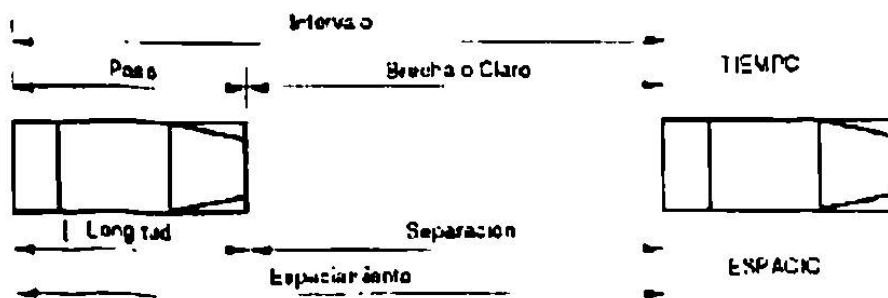
**Fig.1** Lo que sucede cuando no se tiene un control de tránsito; en 1910 la ciudad de Chicago tuvo sus problemas de tránsito en intersecciones como el que vemos aquí en el cruce de las calles Dearborn y Randolph.



**Fig.2** Los primeros semáforos estaban sobre una torre de control como ésta de 1923 en la intersección de las calles Michigan y Jackson en Chicago.



**Fig.3** El primer semáforo de control de tránsito en el mundo apareció en Cleveland, Ohio el 5 de Agosto de 1914 y el primer semáforo con luces roja, ámbar y verde se usó por primera vez en Nueva York en 1918. Este es un control de principios de los 20's.



**Fig.4** Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos.

universales para asegurar la necesidad de un tratamiento de vuelta izquierda. Estudiando la capacidad y eficiencia para los movimientos de vuelta izquierda en intersecciones semaforizadas se explorarán las posibilidades para permitir tratamientos de vuelta izquierda.

Diferentes medidas de efectividad se utilizan para evaluar la eficiencia de los movimientos de vuelta izquierda, en diversas condiciones de tránsito. Con un criterio de demoras, se identifican las condiciones críticas de los movimientos de vuelta izquierda.

Cuando el volumen de vuelta izquierda se aproxima a la capacidad, los conductores que voltean a la izquierda pueden incurrir en demora excesiva. Los controles del tránsito y las características geométricas para la vuelta izquierda deben diseñarse para evitar la operación cercana a la capacidad, durante gran parte si no en todo el periodo de tiempo. Si existe una demanda de vuelta izquierda alta debe implantarse algún tipo de tratamiento de vuelta izquierda, para asegurar una adecuada capacidad de vuelta izquierda. El conocimiento de la capacidad de vuelta izquierda es de extrema importancia, para determinar las estrategias de vuelta izquierda. El término **“Flujo de saturación de vuelta izquierda”**, se refiere al máximo número de vueltas izquierda que pueden realizarse, a través de un tránsito opuesto ininterrumpido, en una hora. La capacidad de vuelta izquierda no protegida depende primordialmente de comportamiento de aceptar brechas por parte del conductor, los tiempos del semáforo, las brechas entre el tránsito opuesto presentadas en la raya de parada, y la geometría de la intersección. La brecha opuesta máxima, en intersecciones semaforizadas, depende de la duración de la fase en verde.

Las maniobras de vuelta izquierda, a través de intersecciones a nivel, son frecuentemente reconocidas como elementos operacionales altamente problemáticos. Una fase protegida de vuelta izquierda es aquella porción del ciclo del semáforo en la cual las maniobras de vuelta izquierda están permitidas y cualquier maniobra conflictiva está prohibida. Una fase permitida de vuelta izquierda es aquella porción del ciclo del semáforo en la cual las vueltas izquierda están permitidas; pero sólo a través de brechas en la corriente del tránsito opuesto. Una fase de vuelta izquierda protegida, que ocurre antes de permitir el verde al tránsito opuesto se llama

fase adelantada, mientras que una que ocurre inmediatamente después de la luz verde, para el tránsito opuesto, se llama retrasada. El término **"vueltas izquierdas duales"** se utiliza para describir una fase de vuelta izquierda protegida, que ocurre simultáneamente en ambas ramas de la misma calle. Los efectos de la vuelta izquierda tienen que ver con:

La demora, Los accidentes y los conflictos de tránsito.

## **INTERSECCIONES.**

El sistema existente de calles y carreteras funciona con un conjunto de interrelaciones muy complejas. Las características de operación de este sistema son funcionalmente dependientes del número y tipos de usuarios que requieren el servicio. Esto es particularmente cierto en aquellos puntos donde se unen elementos del sistema, es decir, la intersección. Cuando los volúmenes de tránsito se incrementan o cambian su naturaleza, es usualmente la intersección que se resulta incapaz de servir la demanda agregada o alterada. Esto es muy frecuentemente ilustrado por un incremento en los congestionamientos y las demoras y un empeoramiento en la experiencia de accidentes. Que esto ocurra es lógico, ya que la intersección es un punto de conflicto concentrado, que generalmente funciona con menor capacidad y nivel de servicio que los segmentos de camino a los que sirve.

La intersección es un área crítica en el uso efectivo de calles y carreteras. Es el punto focal de conflictos y congestión, ya que es común a dos o más caminos. Al incrementarse la frecuencia y severidad de los conflictos de la intersección, la regulación y el control se vuelven más necesarios.

Algunas intersecciones requieren controles para designar el derecho de paso, disminuir velocidades en accesos, restringir vueltas, designar usos de carriles, y canalizar el tráfico vehicular y peatonal.

Se emplea un control de intersección apropiado para lograr los siguientes objetivos:

- 1.- Incrementar la capacidad de la intersección.
- 2.- Reducir y prevenir accidentes.
- 3.- Crear y proteger las calles principales.

### **Incrementar la capacidad de la intersección.**

Debido a que los conflictos de movimientos ocurren en la intersección, la capacidad de la intersección es normalmente menor que la de los accesos. La aplicación de controles en la intersección puede ayudar a incrementar la capacidad de la misma, como puede ser la colocación de una señal de vuelta izquierda, con precaución en rojo.

### **Reducción y prevención de accidentes.**

Los movimientos de cruce, convergencia, divergencia dentro de la corriente de tránsito, incrementan significativamente los peligros de accidentes. Más de un tercio de todos los accidentes y fatalidades de tránsito ocurren en las intersecciones, en áreas urbanas.

### **Creación y protección de calles principales.**

Los controles de intersección proveen para un movimiento continuo, a lo largo de las calles principales a mayores velocidades y una seguridad incrementada.

Una intersección es el área donde dos o más caminos se unen o cruzan, e incluye el camino y la infraestructura contigua, para el movimiento de tránsito en esa área. La función operacional primordial de la intersección es proveer los cambios en la dirección de recorrido. De su diseño dependen la eficiencia, la seguridad, el costo de operación y la capacidad.

### **Definiciones.**

**Calle principal:** En una intersección, el acceso o los accesos del camino que normalmente llevan el mayor volumen de tránsito vehicular.

**Calle secundaria:** El acceso o accesos del camino que normalmente llevan el menor volumen de tránsito vehicular.

### **Tipos de intersección.**

Existen dos clases de intersecciones: a nivel y a desnivel, dependiendo de la manera en que se maneje el tráfico que cruce. En intersecciones a nivel se debe proveer para vueltas y movimientos de cruce anticipados. Los tipos básicos de intersecciones a nivel son las de tipo "T" o "Y" (de tres ramas), de cuatro ramas, y las rotondas.

### **Tipos de solución:**

La solución a un problema de tránsito consiste en hacer el tránsito más seguro y eficiente. Hay tres tipos de solución que se pueden dar a un problema de tránsito:

- 1.- Una solución integral.
- 2.- Una solución parcial de alto costo.
- 3.- Una solución parcial de bajo costo.

La solución que se pretende con esta investigación es una solución parcial de bajo costo, que consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y la máxima regulación funcional del tránsito, a través de una técnica depurada, y requiere disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito y las medidas necesarias de educación vial. Aquí se propone un proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos, para permitir la vuelta izquierda, con precaución, en luz roja.

### **BASES PARA UNA SOLUCIÓN**

En determinado tipo de solución, deberán existir tres bases en que se apoye la misma. Son los tres elementos que, trabajando simultáneamente, van a dar lo que se requiere: un tránsito seguro y eficiente.

Estos tres elementos son:

- 1.- La ingeniería de tránsito.
- 2.- La educación vial.
- 3.- La legislación y vigilancia policiaca.

Estudios indispensables para conocer las características del tránsito.

- 1.- El usuario del camino.
- 2.- El vehículo.
- 3.- La velocidad, el tiempo de recorrido, y la demora.
- 4.- El volumen del tráfico.
- 5.- La capacidad de la intersección.
- 6.- Los posibles accidentes.

## **II. OBJETIVOS**

---

Con la realización de esta tesis, que pretende analizar la posibilidad de efectuar la vuelta izquierda con precaución en rojo, en intersecciones semaforizadas en T, se desea alcanzar los siguientes objetivos:

- 1.- Incrementar la capacidad de las intersecciones semaforizadas, en T.
- 2.- Reducir y prevenir accidentes.
- 3.- Proteger al conductor y al peatón en las calles principales.
- 4.- Reducir las demoras de vuelta izquierda y en la intersección.
- 5.- Agilizar los movimientos de los vehiculos en las intersecciones.
- 6.- Aumentar el tiempo de "movimiento" de los vehículos.
- 7.- Permitir el movimiento en luz roja, en los lugares donde sea factible.
- 8.- Crear conciencia, en el conductor, de conducir con precaución.
- 9.- Mejorar el nivel de servicio de las calles.
- 10.- Legislar un movimiento que de hecho se da en muchos lugares en forma ilegal.
- 11.- Tratar de uniformizar la señalización de movimientos similares.
- 12.- Disminuir o eliminar los tiempos muertos o perdidos durante un ciclo.
- 13.- Hacer más eficientes los movimientos, optimizando los ciclos del semáforo.



### **III. HIPÓTESIS**

---

La vuelta derecha en rojo se permite en México, Estados Unidos y otros lugares del mundo, después de hacer alto total, durante una indicación en rojo y después de ceder el paso a los peatones y al tráfico de cruce, al menos que haya señalamiento que prohíba esta maniobra. Con ello se incrementa la capacidad y se reduce la demora; sin embargo, existe alguna preocupación por el incremento de posibles accidentes. La vuelta izquierda en rojo, en intersecciones, ambas de un solo sentido, está también permitida en muchos lugares, después de que el vehículo haya hecho alto total. Con base en esto se estudiarán los supuestos de realizar la vuelta izquierda en intersecciones en T, en ciertas condiciones especiales y con algunas características particulares que se estudiarán o investigarán como justificantes. Así se incrementará el tiempo de verde, (que es cuando efectivamente esta en movimiento el vehículo) con parte del tiempo en rojo. Se analizará hasta con qué volumen de tránsito es posible permitir esta opción, sin perjudicar la capacidad y la seguridad de la intersección. Las Hipótesis por analizar son las que a continuación se describen:

## **HIPOTESIS**

### **I**

Si se permite a un porcentaje de vehículos pasar en luz roja, al voltear a la izquierda, se incrementará la capacidad de el cruce y el nivel de servicio mejorará notablemente; además, si no se mejora por lo menos la demora si disminuye, lo cual justificaría la colocación de una señal que permita la vuelta izquierda en rojo, que es el objetivo de esta tesis.

### **II**

Entre más vehículos opuestos existan en la calle secundaria, menos vehículos podrían voltear a la izquierda en luz roja. Al contrario, entre menos vehículos opuestos circulen, en la calle secundaria, más vehículos voltearán a la izquierda durante la luz roja, de la calle principal.

### **III**

Si se permite la vuelta izquierda con precaución en luz roja, se incrementará la capacidad de tránsito en la intersección.

### **IV**

Es posible mejorar el nivel de servicio en el cruce, si se permite la vuelta izquierda con precaución en rojo.

### **V**

Es posible reducir la demora en cruzar la intersección para los automovilistas.

## **VI**

Si se licita la vuelta izquierda con precaución en rojo, no se incrementa el número de accidentes porque donde ilegalmente se da este movimiento "pueden" existir más accidentes que donde se permita la vuelta mediante una señal; es decir, que no existirá un número de accidentes significativo, que no permitan justificar positivamente este tipo de solución.

## **VII**

Es posible reducir el número de ciclos en que ningún vehículo se vaya durante la luz roja, a que tienda o sea cero.

#### **IV. DEFINICIONES**

---

##### **DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

**\*Acceso:** Un conjunto de carriles que acomodan todos los movimientos de vueltas izquierdas, de frente, y derechas que llegan a una intersección, desde una dirección dada.

**\*Análisis operacional:** Uso del análisis de capacidad, para determinar el nivel de servicio prevaleciente sobre una infraestructura existente o proyectada, en condiciones conocidas de: control, camino y tránsito.

**\*Brecha crítica:** El intervalo de tiempo medio entre los vehículos, en la corriente de tránsito principal, que permitirá a los vehículos de la calle lateral a un acceso controlado por señales de "ALTO" o "CEDA EL PASO", para cruzar a través de, o converger con la corriente de tráfico principal, en condiciones prevalecientes de tráfico y camino.

**\*Capacidad:** La máxima relación de flujo en la que personas o vehículos pueden razonablemente ser esperados al cruzar por un punto o segmento uniforme de un carril o camino, durante un periodo de tiempo especificado, en condiciones prevalecientes de camino, tránsito y controles; usualmente expresada como vehículos por hora o personas por hora.

**\*Ciclo:** Cualquier secuencia completa de indicaciones de semáforo, el tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa. En otras palabras, es el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.

**\*Condiciones del camino:** Características geométricas de una calle o carretera, que incluyen el tipo de infraestructura, el número y ancho de los carriles (por dirección),

los anchos de los acotamientos y los espacios laterales, la velocidad de diseño y los alineamientos vertical y horizontal.

**\*Condiciones de control:** Condiciones prevalecientes que conciernen a los controles de tránsito y normas en efecto, para un segmento dado de calle o carretera, incluyendo el tipo, las fases, y el tiempo de semáforo, las señales de ALTO y CEDA EL PASO, el uso de carriles y controles de vuelta, y otras medidas similares.

**\*Condiciones Ideales:** Características para un tipo de infraestructura dada que se asumen como las mejores posibles, desde el punto de vista de la capacidad, las características que si se pudieran mejorar no resultarían en un incremento de la capacidad.

**\*Condiciones de tránsito:** la distribución de tipos de vehículos en la corriente de tránsito, la distribución direccional del tránsito, la distribución por uso de carril del tráfico, y el tipo de población conductora sobre una infraestructura dada.

**\*Control prefijado:** Control de señal de tránsito, en el cual, la longitud del ciclo, el plan de fase, y los tiempos de fase son prefijados y se repiten continuamente, de acuerdo con un plan preestablecido.

**\*Control totalmente actuado:** Control de semáforo de una intersección en la que la ocurrencia y longitud de cada fase es controlada por actuaciones de detectores de vehículos, colocados en cada acceso de la intersección.

**\*Demora:** Tiempo de recorrido adicional, experimentado por el conductor, el pasajero, o el peatón, mas allá de lo que razonablemente sería deseado para un viaje dado.

**\*Demora promedio por acceso:** Demora promedio de tiempo perdido en una intersección semaforizada, más el tiempo perdido promedio debido a la deceleración

y aceleración por detenimiento; generalmente estimado en 1.3 veces el promedio de la demora por tiempo perdido.

**\*Demora promedio por tiempo de parada:** El tiempo total que los vehículos están parados en el acceso de una intersección o grupo de carril, durante un tiempo especificado, dividido por el volumen que sale de la intersección o grupo de carril durante el mismo periodo de tiempo; en vehículos por segundo.

**\*Factor de ajuste:** Un factor multiplicativo que ajusta la capacidad o razón de flujo de servicio que representa una condición ideal con otro que representa una condición prevaleciente.

**\*Factor de hora máxima:** El volumen horario durante la hora de máximo volumen del día dividida entre la relación de flujo pico, en 15 minutos, dentro de la hora de máximo movimiento vehicular; es una medida de la fluctuación de la demanda de tránsito dentro de la hora de mayor tránsito.

**\*Fase:** Parte del ciclo de semáforo asignado a una combinación de movimientos de tránsito que otorgan el derecho de paso simultáneamente durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos. Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares o peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto, con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la luz ámbar.

**\*Fase de vuelta izquierda no protegida:** Ocurre cuando una fase exclusiva no se provee para los vehículos que voltean. Las vueltas se permite que ocurran, a través de brechas, en el tránsito opuesto. Carriles separados se pueden o no proveer.

**\*Fase de vuelta izquierda solo protegida:** Cuando un intervalo separado se provee para acomodar una vuelta izquierda, sin crear conflicto con el tránsito. Las vueltas izquierdas están prohibidas durante el resto del ciclo.

**\*Fase de vuelta izquierda protegida/permitida:** Cuando se provee una fase protegida, a través de una flecha, durante un intervalo y en otro se permite la vuelta desprotegida en luz verde a través de brechas en el tránsito opuesto.

**\*Flujo interrumpido:** Una categoría de las infraestructuras de tránsito controlado con semáforos, señales de ALTO o CEDA EL PASO, u otras causas fijas de demora periódica o interrupción de la corriente de tránsito.

**\*Grupo de carril:** Un conjunto de carriles en un acceso de intersección, que ha sido establecido para analizar la capacidad y el nivel de servicio, por separado.

**\*Indicación de señal:** es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.

**\*Intervalo:** Un periodo de tiempo en un ciclo de semáforo, durante el cual todas las indicaciones del semáforo permanecen constantes.

**\*Intervalo de despeje:** El intervalo "amarillo" más "todo rojo", que ocurren entre fases de un semáforo, para proveer el despeje de la intersección, antes de que aparezcan movimientos conflictivos.

**\*Intervalo "todo rojo":** tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Se utiliza en fases exclusivas para peatones.

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

- \*Longitud de ciclo:** El tiempo total que utiliza un semáforo para completar un ciclo.
- \*Medidas de efectividad:** Parámetros que describen la calidad del servicio provista por una infraestructura de tránsito para los conductores, pasajeros, o peatones; por ejemplo: la velocidad, la densidad, la demora, y otras medidas similares.
- \*Movimiento:** maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso, que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila, para ello.
- \*Nivel de servicio:** Una medida cualitativa, que describe las condiciones operacionales dentro de la corriente de tránsito; generalmente es descrito en términos de factores, tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones del tránsito, el confort y la conveniencia y seguridad.
- \*Peatón:** Un individuo que viaja caminando.
- \*Pelotón:** Un grupo de vehículos o peatones, que viajan juntos, como un grupo; ya sea voluntariamente o involuntariamente, debido a las señales de control, geometría, u otros factores.
- \*Razón de flujo de saturación:** La razón horaria equivalente, en la cual los vehículos pueden cruzar un acceso de intersección, en condiciones prevalecientes; suponiendo que el semáforo en verde estuviera disponible en todo momento, y no existieran tiempos perdidos, en vehículos por hora de luz verde o vehículos por hora de verde, por carril.
- \*Razón de flujo de servicio:** Es la razón horaria máxima, en la cual las personas o vehículos se pueden esperar razonablemente a cruzar un punto o sección uniforme de un carril o camino, durante un periodo de tiempo dado (usualmente 15 minutos) en condiciones prevalecientes de camino, tráfico y controles, mientras se mantiene



un nivel de servicio designado, expresado en vehículos por hora o vehículos, por hora, por carril.

**\*Relación de flujo:** La relación de razón de flujo real a la razón de flujo de saturación, para un grupo de carril, dado en una intersección semaforizada.

**\*Relación de flujo de servicio máximo:** La relación de flujo más alta en 15 minutos que puede ser acomodada sobre una infraestructura de camino dada, en condiciones ideales, mientras se mantiene las características de operación para un nivel de servicio dado, expresado en vehículos ligeros por hora por carril.

**\*Relación v/c crítica:** La proporción de capacidad en la intersección disponible, utilizada por los vehículos en los grupos de carril críticos.

**\*Relación de luz en verde:** la relación del tiempo de verde efectivo, para un movimiento dado, en una intersección semaforizada, a la longitud del ciclo.

**\*Reparto:** porcentaje de la longitud del ciclo, asignado a cada una de las diversas fases.

**\*Secuencia de fases:** orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.

**\*Tiempo perdido:** Tiempo durante el cual la intersección no es efectivamente utilizada por ningún movimiento, el tiempo perdido de despeje más el tiempo perdido de inicio.

**\*Tiempo de rojo efectivo:** El tiempo durante el cual un movimiento dado de tráfico o conjunto de movimientos debe detenerse; longitud de ciclo menos el tiempo efectivo de verde.

**\*Tiempo de luz verde:** La longitud real de indicación de "verde", para un movimiento dado, en una intersección con semáforo.

**\*Tiempo de luz verde efectiva:** El tiempo asignado a un movimiento de tránsito dado (verde más amarillo) en una intersección semaforizada, menos los tiempos perdidos por inicio y despeje para el movimiento.

**\*Vehículo pesado:** Cualquier vehículo con mas de cuatro ruedas sobre el pavimento, durante una operación normal.

**\*Volumen:** El número de personas o vehículos que transitan por un punto, sobre un carril, camino, u otro pasaje de tráfico, durante algún intervalo de tiempo, a menudo una hora, expresado en vehículos.

**\*Vueltas permitidas:** Vueltas izquierda o derecha en intersecciones semaforizadas que se hacen en contra de un flujo de peatones o vehículos conflictivos, opuestos.

**\*Vueltas protegidas:** Vueltas izquierda o derecha en intersecciones, con semáforo, realizadas sin oposición o conflicto de flujo de vehículos o peatones.

## **V. DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO**

### **GENERALIDADES**

Durante los últimos 40 años, el acelerado desarrollo del sistema vial de nuestro país y el uso creciente del autotransporte se ha traducido en un constante incremento de los viajes; al grado que los usuarios de los caminos han venido a depender cada día más de la existencia de dispositivos de control del tránsito, para su protección e información.

Tan grande es esta dependencia, que es ya indispensable el uso de dispositivos uniformes para obtener el máximo rendimiento de cualquier camino. Desde 1929 se viene discutiendo la necesidad de uniformizar los dispositivos del control del tránsito, en el continente y en el mundo.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL.**

Se denominan dispositivos para el control del tránsito, a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloque sobre o adyacente a las calles y carreteras, por una autoridad pública; para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle.

### **SEÑALAMIENTO DE TRÁNSITO**

Un señalamiento de tránsito es un dispositivo montado sobre un soporte fijo o portátil, para transmitir un mensaje específico, a través de palabras o símbolos, oficialmente colocado para el propósito de regular, advertir o guiar al tráfico.

El señalamiento de tránsito es el dispositivo de control de tránsito más comúnmente utilizado, y es el dispositivo más antiguo para controlar, salvaguardar, o expedir el tráfico. Los señalamientos no son ordinariamente necesarios para confirmar las reglas básicas del camino, pero son esenciales donde se aplican regulaciones especiales, en lugares específicos o solamente en tiempos específicos, donde los peligros no son evidentes por sí solos, y para proporcionar información. Muchos accidentes ocurren porque el conductor confronta repentinamente lo inesperado. Así

pues, él debe ser advertido, lo más anteriormente posible, de que si existen condiciones de tránsito anormales adelante.

Si el conductor está informado apropiadamente, antes de entrar en la intersección, esta confusión se puede minimizar o eliminar.

Los señalamientos sólo deben usarse donde se requieran y se justifiquen por la aplicación de los principios de ingeniería y estudios de factibilidad. Se debe usar un número adecuado de señalamientos, para informar apropiadamente al usuario.

Después de colocar un señalamiento, deben observarse sus efectos sobre el tránsito y realizarse los cambios necesarios, si es que no se obtienen los resultados deseados.

### **Diseño de Señalamientos.**

La uniformidad en el diseño incluye: forma, color, dimensiones, símbolos, palabras, escritura, e iluminación o reflectorización.

#### **Forma de la señal.**

Rectangular (dimensión larga vertical) para todas las señales restrictivas excepto el ALTO y CEDA EL PASO.

#### **Color de la señal.**

Fondo blanco para señales restrictivas, con leyendas en negro y rojo.

#### **Dimensiones de la señal.**

El tamaño de la señal dependerá de la longitud del mensaje y el espaciamiento entre letras que forman el mensaje, o por el tamaño requerido del símbolo. La leyenda completa debe ser adecuadamente legible.

#### **Símbolos de la señal.**

Los símbolos son reconocidos instantáneamente y mejores que los mensajes escritos.

## **Mensajes con palabras.**

Muchos mensajes, sobre todo los restrictivos, no mandan el mensaje solo a través del símbolo. Los mensajes con palabras deben ser lo más cortos posible, y las letras lo más grandes posible, para proveer la necesaria distancia de legibilidad y mantener al mínimo las abreviaciones.

Se han tomado en cuenta los siguientes requisitos para establecer las restricciones de vueltas:

- 1.- Cuando el volumen de vuelta izquierda exceda el 20 % del volumen total del acceso.
- 2.- Cuando el volumen de vuelta izquierda constituya el 10 % del total del movimiento en una calle dada.
- 3.- Donde los movimientos de vuelta izquierda interfieran con los movimientos de frente de 15000 vehículos por día, sin importar el número de carriles y en intersecciones de cuatro accesos.
- 4.- Donde el movimiento de vuelta izquierda o derecha interfiera con peatones en volúmenes que excedan 2000 personas por hora.
- 5.- Cuando 600 vehículos entren en conflicto con 1000 o más peatones por hora.
- 6.- Cuando los vehículos que voltean promedien 7 por intervalo de luz en verde, para varios cambios de semáforo sucesivos.
- 7.- Donde hubiesen ocurrido en un año más de tres accidentes, en intersecciones que involucren vehículos que voltean.
- 8.- Cuando el número de carriles disponibles en la intersección acomoden solamente un solo movimiento en cada dirección, y haya una demanda apreciable de vueltas izquierda.

Para que una señal sea efectiva debe:

- Atraer la atención del conductor.
- Ser legible y proveer suficiente distancia de legibilidad, para que el conductor lea la señal.
- Causar un mínimo de molestia visual.

- Ser efectivo, en una variedad de condiciones de iluminación.

La distancia de legibilidad es la distancia desde la cual un conductor con agudeza visual normal es capaz de leer una señal. Las leyendas de señalamiento deben ser lo suficientemente grandes como para que un conductor tenga el tiempo suficiente para leer el mensaje y responder con seguridad.

En las vueltas izquierdas se utiliza el criterio de demoras y accidentes. Varios estudios han mostrado que algunos señalamientos de sólo protegido son más entendibles que otros señalamientos permisibles y que el usuario prefiere la vuelta izquierda adelantada a la retrasada. Cuando los usuarios van a dar vuelta izquierda, en una intersección semaforizada, deben primero decidir si la vuelta izquierda está permitida durante el intervalo de fase actual, y si así es, si es protegida o permitida. Los conductores se pueden confundir por la indicación que signifique prohibición, aunque pueden interpretarlo como que pueden proceder al movimiento de vuelta izquierda con precaución para efectuar una vuelta permitida. Esta implantación de señal debe ser acompañada por un programa de educación vial.

La señal propuesta y cualquier dispositivo para el control del tránsito exige la concurrencia de cinco requisitos fundamentales que son:

- 1-. Satisfacer una necesidad importante.
- 2-. Llamar la atención.
- 3-. Transmitir un mensaje claro.
- 4-. Imponer respeto a los usuarios del camino.
- 5-. Estar en el lugar apropiado a fin de darle tiempo al conductor para reaccionar.

Existen cuatro consideraciones básicas para asegurarse de que tales requisitos se han cumplido. Estas son: Proyecto, Ubicación, Uniformidad y Conservación.

El **PROYECTO** de los dispositivos para el control del tránsito debe asegurar que algunas características tales como tamaño, contraste, colores, forma, composición, iluminación o efecto reflejante donde sea necesario, se combinen para llamar la atención del conductor. Que la forma, el tamaño, los colores y la simplicidad del mensaje se combinen para proporcionar un significado comprensible. Que la

legibilidad y el tamaño se combinen con la ubicación a fin de darle al conductor tiempo suficiente para reaccionar. Y que la uniformidad, la racionalidad, el tamaño y la legibilidad impongan respeto.

La **UBICACIÓN** de la señal deberá estar dentro del cono visual del conductor del vehículo (10 a 12 grados), (ya que la visión después de este cono se vuelve borrosa), para provocar su atención y facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad a la que vaya el vehículo.

La **UNIFORMIDAD** en el señalamiento de los caminos y calles, ayuda en las reacciones de los usuarios, al encontrar igual interpretación de los problemas del tránsito a lo largo de la ruta. Esto facilita la resolución de los problemas de señalamiento y economiza en la construcción y colocación de señales. Se ganará en la presentación de situaciones simplificadas, que faciliten al usuario su viaje. Se recomienda que la decisión final sobre un proyecto de señalamiento tome en cuenta un estudio de ingeniería de tránsito y la necesidad de que la solución a determinado planteamiento, sea semejante en cualquier lugar del país. Además, debe tenerse cuidado de **NO USAR UN NÚMERO EXCESIVO DE SEÑALES**; sobre todo preventivas y restrictivas, limitándose siempre a las estrictamente necesarias.

Los beneficios de la uniformidad son:

- 1.- Auxiliar en reconocimiento instantáneo e intención.
- 2.- Incremento en la seguridad.
- 3.- Auxiliar al usuario en área poco familiares.
- 4.- Auxiliar en las operaciones de tránsito.
- 5.- Evitar confusión.
- 6.- Ganarse el apoyo del público.
- 7.- Evitar todo despilfarro.
- 8.- Eliminar las preguntas que surjan por interpretaciones dudosas.
- 9.- Ayudar a evitar culpabilidad del gobierno por daños.
- 10.- Proveer guías.
- 11.- Promover el control local.

## Conocimiento del público.

Muchos conductores tal vez tienen conocimiento limitado de la intención de la ingeniería de tránsito en muchas de las señales y marcas de tráfico.

Los programas de educación de conductores deben incluir cantidades sustanciales de información sobre los dispositivos de control de tránsito, y la certificación de instructores de educación de conductores debe incluir al menos un curso básico de ingeniería de tránsito.

Se debe distribuir algún tipo de folleto en los departamentos donde se entregan licencias de manejo, al conductor con los conceptos básicos de diseño, colocación e intención de los dispositivos de control de tránsito. También conocer las principales disposiciones del reglamento de tránsito vigente.

Se ha de promover la investigación en el área de los dispositivos del control del tránsito y su mejor entendimiento.

## Uniformidad internacional.

Se han discutido las posibilidades de desarrollar un sistema uniforme de dispositivos de control de tránsito que sean entendidos sin importar donde se maneje; aunque el primer obstáculo para lograr esto es el tener que reponer el señalamiento existente y la costumbre del usuario a los dispositivos ya existentes. Para lograr un avance, sin embargo, es necesario hacer más énfasis en el mensaje simbólico y no en el mensaje escrito, para eliminar las dificultades presentadas por el multilingüismo.

Debe darse mayor uso a las formas gráficas y a los colores, para complementar la simbología.

Por lo que respecta a la **CONSERVACIÓN**, ésta deberá ser física y funcional; esto es, que no sólo se deberá procurar la limpieza y legibilidad de las señales, sino que éstas deberán colocarse o quitarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.

## Tipos de dispositivos de restricción de vueltas.

### Señales restrictivas.

Estas señales se colocan cerca de la esquina izquierda o derecha de la intersección. El señalamiento indicará que la vuelta sí está permitida. El

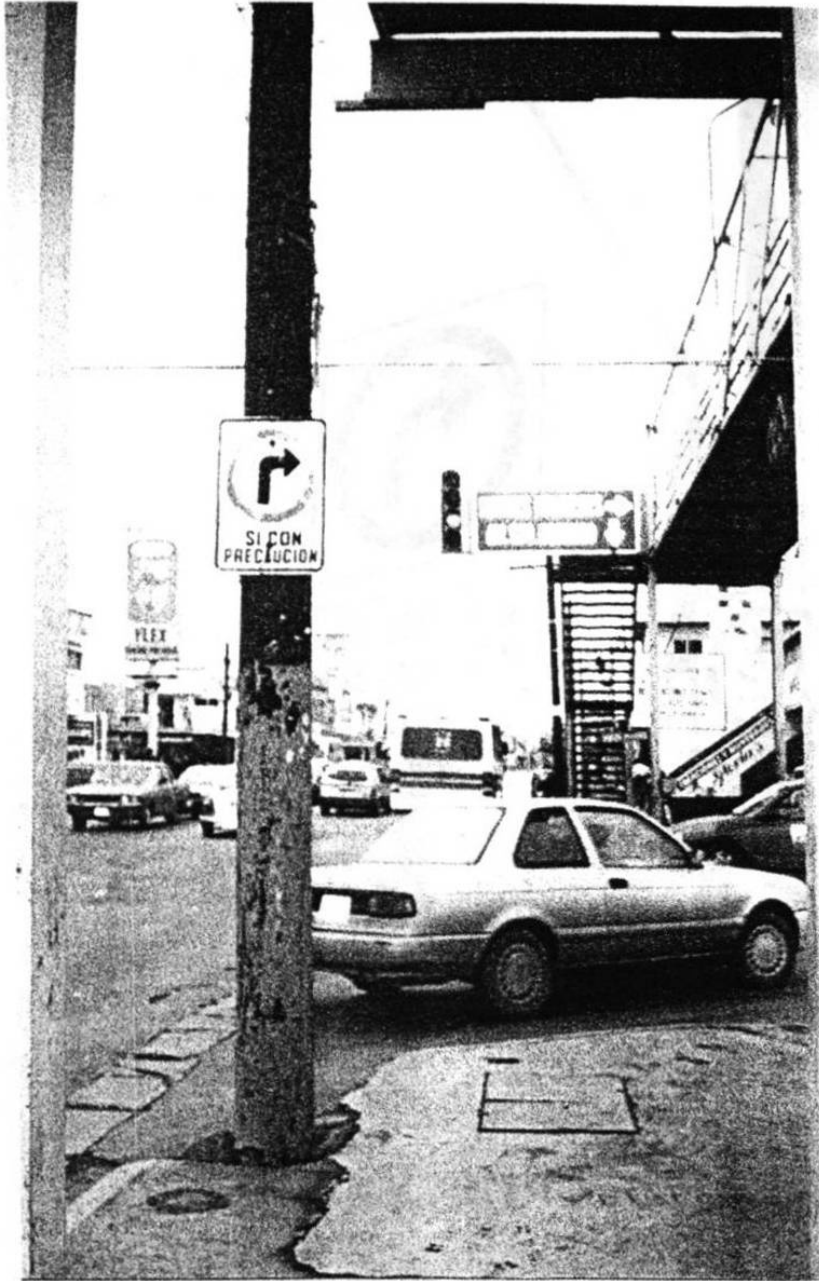




***Fig.5 Otra presentación de señal para permitir la vuelta derecha en rojo en Av. Lic. Raúl Salinas Lozano y Av. Lic. Raúl Caballero.***



*Fig. 6 Otra presentación de una señal que permite la vuelta derecha en rojo en el cruce de la Av. Sendero Divisorio y Av. Lic. Raúl Salinas Lozano*



***Fig. 7 Señalamiento permitiendo la vuelta derecha en rojo, en el cruce de Av. Santo Domingo y Av. Montes Berneses***



***Fig. 8 Otra presentación de señalamiento para poder voltear a la derecha en rojo en la intersección de José Ángel Conchello y Av. Ruiz Cortines***

señalamiento aéreo, arriba y cerca del semáforo que está sobre el poste del tipo látigo, provee una mayor visibilidad y respuesta efectiva; aunque estos son complementarios de los que se coloquen en las esquinas.

**Marcas en el pavimento.**

Pueden utilizarse para complementar las demás señales que se coloquen. Esta señal puede ayudar bastante al conductor para que sepa con suficiente tiempo, antes de llegar a la intersección, que el carril que utiliza es un carril compartido de frente y vuelta izquierda y para que pueda tomar la decisión de cambiar de carril si así lo desea.

Se pueden aplicar marcas en el pavimento; marcas con palabras y flechas, para controlar el uso de carriles.

**Factores que determinan cuando colocar una bahía de vuelta izquierda para separar el flujo:**

- 1.- Accidentes.
- 2.- Volúmenes de tránsito de vuelta izquierda y el tránsito que se opone.
- 3.- Demoras.
- 4.- Acomodo físico de la intersección.
- 5.- Costo de construcción.

## **SEÑALES RESTRICTIVAS “SR”**

### **DEFINICIÓN:**

Las señales restrictivas son tableros fijados en postes, con símbolos y/o leyendas que tienen por objeto indicar al usuario, tanto en zona rural como urbana, la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan al tránsito.

### **Tablero de señales**

El tablero de las señales restrictivas será de forma cuadrada, con las esquinas redondeadas, excepto las de “ALTO” y “CEDA EL PASO”. Tanto los tableros como

los soportes deberán llenar condiciones necesarias de resistencia, durabilidad y presentación.

El color del fondo de las señales restrictivas será *blanco* en acabado reflejante o mate. El anillo y franja diagonal en *rojo*, y el símbolo, letras y filete en *negro*, excepto las señales de ALTO y CEDA EL PASO que serán diferentes. La ubicación longitudinal de la señal será en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición o permisión. Las señales se fijaran en postes colocados sobre la banqueta, a distancias y alturas que se especifican.

### **Tablero adicional**

Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo, llevarán un tablero adicional de forma rectangular con las esquinas redondeadas, para formar un conjunto.

**Posibles señales existentes con alguna modificación en el símbolo además de indicación extra en tablero adicional:**

### **SR-10 VUELTA CONTINUA DERECHA**

Se utilizará en las intersecciones controladas por semáforos o por agentes, en las cuales está permitida la vuelta derecha en forma continua, aunque para el tránsito que siga de frente se indique señal de ALTO.

Debe limitarse el uso de esta señal para cuando pueda garantizarse que el paso de peatones tenga prioridad y éste sea respetado por los conductores de vehículos.

El símbolo llevará un tablero adicional con la leyenda "CONTINUA", para formar un conjunto.

### **SR-12 SÓLO VUELTA IZQUIERDA**

Se usará en ciertas intersecciones, para indicar que uno o más carriles deberán usarse exclusivamente para vuelta izquierda y no deberán ser ocupados por vehículos que sigan de frente. Esta señal deberá complementarse con marcas en el pavimento. El símbolo llevará un tablero adicional con la leyenda "SOLO IZQ.", para formar un conjunto.

## **SR-24 PROHIBIDA LA VUELTA A LA IZQUIERDA**

Se utilizará en aquellos lugares donde no se permite la vuelta a la izquierda, ya sea por tratarse de una circulación en sentido contrario o, en casos específicos, para no interferir con los movimientos importantes, inclusive el de los peatones. También podrá haber un tablero adicional en donde se indique la característica de la restricción.

### **Efectividad de las señales de tránsito.**

Se debe establecer un mantenimiento rutinario de la señal, para evitar que se deteriore en exceso. Un análisis de accidentes también determina la efectividad de una señal. También por observación directa del lugar, viendo los hábitos de los conductores y peatones. Esta observación se puede realizar antes y después de colocar la señal propuesta.

## **INTERSECCIONES CON SEMÁFORO**

Los semáforos proveen un tipo complejo de operación para el flujo de tránsito. Los semáforos asignan el tiempo de verde entre movimientos en conflicto. Esta asignación del tiempo depende del tiempo y las fases del semáforo y crea la necesidad de detener cada movimiento en conflicto con regularidad y luego permitirle fluir de nuevo. Esta operación de pare y siga crea no sólo tiempos perdidos sino también la necesidad de cambios de intervalos, entre las fases del semáforo.

## **SEMÁFOROS**

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos que tienen como función ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces, universalmente aceptadas, de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control.

### **VENTAJAS DE LOS SEMÁFOROS:**

- Ordenan la circulación del tránsito y mediante una asignación apropiada del derecho al uso de la intersección, optimizan la capacidad de las calles.
- Reducen la frecuencia de cierto tipo de accidentes.

## **DESVENTAJAS**

- **Se incurre en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.**
- **Causan demoras injustificadas a cierto número de usuarios, especialmente tratándose de volúmenes de tránsito pequeños, al causar retardos molestos por excesiva duración de luz roja o del tiempo total del ciclo.**

## **SEMÁFOROS DE TIEMPO FIJO**

**Los semáforos de tiempo fijo se utilizan en intersecciones donde los patrones de tránsito son relativamente estables, o en las que las variaciones de intensidad de la circulación se pueden adaptar a un programa previsto, sin ocasionar demoras o congestionamientos excesivos.**

**Sus principales ventajas son:**

- **Facilitan la coordinación con semáforos adyacentes, con más precisión que en el caso de semáforos accionados por el tránsito.**
- **No dependen de los detectores, por lo que no afectan desfavorablemente cuando se impide la circulación normal de vehículos por detectores.**
- **En general, el costo del equipo de tiempo fijo es menor que el del equipo accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla.**

## **SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO**

**La característica principal de la operación de semáforos accionados por el tránsito es que la duración de los ciclos responden, a las variaciones en la demanda de tránsito vehicular. Dicha demanda es registrada por aparatos detectores conectados al control del semáforo que se ajusta continuamente. Si se usan los detectores solamente en algunos de los accesos de la intersección, se llama "semiaccionado" al tipo de control. Si se usa en todos los accesos, se llama "totalmente accionado".**



### **Fases especiales de semáforo para controles de vueltas.**

Estos son la luz verde "adelantada" o la luz verde "atrasada". La aplicación de intervalos de verde "adelantado" y "atrasado" permite a los vehículos despejar la intersección sin entrar en conflicto con el tráfico opuesto.

Una fase de luz verde "adelantada" consiste en permitir el tránsito de frente y vuelta izquierda en un acceso, (por ejemplo hacia el norte) a que proceda a través de la intersección, sin oposición, por un periodo de tiempo (7 a 20 segundos), Después de este intervalo inicial, se detiene el tránsito que voltea, y sigue en luz verde, para el de frente, y cambia a luz verde para el sentido hacia el sur, permitiéndole el movimiento por un tiempo. Las vueltas ahora sólo son posibles a través de brechas en el tráfico opuesto (hacia el sur). La indicación de luz verde para ambas direcciones (hacia el norte y hacia el sur) termina simultáneamente, y le toca ahora el turno de movimiento a la calle secundaria. Todo este ciclo se realiza en tres fases.

Una fase de verde "atrasado" consiste en terminar la indicación en luz verde para un acceso (digamos el que va hacia el sur) por un periodo de tiempo (7 a 20 segundos) antes de que la fase de luz verde termine para el tráfico que va hacia el norte, permitiendo así que el tránsito que va hacia el norte siga de frente y voltee sin oposición. Las indicaciones de luz verde inician simultáneamente para ambas direcciones norte y sur. Esto es darle al tránsito hacia el norte, que voltea, un verde "atrasado".

Cualquiera de ambos tipos de fase debe ser cuidadosamente evaluado; ya que el usuario que recibe la luz verde más corta tiende a continuar a través de la intersección, en contra de la indicación en luz roja, porque el tránsito opuesto se está moviendo libremente. Los siguientes factores se deben tomar en cuenta, antes de decidir si usar verde "adelantado" o "atrasado":

**Ventajas de luz verde "adelantada":**

- 1.- Permite mayor capacidad en la intersección con accesos de anchos pequeños.
- 2.- Es más fácil de programar el controlador del semáforo.

- 3.- Elimina conflictos entre los vehículos de vuelta izquierda y los opuestos de frente, al despejar los vehículos que voltean primero, reduciéndose así el congestionamiento.
- 4.- La reacción del conductor es más rápida.
- 5.- Sólo requiere un intervalo de despeje de luz ámbar, ya que la fase de luz verde termina simultáneamente para ambas direcciones.
- 6.- Es deseable donde no existen carriles separados de vuelta izquierda, es decir, que se comparte el carril con los de frente.

#### Desventajas de luz verde "adelantada":

- 1.- Crea un conflicto entre los vehículos y los peatones, durante el intervalo.
- 2.- Las vueltas izquierdas pueden producir que los volúmenes opuestos de frente se adelanten a su movimiento, antes de que termine el intervalo de vuelta izquierda, creándose una potencialidad de accidentes.
- 3.- El movimiento opuesto de frente puede realizar movimientos en falso.
- 4.- Puede causar dificultad programar semáforos progresivos ya que un movimiento se inicia antes.
- 5.- Puede producir un atrapamiento del vehículo que voltea a la izquierda, cuando se termina el intervalo para él, produciendo un estorbo para el vehículo que sigue de frente por el mismo acceso.

#### Ventajas de luz verde "atrasada":

- 1.- No crea un atrapamiento en los vehículos; ya que todos los vehículos por un mismo acceso se paran al mismo tiempo.
- 2.- Es lo más cercano a la forma de conducir normal.
- 3.- Provee una separación de vehículos y peatones, ya que los peatones cruzan al inicio de la fase de luz verde.
- 4.- La fase de luz verde inicia al mismo tiempo para ambas direcciones.
- 5.- Los movimientos de frente opuestos no se tratan de adelantar a su movimiento.
- 6.- Es deseable donde exista un carril de vuelta izquierda separado.

**Desventajas de luz verde "atrasada":**

- 1.- Requiere dos intervalos de despeje de ámbar; ya que el verde se termina en tiempos diferentes para ambas direcciones.**
- 2.- Crea conflictos para la vuelta izquierda opuesta, al inicio del intervalo, ya que los conductores creen que ambos movimientos se terminan al mismo tiempo.**
- 3.- Crea conflictos con los vehículos que siguen de frente por el mismo acceso durante el intervalo de verde, donde no existen carriles de vuelta izquierda separados.**

**Algunas leyendas en las señales se usan en conjunto con la luz verde "adelantada" y "atrasada" para controlar el movimiento adelantado y el atrasado y pueden ser las siguientes:**

**ESPERA LA LUZ VERDE**

**LUZ VERDE ADELANTADA o LUZ VERDE ATRASADA**

**MOVERSE SOLAMENTE EN LUZ VERDE**

**ESPERE, SU SEÑAL ATRASADA**

**OBEDIENZA SOLAMENTE SU SEÑAL**

**ESPERE SU FLECHA**

**O como se presenta en esta tesis**

**VUELTA A LA IZQUIERDA CON PRECAUCIÓN EN ROJO.**

## **OBSERVACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL**

**Un estudio de observación se realiza para evaluar el cumplimiento de los conductores o peatones a un dispositivo de control o a un reglamento de tránsito. La efectividad del control de tránsito es el factor principal que se evalúa, aunque pueden ser necesarios esfuerzos de imposición selectiva, programas de educación vial especial u otras medidas de ingeniería para mejorar la realización del cumplimiento de tales dispositivos. En este caso, la señal de vuelta izquierda con precaución en luz roja, está orientado hacia la medida de observación del conductor, a las señales expuestas y a los semáforos y el cuidado del peatón hacia los mismos. Se observan las disposiciones para dar vuelta a la izquierda con luz roja. Este estudio también**

puede ser útil en la evaluación de las mejoras al tránsito, por medio de un análisis de "antes y después".

### **Algunas aplicaciones.**

- 1.- En la evaluación de la efectividad del control de tránsito.
- 2.- En el desarrollo de programas educacionales para conductores, peatones, escolares y público en general.
- 3.- En la determinación de puntos o lugares conflictivos para reforzar la vigilancia policiaca.
- 4.- En el análisis de la efectividad de las mejoras al tránsito, en estudios de "antes y después".
- 5.- En la realización de estudios de investigación que impliquen las características del conductor o del peatón.

### **Semáforos.**

Los semáforos pueden operar en tres modos básicos, según el tipo de equipo de control utilizado:

- 1.- **Operación prefijada.** En la operación prefijada, la longitud del ciclo, las fases, los tiempos de luz verde, y los cambios de intervalo son todos prefijados. El semáforo rota alrededor de un ciclo definido en forma constante; cada ciclo es igual, con la longitud del ciclo y las fases constantes. Según el equipo disponible, se pueden utilizar algunos patrones de tiempo prefijados, cada uno implantado automáticamente, en tiempos fijos, durante el día.
- 2.- **Operación semi actuada.** En la operación semi actuada, la calle principal designada tiene una indicación de luz verde, en todo tiempo, hasta que los detectores en la calle lateral determinen que uno o varios vehículos han llegado a uno o ambos accesos menores. El semáforo luego provee una fase de luz verde a la calle lateral; después de un cambio apropiado de intervalo, que se retiene hasta que todos los vehículos han sido servidos, o hasta que se ha alcanzado un máximo prefijado de luz verde en la calle lateral. En sistemas de señalización progresiva, el inicio de la fase de luz verde en la calle lateral puede estar limitado a tiempos pre-

especificados, dentro del ciclo. En este tipo de operación, la longitud del ciclo y los tiempos de luz verde pueden variar entre ciclo y ciclo, en respuesta a la demanda. Debido a que la luz verde siempre está en la calle principal, cuando no es requerida por los vehículos de la calle secundaria, los tiempos de luz verde en la calle secundaria son virtualmente utilizados en su totalidad, mientras que el "exceso" de tiempo de luz verde se asigna a la calle principal.

**3.- Operación totalmente actuada por el tránsito.** En esta operación, todas las fases se controlan por detectores. En general, los tiempos de luz verde mínimos y máximos son especificados para cada fase, así como la secuencia de la fase. En esta forma de control, las longitudes de ciclo y los tiempos de luz verde pueden variar considerablemente, en respuesta a la demanda. Ciertas fases en el ciclo pueden ser opcionales, y pueden brincar completamente, si no se detecta ninguna demanda. Muchos sistemas de semáforos se controlan ahora por computadora.

No sólo la designación del tiempo de luz verde tiene un impacto significativo sobre la capacidad y las operaciones en intersecciones semaforizadas, sino también la manera en la que los movimientos de vuelta se asignan dentro de la secuencia de fase. La fase de semáforo puede proveer para movimientos de vuelta protegidos o permitidos.

Un movimiento de vuelta permitido se realiza a través de un flujo conflictivo de vehículos opuestos y peatones. Así, un movimiento de vuelta izquierda que se realiza al mismo tiempo que el movimiento opuesto de frente se considera un movimiento "permitido", como lo es un movimiento de vuelta derecha realizado al mismo tiempo que el cruce de peatones.

Las vueltas protegidas son aquellas realizadas sin conflictos, tales como las vueltas realizadas durante una fase de vuelta izquierda exclusiva o una fase de vuelta derecha, durante la cual los movimientos peatonales están prohibidos.

Las vueltas permitidas experimentan la fricción de seleccionar y pasar a través de brechas en el flujo conflictivo de vehículos y peatones. Así, una sola vuelta permitida a menudo consume más tiempo disponible de luz verde, que una sola vuelta protegida.

### **Observación de los dispositivos de control.**

La falta de obediencia a los dispositivos y regulaciones puede ser un indicativo de una aplicación, educación, o vigilancia inapropiada. Esto se realiza cuando se desea evaluar la efectividad de un nuevo dispositivo de control, como puede ser la colocación de una señal. Los estudios de observación se deben realizar sin que el usuario se de cuenta de que se le observa; de manera que la situación se realice en la forma más natural y real posible.

### **Observación de las regulaciones.**

**Semáforos.** En las intersecciones con semáforo, se desea saber cómo responde el conductor a los despejes y fases en luz roja y en los conflictos de vuelta derecha en rojo, y en los conflictos de vuelta a la izquierda en rojo. Se registrará qué vehículos cumplen el reglamento y cuáles no, quiénes se cruzan en rojo aun sin señal que lo permita, quiénes ponen flecha para voltear, quiénes se cruzan en luz verde sin flecha, cómo responden los peatones ante ciertas situaciones de movimientos prohibidos para ellos. Se computa cada observación y se utiliza para un análisis y propósitos comparativos.

### **Regulaciones de las vueltas.**

Los conflictos entre los vehículos que voltean y los peatones y entre los vehículos que voltean y otros vehículos, aproximándose en la dirección contraria, pueden causar congestión, demora y problemas de seguridad en las intersecciones; por lo que las regulaciones a las vueltas son un medio para reducir la congestión y los accidentes.

### **Factores a considerar.**

Los vehículos que voltean entran en conflicto con los movimientos peatonales y de otros vehículos, teniendo en ocasiones que ceder el derecho de paso al tránsito opuesto; ya sea de vehículos o de peatones, por lo que a menudo bloquean el movimiento de vehículos detrás de ellos, a no ser que se provea un carril separado para dar vuelta. En ocasiones, con sólo prohibir la vuelta izquierda se mejora la

situación; sin embargo, otros métodos se pueden tomar en cuenta como; carriles de vuelta separados, fases de semáforo separadas, señales para peatones, eliminación de cruces peatonales, si es necesario a través de barreras que les impidan el paso, o hasta la solución propuesta en esta tesis, de permitir la vuelta izquierda con precaución en luz roja, en los lugares donde el previo estudio y el análisis lo permitan. Para establecer alguna de estas propuestas, en ocasiones es necesaria la vigilancia policiaca para hacer cumplir las leyes y los reglamentos de tránsito establecidos. Se recomienda que la señal propuesta lo sea en forma permanente y no sólo para usarse en ciertas horas; ya que el conductor se habituara a tomar otra ruta alterna, o se le creará el conflicto de tener que verificar qué hora es, para saber si le está permitido voltear o no; además de los conflictos alrededor de las horas límite.

En la siguiente página se muestra a propuesta de señalamiento y los casos en que se utilizaría, indicándose sus dimensiones. Los colores son los que indica el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para señales restrictivas

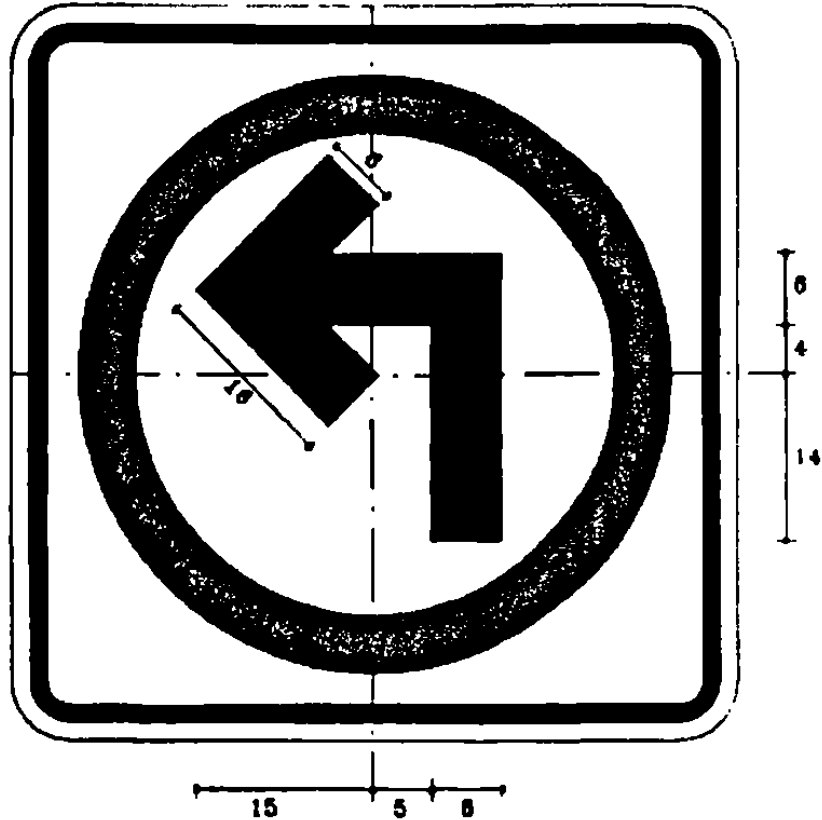
**PROPUESTA DE SEÑALAMIENTO**

**SR-24 VUELTA IZQUIERDA**

Se utilizará en aquellos lugares donde se permite la vuelta a la izquierda, En casos específicos, donde no interfiera con otros movimientos importantes, inclusive el de peatones.

También podrá llevar un tablero adicional en donde se indique la característica de la restricción

La señal SR-24 Prohíbe la vuelta izquierda y esta señal propuesta no contará con la franja que indica que prohíbe este movimiento.



UBICACION DE SEÑAL SR-24 CON SEÑAL ADICIONAL QUE DIGA "CON PRECAUCION EN ROJO" Y QUE MIDE 71 X 30 cms.


	INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL DE LA U.A.N.L.	
	DEPTO. DE ESTUDIOS DE INGENIERIA DE TRANSITO	
SERIE SN-ESC	PROPUESTA DE SEÑALAMIENTO	PLANO
FECHA ABRIL-89	UBICACION MONTERREY, N.L. (AZTLAN Y UJVAL)	

Fig. 9



Se seleccionó una señal del tipo como el que se describe en la figura y con la nomenclatura que tiene, por las siguientes razones, donde se presupone que el conductor hará alto total, antes de cruzar:

- 1.- Que cumpla todas las disposiciones del manual de dispositivos de tránsito de la S.C.T.
- 2.- Que sea lo suficientemente visible, al igual que su tamaño y ubicación de dos señales (una de poste y otra colgando del látigo del semáforo), esto complementado con señalamiento horizontal en el pavimento como cruces peatonales, o flechas de vuelta izquierda y de frente, para indicar que se trata de un carril compartido, como es el caso de todas las intersecciones en estudio.
- 3.- Que la flecha tenga quiebre agudo a 90 grados, en vez de curvo, para distinguir la señal de sólo vuelta izquierda, ya que aquí se comparte, y sin la franja de restricción que indique lo contrario; esto es, que sí se permite la vuelta izquierda.
- 4.- Con una menor cantidad de palabras, para que el conductor lea rápido y tome su decisión sin confundirse.
- 5.- Que antecedan las palabras: "con precaución", para que el conductor dé la vuelta, pero que antes tenga la precaución necesaria, además de la indicación "en rojo" que le dirá cómo se moverá o cuándo!

El indicar "con precaución" indica que si el conductor se cruza en rojo sin la debida precaución y ocurre un accidente, aunque le esté permitido el movimiento, será él culpable y responsable del accidente ocasionado, precisamente por la falta de precaución; ya que los vehículos que se oponían en la calle secundaria tienen derecho de paso, y el cuidado o precaución y por lo tanto, la culpa es del conductor que voltea a la izquierda, supuestamente cuando no debe; aunque se le permita, pero siempre deberá tener la mayor y suficiente precaución entre todos los involucrados, para evitar un accidente.

## **VI. DEMORAS**

---

### **ESTUDIO DE LAS DEMORAS EN LAS INTERSECCIONES.**

La demora en las intersecciones es un factor principal en el análisis del congestionamiento. Existen algunos factores que se deben considerar al evaluar la eficiencia o efectividad de los diferentes tipos de controles de tráfico de intersección; pero la demora de intersección es de primordial importancia. Algunos de los otros factores incluyen:

- 1.- Las experiencias comparativas de accidentes, resultado del uso de diferentes tipos de control de tráfico.
- 2.- Los deseos de los usuarios.
- 3.- Los costos comparativos.
- 4.- Los efectos sobre los peatones.
- 5.- Las condiciones físicas.

Factores que afectan la demora en la intersección:

1.- Factores físicos: tales como el número de carriles, las pendientes, los anchos de la vía, los controles de accesos, la canalización, y las paradas de autobuses.

2.- Factores de tránsito: tales como el volumen, los movimientos de vuelta, la clasificación vehicular, las características del conductor, las velocidades de los vehículos, los estacionamientos y los peatones.

3.- Controles de tránsito: tales como los tipos y tiempos de semáforo, las señales de Alto o Ceda el paso, los controles de vueltas y los estacionamientos.

### **DEMORA**

La secuencia de las fases de vuelta izquierda afecta en las demoras.

### **DEMORAS EN INTERSECCIONES**

Los estudios de demoras en intersecciones permiten evaluar el comportamiento del tránsito al entrar y cruzar o cambiar de dirección a través de ellas. El factor principal que se evalúa es la eficiencia del control del tránsito. Las aplicaciones de la información de las demoras son:

- 1.- La evaluación de la eficiencia de las disposiciones del control de tránsito en las intersecciones y de los dispositivos para el control de carriles específicos.
- 2.- El desarrollo de la programación adecuada, en las instalaciones de los semáforos.
- 3.- El análisis de la efectividad de las mejoras al tránsito, en las intersecciones, usando el análisis de "antes y después".

### **Definiciones.**

- 1.- **Demora:** tiempo perdido en un recorrido, debido a las fricciones de tránsito, a los dispositivos para el control de tránsito; generalmente se expresa en minutos o segundos.
- 2.- **Demora fija:** componente de la demora, causada por los dispositivos para el control de tránsito, sin tomar en cuenta el volumen vehicular, ni las interferencias presentes.
- 3.- **Demora por tiempo de parada:** componente de las demoras, durante la cual el vehículo permanece parado.

El estudio de demoras en intersecciones debe realizarse durante los periodos de congestionamiento, para utilizar valores críticos existentes.

## **VII. ACCIDENTES Y CONFLICTOS**

### **GENERALIDADES**

Las dos consecuencias principales del problema del tránsito las constituyen los accidentes y el congestionamiento. De ellos, el primero es de orden vital y por eso es de gran importancia, ya que significa grandes bajas entre la población, por el resultado en muertos y heridos, además de la pérdida económica. El mejoramiento del sistema vial y los vehículos mismos reducirán la ocurrencia de tales errores.

### **ACCIDENTES.**

Los estudios realizados al respecto indican que para reducir los accidentes viales se requiere:

- Mejor preparación del usuario.
- Mayor seguridad de los vehículos.
- Adecuada legislación y vigilancia.
- Condiciones que permitan una mejor operación del sistema vial.

### **Análisis de accidentes**

Los accidentes se producen por circunstancias inherentes a cualquiera de los tres elementos relacionados, a saber: el camino, el vehículo y el usuario. Para deducir la falla operacional y la magnitud de los accidentes, se deberán estudiar y analizar detenidamente las estadísticas de los mismos.

### **Estadística**

El registro de accidentes se inicia con el informe de primera instancia, formulado por el agente de tránsito en cada accidente, al ocurrir los hechos. Es conveniente que todos los informes sobre accidentes de tránsito sean concentrados en una oficina central, en donde los interesados pueden tener fácil acceso a los mismos. Para facilitar el uso de los datos contenidos en los informes

de accidentes de tránsito, es preciso que éstos sean archivados por orden de ubicación. Las indicaciones de accidentes se acumularán durante periodos de un año.

## **ESTUDIO DE ACCIDENTES**

Siguiendo los pasos lógicos en el estudio de este problema, se ha encontrado conveniente determinar tres importantes datos, a saber:

- La causa aparente de los accidentes.
- La falla operacional.
- La magnitud del problema.

Es necesario relacionar los accidentes con las causas aparentes y reales, los tipos de accidentes, la frecuencia, la ubicación, etc.

### **Causas de los accidentes.**

La causa más frecuente de los accidentes es el "exceso de velocidad", seguido por la "circulación prohibida" que es la invasión de la circulación contraria al invadir una sección de la calle donde los vehículos viajan en sentido opuesto. La siguiente causa es la "impericia" que es la imprudencia al manejar que incluye el no seguir las reglas del camino, el no tener precaución al conducir, etc.

La frecuencia de accidentes, en determinadas zonas, indicarán la necesidad de estudios técnicos, de mayor vigilancia policiaca y de campañas educativas.

Las estadísticas de accidentes tienen como base la intervención personal del agente de la ley, en la calle, traducido en un informe escrito que debe contener todos los detalles del caso. La finalidad primordial de este informe es la de permitir a terceras personas formarse un juicio de los hechos ocurridos.

Fundamentalmente, el informe de accidentes debe aclarar las preguntas ¿qué? ¿dónde? ¿cuándo? Y ¿cómo? Debe contener los detalles que ilustren claramente qué ocurrió, desde el tipo de accidente, hasta el saldo en víctimas y la pérdida económica. El informe debe ubicar los hechos en forma detallada, es decir, debe precisar las condiciones del medio ambiente en donde ocurrió, con el detalle de las circunstancias físicas de la calle o carretera. También debe ubicar el accidente en el tiempo, esto es, precisar la hora y la fecha de lo ocurrido. Finalmente, el

informe debe ser una crónica de los hechos, resaltando en forma clara y concisa cómo ocurrió el accidente y qué participación tuvieron todas y cada una de las personas, el o los vehículos y la carretera o calle.

Estos datos permiten al agente de tránsito formarse un juicio sobre el terreno de los hechos, que le permita asentar la CAUSA APARENTE y también la violación que se haya hecho del reglamento.

Desde hace años, la experiencia ha demostrado que los mejores informes de accidentes son los elaborados sobre una forma impresa bien planeada y que incluye toda la información necesaria. Los informes de tránsito, en formas impresas, existen en muchos países, habiéndose obtenido ya valiosa experiencia. Generalmente se forman cuadernos de hojas desprendibles, en los que se incluyen algunas veces copias en papel más delgado.

El análisis de accidentes fue muy importante en la investigación de esta tesis, ya que permitió conocer si ocurrieron accidentes en los que se vieron involucrados vehículos que dan vuelta izquierda en luz roja, en intersecciones en T, incurriendo en una infracción al reglamento de tránsito, ya que, actualmente no se permiten estas vueltas, que son ilegales, salvo en casos muy especiales, que el reglamento de tránsito prevé.

## **ACCIDENTES**

Todos los estudios comparan la frecuencia de los accidentes de vuelta izquierda antes y después. Pueden existir accidentes debidos a juzgar mal la brecha en el tránsito opuesto. Muchos accidentes pueden ocurrir durante el periodo inicial de ajuste. Aproximadamente, el 69 % de los accidentes de vuelta izquierda en un periodo de un año, inmediatamente después de instalar alguna adecuación ocurre en los primeros seis meses. Los datos de accidentes fueron recolectados para un periodo de un año. Los primeros seis meses se pueden considerar como un periodo de ajuste, y no se deben observar datos; aunque yo sí los observé, inmediatamente después de instalada la adecuación.

## **ESTUDIOS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO**

La mayoría de los accidentes de tránsito son resultado de la falta de precaución o del comportamiento peligroso de los peatones o conductores; sin embargo, la probabilidad de que ocurra un accidente, así como su gravedad, puede reducirse con la adecuada instalación de los dispositivos para el control del tránsito y con un buen proyecto de las características geométricas del camino. Los datos de accidentes, tabulados y analizados, pueden ser utilizados para:

- 1.- Definir e identificar lugares de alta incidencia de accidentes.
- 2.- Realizar estudios de "antes y después" en donde se han hecho mejoras o cambios de algún dispositivo específico. Estos estudios son la guía más importante para evaluar la eficiencia de las medidas técnicas aplicadas en la prevención de accidentes, tales como: señales, semáforos, marcas en el pavimento, proyecto geométrico, iluminación y alguna otra medida de tránsito.
- 3.- Para justificar alguna acción positiva o negativa de las peticiones del público, relacionadas con la instalación de algún dispositivo para el control del tránsito. En este caso, la justificación de la implantación de una propuesta de tesis.
- 4.- Para justificar la inversión en mejoras importantes, para prevenir o reducir los accidentes.
- 5.- Para proponer cambios a los reglamentos de tránsito.
- 6.- Para establecer mejoras en la vigilancia policíaca.

Las principales fuentes de datos de accidentes son los departamentos locales (ciudad o municipio) y estatales de policía y transporte; en este caso, Vialidad y Tránsito de Monterrey. Los policías de tránsito son responsables de hacer la investigación directa, en el lugar de los hechos y registrar los datos pertinentes, en un reporte de accidentes.

### **Reportes de accidentes**

Estos incluyen:

- 1.- Posición y dirección de todos los vehículos antes del accidente, incluyendo los parados o estacionados.

2.- Hora, día de la semana y fecha.

3.- Tipo general del accidente y forma de la colisión.

4.- Relación de lo que trataban de hacer los conductores o peatones inmediatamente antes del accidente (detenerse para estacionarse, dar vuelta izquierda en algún lugar específico, etc.).

5.- Las condiciones atmosféricas, de iluminación y del camino, a la hora del accidente.

6.- El tipo de control del tránsito que afecta a cada una o a todas las unidades involucradas en el accidente.

7.- La gravedad del accidente (muertos, lesionados o únicamente daños materiales).

Una de las partes más importantes para el análisis de ingeniería es el diagrama de colisiones, que muestra la trayectoria original de cada vehículo. Los peritos que se encargan del accidente, deben elaborar un diagrama detallado y confiable de los movimientos previos a la colisión. Es importante también la descripción de los hechos.

### **Análisis detallado de los accidentes**

Se puede efectuar un estudio de reportes de accidentes de "antes y después" de las mejoras de tránsito. Es deseable tener, al menos, la información correspondiente a dos años para el periodo de "antes"; pero en mi caso sólo utilicé datos del año previo, por lo menos 12 meses (de preferencia 24 a 36 meses) para el periodo de "después".

### **Accidentes.**

Se ha encontrado que las vueltas a la derecha, en luz roja, en intersecciones semaforizadas, no han agravado la situación de accidentes.

Thorpe, Smith, y Worsey sugieren que el número de accidentes en una intersección es proporcional a la suma de flujos que entran en la intersección.



## **PROGRAMA PREVENTIVO**

Existen algunas normas importantes que se pueden adoptar para reducir al mínimo la cantidad y magnitud de accidentes que involucren vueltas izquierdas en rojo, y éstas son:

- 1.- La esmerada educación del conductor y del peatón, para que su comportamiento, en relación con el tránsito de vehículos y peatones, resulte el más seguro. Además de la posibilidad de impartir temas de educación vial en las escuelas.
- 2.- La vigilancia de los sitios detectados como peligrosos para el tránsito, aplicando las medidas más pertinentes según el caso.
- 3.- El registro de datos de tránsito e identificación de los sitios de mayor frecuencia de accidentes y sus características relevantes, que permita establecer las causas aparentes, los inventarios, los sitios de mayor frecuencia, y establecer las causas técnicas atribuibles al diseño y operación, a fin de evaluar, mediante estudios estadísticos de antes y después, la efectividad de las medidas adoptadas; abriendo la posibilidad de corregir tal situación, en caso de que se hayan aplicado algunas.
- 4.- La reglamentación y aplicación de las normas, unificando los reglamentos de tránsito en todas las entidades del país; para que ésta sea funcional, en relación con la situación actual y las características del conductor y peatón.
- 5.- Los dispositivos para el control del tránsito y la protección del peatón, identificando las necesidades y las deficiencias de éstos, su instalación, renovación, mejora o destitución. Estos dispositivos deben ajustarse, en lo posible, a las normas internacionales de señalamientos.

### **Causas de accidentes de tránsito.**

Gran cantidad de accidentes ocurren por la combinación de varios factores contribuyentes como: las violaciones o actos inseguros por parte de conductores y peatones; los defectos en el camino, el vehículo, el conductor o peatón; el mal clima, la visibilidad reducida, etcétera.

## **Análisis de accidentes.**

El propósito de un análisis de accidentes es encontrar las posibles causas de éstos, relacionadas con los conductores, los vehículos, y el camino; para planear las medidas que protejan al público y reducir la frecuencia y severidad de los accidentes.

## **Accidentes en intersecciones.**

Aproximadamente el 36 % de todos los accidentes reportados, cerca del 37 % de todos los accidentes fatales en áreas urbanas, y aproximadamente el 15 % de los accidentes rurales fatales, ocurrieron en intersecciones. El número y tipo de accidentes en intersecciones son significativamente influenciados por el tipo de intersección, los detalles individuales de diseño, el volumen de tráfico, y la calidad de los dispositivos de control utilizados. El número de accesos tiene un efecto sobre la razón de accidentes de una intersección, en particular. Intersecciones de tres ramas son inherentemente más seguras que las de cuatro ramas o más. Esto es indudablemente debido a menos puntos de posibles conflictos en las intersecciones de tres accesos o ramas.

En la siguiente página se muestra el formato de un "parte de accidente" como los que se analizaron en esta tesis, que utiliza la Secretaría de Vialidad y Tránsito de Monterrey.



SECRETARIA DE VIALIDAD Y TRANSITO  
MONTERREY, N.L.

FOLIO N° 47976

Hoja \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

1997 - 2000

Accidente No. \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 Calle(s) \_\_\_\_\_ Colonia \_\_\_\_\_  
 Fecha \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 199 \_\_\_\_\_  
 Hora \_\_\_\_\_ Día de la semana \_\_\_\_\_

<b>VEHICULOS</b>	No. _____ Tipo _____ Marca _____ Modelo _____ Color _____ Clase _____ Placas _____ Serie o R.F.V. No. _____ Edo. _____ P. Seguro No. _____ Cl. _____ Vence el _____ de _____ de 199 _____ Propietario _____ Dom. Calle _____ No. _____ Cd. _____ Cd. _____ Edo. _____ Tel. _____ Detenido en _____ A disposición de _____ Daños _____ %.	No. _____ Tipo _____ Marca _____ Modelo _____ Color _____ Clase _____ Placas _____ Serie o R.F.V. No. _____ Edo. _____ P. Seguro No. _____ Cl. _____ Vence el _____ de _____ de 199 _____ Propietario _____ Dom. Calle _____ No. _____ Cd. _____ Cd. _____ Edo. _____ Tel. _____ Detenido en _____ A disposición de _____ Daños _____ %.
------------------	---	---

<b>CONDUCTORES</b>	Nombre _____ Edad _____ Lic. de _____ No. _____ Expedida en _____ Vence en _____ Dict. No. _____ Resultado _____ Expedido por: _____ Dom. Calle _____ No. _____ Cd. _____ Cd. _____ Edo. _____ Tel. _____ Detenido en _____ a disposición de _____ Infracción No. _____ Por _____  Por violación a los Arts. _____ del reglamento de tránsito en vigor.	Nombre _____ Edad _____ Lic. de _____ No. _____ Expedida en _____ Vence en _____ Dict. No. _____ Resultado _____ Expedido por: _____ Dom. Calle _____ No. _____ Cd. _____ Cd. _____ Edo. _____ Tel. _____ Detenido en _____ a disposición de _____ Infracción No. _____ Por _____  Por violación a los Arts. _____ del reglamento de tránsito en vigor.
--------------------	---	---

<b>LESIONADOS, OTROS DAÑOS U OBSERVACIONES</b>	

DAÑOS A: Federación \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_ Municipio \_\_\_\_\_ Particulares \_\_\_\_\_ ANEXOS; Declaraciones \_\_\_\_\_ Dictámenes \_\_\_\_\_  
 Inventarios \_\_\_\_\_ Remisiones \_\_\_\_\_ Lics. \_\_\_\_\_ T. C. \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_  
 Citadas las partes a las \_\_\_\_\_ hrs. del día \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 199 \_\_\_\_\_  
 En Peritajes \_\_\_\_\_ Investigaciones \_\_\_\_\_ en A.M.P. \_\_\_\_\_ Consejo Tutelar de Menores \_\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

Fig. 10

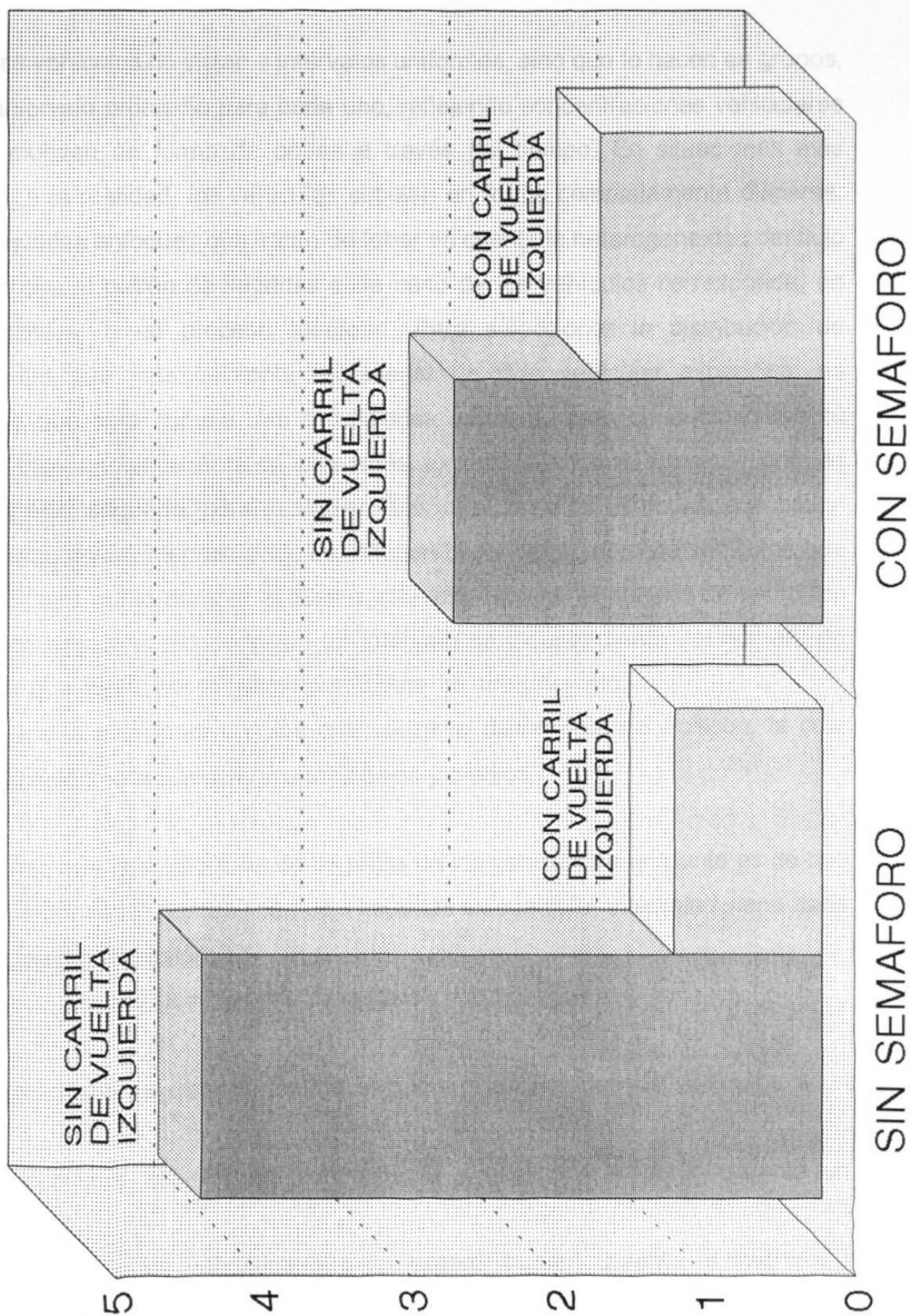
La siguiente gráfica muestra la relación entre los accidentes en intersecciones y la provisión de carriles para vuelta izquierda.

Referencia: tomado del libro "Traffic Engineering Handbook", pag. 160; el cual, a su vez, fue tomado de "Evaluación de carriles de vuelta izquierda como dispositivos de control, 1973, Departamento de Transporte de Ohio, T. J. Foody y W. C. Richardson".

La gráfica siguiente muestra una relación entre los accidentes ocurridos a los vehículos que dan vuelta hacia la izquierda, sin carril especial de vuelta izquierda o sea que comparten el carril con los de frente y los que cuentan con una bahía separada de vuelta izquierda en los casos con semáforo y sin semáforo.

En la página anterior se muestra un formato para llenar en caso de un accidente por parte del oficial de tránsito y que sirve para posteriores estadísticas de accidentes que se lleven a cabo.

Fíg. 11



## DESCRIPCIÓN PROBABILÍSTICA DEL FLUJO VEHÍCULAR

Los vehículos no viajan a intervalos uniformes, sino que lo hacen en grupos, con un intervalo promedio para cada uno, reflejando concentraciones vehiculares que se mueven en forma de ondas a través del tiempo. En situaciones más cercanas a la realidad, los vehículos circulan en forma completamente dispersa. Todos aquellos enfoques que tratan de tener en cuenta la heterogeneidad del flujo suponen que el patrón de llegadas o de paso de los vehículos corresponde, en cierta manera, a un proceso aleatorio. Para seleccionar la distribución de probabilidad que más fielmente represente un flujo vehicular específico, es necesario que éste cumpla tres condiciones: primera, cada conductor sitúa su vehículo independientemente de los demás, excepto cuando su espaciamiento es muy pequeño; segunda, para cualquier flujo, el número de vehículos que pasan por un punto en un intervalo dado es independiente del número de vehículos que pasan por otro punto durante el mismo intervalo; tercera, el número de vehículos que pasan por un punto dado, en un intervalo es independiente del número de vehículos que pasan por el mismo punto durante otro intervalo.

Los supuestos anteriores son los que utiliza la *distribución de Poisson*, la cual tiene aplicación para flujos vehiculares bajos y medios.

Suponiendo que la distribución de llegadas de los vehículos a un punto es de tipo Poisson, entonces la probabilidad de  $x$  llegadas en cualquier intervalo  $t$  viene dada por la siguiente expresión:

$$p(x) = P(X = x) = m^x e^{-m} / x! \text{ Para } x = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

donde:

$X$ : variable aleatoria que representa el número de llegadas de vehículos a un punto.

$P(x)$ : probabilidad que lleguen exactamente  $x$  vehículos al punto durante un intervalo  $t$ .

$m$ : número medio de vehículos que se espera lleguen durante el intervalo  $t$  (vehículos/intervalo).

**e: base de los logaritmos neperianos = 2.718282**

**Ahora la probabilidad de que no lleguen vehículos durante el intervalo t, es:**

$$P(0) = P(X = 0) = m^0 e^{-m} / 0! = e^{-m}$$

**Algunas aplicaciones de esta distribución son:**

**El mejor control en las intersecciones, el cálculo de longitudes de almacenamiento en carriles de vuelta izquierda, la más exacta estimación de filas y demoras de tránsito, la disponibilidad de claros o brechas entre los vehículos de una corriente que permitan el paso de vehículos de otra corriente de tránsito, la predicción más acertada de llegadas de vehículos a puntos de interés.**

### **Distribución de Poisson.**

**En las condiciones más frecuentes de tránsito, el número de vehículos que llegan a un punto en un intervalo dado es al azar, o una distribución de Poisson. Los siguientes requerimientos definen las condiciones esperadas para arribos al azar de vehículos: Cada vehículo está en posición por su conductor, independientemente de otros vehículos. El número de vehículos que pasan por un punto, en una longitud de tiempo dada, es independiente del número que pasa por este punto, en cualquier otra longitud de tiempo.**

**El intervalo de brecha crítico para las vueltas izquierdas es de 5.0 segundos hasta 8.5 segundos como máximo; en avenidas de 2 ó 4 carriles y con velocidades de 30 mph. ó 55 mph. Este dato se midió directamente en el campo, con un cronometro, eligiendo el más crítico de los dos movimientos involucrados, que son: la vuelta izquierda de la calle secundaria a la principal en luz verde y la vuelta izquierda de la calle principal a la secundaria en luz roja.**

### **CONFLICTOS DE TRÁNSITO**

**El conteo de los conflictos de tránsito permite estimar el potencial de peligrosidad en determinados lugares. En general, se incluyen en estos lugares las intersecciones a nivel, los tramos de entrecruzamiento y las áreas de convergencia y divergencia. Dado que la información sobre accidentes de tránsito puede ser inadecuada para el análisis de un lugar específico, la verificación de los**

conflictos permite hacer una evaluación del potencial de peligrosidad; sin esperar a que sucedan accidentes.

Un conflicto de tránsito es cualquier situación potencial de accidente. Dos tipos de conflictos de tránsito son: *acciones evasivas* de los conductores y las *violaciones* al reglamento de tránsito. Cuando surge una inminente situación de accidente, el conductor efectúa una acción para evitar la colisión; tal como aplicar los frenos o cambiar de trayectoria. Estas dos acciones son indicadas por las luces de aplicación de los frenos o por el cambio de carril, respectivamente.

Las violaciones de tránsito se definen de acuerdo con el reglamento respectivo y cualquier infracción se identifica como un conflicto de tránsito y como una situación potencial de accidente, aun cuando no se encuentre próximo otro vehículo.

El estudio de los conflictos de tránsito puede ser una herramienta útil para la evaluación de la eficiencia de las mejoras de tránsito. Las variaciones en el tipo y el número de los conflictos pueden determinarse en el análisis de "antes y después".

#### **Aplicaciones:**

Las siguientes son aplicaciones de la información de los conflictos de tránsito:

- 1.- Para la evaluación de la efectividad del control del tránsito, en una intersección o en un área de convergencia.
- 2.- Para el análisis de las fases y los movimientos respectivos, en una intersección controlada con semáforos.
- 3.- Para el estudio de puntos con alto índice de accidentes, para determinar las mejoras adecuadas.
- 4.- Para la evaluación de los elementos críticos del proyecto geométrico, en lugares conflictivos.
- 5.- Para el análisis de la efectividad de las mejoras al tránsito, evaluando los conflictos antes y después de las mejoras.
- 6.- Para la ejecución de estudios de investigación.



### **Horas de estudio:**

El estudio de campo de los conflictos, se efectúa comúnmente durante las horas de máxima demanda vehicular.

Se han observado los siguientes conflictos de tránsito en las intersecciones:

- 1.- Una vuelta izquierda, desde un carril equivocado.
- 2.- Un cruce de derecha a izquierda, a través del tránsito transversal.
- 3.- Una vuelta izquierda.
- 4.- Una vuelta izquierda, colándose en luz ámbar.
- 5.- Una vuelta a la izquierda, en luz roja entrecruzándose a los vehículos que circulan por la calle secundaria.
- 6.- Una vuelta izquierda, poniendo luz intermitente o no, para voltear.

### **Los conflictos de alcance son:**

- 7.- Disminución de la velocidad para dar vuelta izquierda.
- 8.- Hacer alto en luz ámbar.
- 9.- Entrar a través de una intersección.
- 10.- El congestionamiento en la intersección.
- 11.- La intromisión de un peatón.

### **Las maniobras de los vehículos que voltean a la izquierda son:**

- 1.- Dar vuelta a la izquierda en verde o ámbar.
- 2.- Dar vuelta a la izquierda en rojo.
- 3.- Dar vuelta a la izquierda, con flecha en el semáforo.

### **Conflictos de tránsito en intersecciones.**

Conflicto de vuelta izquierda por vuelta en luz roja: El vehículo que da vuelta izquierda sin la precaución necesaria, cruza o bloquea el carril de un vehículo de vuelta izquierda en sentido contrario de la calle secundaria y éste tiene que frenar o cambiar de dirección para evitar la colisión.

**Conflicto de vuelta izquierda por encuentro con peatones que cruzan:** El vehículo que da vuelta izquierda se cruza en el camino de los peatones que cruzan la calle, cuando no les está permitido.

**Conflicto de vuelta izquierda con vehículo de frente opuesto:** El vehículo que da vuelta izquierda en rojo se cruza con un vehículo de frente que se pasa en rojo ilegalmente, por el acceso opuesto de la calle principal.

## **CONFLICTOS**

Una condición de "atrapamiento" puede ocurrir cuando una rama de la intersección tiene una fase de vuelta izquierda protegida retrasada y la rama opuesta tiene vueltas izquierdas permitidas. Un vehículo que voltea a la izquierda esperando por una brecha en la corriente de tránsito opuesto espera que el tránsito opuesto se detenga cuando la luz amarilla aparezca. El vehículo queda "atrapado" en la intersección, esperando una brecha. Con la nueva adecuación se produce una reducción significativa en la demora vehicular. No se producen cambios estadísticamente significativos, en experiencias de accidentes o severidad de accidentes en los lugares con buena geometría.

Las observaciones de conflictos para ver si hay posibles conflictos o conatos de accidentes con otros vehículos o peatones. Observar si el comportamiento del conductor es disciplinado o actúa según la educación vial. Verificar si se hizo alto total o no. Si se efectúa la maniobra con precaución.

### **Condiciones que no justifican la adecuación:**

La presencia de bicicletas.

Las condiciones pobres de visibilidad, debidas a geometría oblicua de la intersección.

La falta de visibilidad de los peatones.

El alto volumen de tránsito opuesto que se cruza.

Los puntos de conflicto.

## **Frecuencia de accidentes.**

Las principales características que se procuran en las intersecciones semaforizadas son la capacidad y la seguridad. La capacidad de una intersección semaforizada depende de varios componentes; tales como la geometría, las características del tránsito y de los tiempos del semáforo. Las características de los tiempos involucran las secuencias de fases, los tiempos de verde y la duración del ciclo. Existen tres tipos de control de fases de vuelta izquierda que son: la protegida, la permitida y la protegida + permitida. Cada una de estas fases tiene un impacto directo sobre la capacidad de movimiento de vuelta izquierda y sobre toda la intersección, como un todo.

En lo que a seguridad corresponde, la selección de la secuencia de fases para el movimiento de vuelta izquierda tiene una determinada influencia en la ocurrencia de accidentes en intersecciones semaforizadas. En particular, cuando los movimientos de vuelta izquierda se efectúan durante una fase no protegida, entre brechas de tránsito opuesto que se cruza, su seguridad está sujeta a varios parámetros, incluyendo el volumen de tránsito opuesto, la aceptación de la brecha y el comportamiento del conductor. Este tipo de control puede incrementar la capacidad de la intersección, resultando en una disminución en la demora y en el grado de saturación. Por otro lado, la fase de vuelta izquierda exclusiva, a pesar del hecho de que ofrece una protección para el movimiento de vuelta izquierda, puede disminuir la capacidad de la intersección, resultando en más demoras. Los accidentes en intersecciones semaforizadas en áreas urbanas y, en particular, para vehículos que voltean a la izquierda ha sido siempre un tema de investigación en todo el mundo, donde diversos departamentos de transporte han tratado de establecer estándares y guías para controlar este problema. La meta es usualmente maximizar la capacidad de la intersección y minimizar los costos de los accidentes. La principal razón es que el conflicto del vehículo que voltea a la izquierda es el que mayormente contribuye a inducir los tipos de accidentes relacionados con la intersección.

Los tipos de accidentes que conciernen a los vehículos que voltean a la izquierda, los tiempos del semáforo que controlan el movimiento de vuelta izquierda (fase

permitida o protegida), y las características geométricas de la intersección, así como la relación entre los accidentes y los flujos de tránsito, han sido grandes campos de investigación. Benjamín H. Cottrell describe cinco tipos de conflictos relacionados directamente con los vehículos que voltean a la izquierda, en intersecciones semaforizadas, con carril exclusivo de vuelta izquierda. El primer tipo de conflicto es el conflicto de vuelta izquierda básico, donde el vehículo que da vuelta izquierda se cruza frente al tránsito opuesto, de frente y cuyos conductores tienen que frenar o esquivar para evitar la colisión. El segundo tipo de conflicto es el en el cual el vehículo, siguiendo al vehículo de enfrente tiene que frenar para evitar una colisión por detrás. El conflicto tipo tres aparece cuando los vehículos voltean a la izquierda en rojo, y el conflicto tipo cuatro es el conflicto por detrás, desde el carro que sigue al vehículo que voltea a la izquierda y que se detiene antes de voltear. Finalmente el tipo cinco de conflicto aparece cuando el vehículo que voltea utiliza el carril de frente para voltear, bloqueando el movimiento de frente. En intersecciones sin carril exclusivo de vuelta izquierda, todos estos tipos de conflictos también pueden aparecer, con la adición de que los vehículos que voltean a la izquierda bloquean de todos modos el movimiento de vehículos de frente, que comparten éste carril. El desarrollo de las guías se basa en los siguientes parámetros: El volumen de tránsito, los accidentes de vuelta izquierda, los conflictos de tránsito, las demoras de vuelta izquierda, las condiciones del lugar, la relación demora-accidentes y el juicio del ingeniero de tránsito.

Las condiciones que se aplicaron para el análisis de las intersecciones estudiadas son:

- Los movimientos de vuelta izquierda cruzan dos o más carriles de frente, opuestos.
- Más de cuatro accidentes ocurridos, por año, o seis por dos periodos de año.
- El incremento observado en el número de conflictos o conatos de accidente.
- La distancia de visibilidad no cumple ciertas condiciones.

A continuación y en adelante, se presenta sólo el procedimiento, los cálculos, los resultados y las observaciones de la intersección que al final se selecciono para realizar una investigación experimental y que es la intersección de la Ave. Aztlán con la calle Uxmal. Caso 7.

El mismo procedimiento se siguió con los otros nueve casos, además de algunas observaciones en otras once intersecciones y que para no ampliar el volumen de esta tesis sólo se presentan los cálculos completos de uno; aunque los resultados comparativos de todas las diez intersecciones "caso", sí se presentan, junto con las conclusiones y las observaciones de cada una, en el capítulo de procedimientos y resultados.

Enseguida aparece la Tabla de tiempos de cruce útiles para el posterior cálculo de la probabilidad de un encuentro.

## TABLA DE TIEMPOS DE CRUCE EN LAS INTERSECCIONES

Intersección	Tiempo de cruce Movimiento 5 (TE)	Tiempo de cruce Movimiento 3 (TE)
1.- <i>Av. López Mateos - Santa Rosa</i>	<i>18 seg.</i>	<i>8 seg.</i>
2.- <i>Av. López Mateos - Av. Conductores</i>	<i>7 seg.</i>	<i>4 seg.</i>
3.- <i>Av. Félix Galván - Los Arboles</i>	<i>8 seg.</i>	<i>7 seg.</i>
4.- <i>Av. San Nicolás - Titán</i>	<i>5 seg.</i>	<i>4 seg.</i>
5.- <i>Av. Félix U. Gómez - Av. J. A. Conchello</i>	<i>6 seg.</i>	<i>6 seg.</i>
6.- <i>Av. General Anaya - Av. Guerrero</i>	<i>7 seg.</i>	<i>5 seg.</i>
7.- <i>Av. Aztlán - Uxmal</i>	<i>5 seg.</i>	<i>5 seg.</i>
8.- <i>Av. Pablo González - O. F. Castillón</i>	<i>5 seg.</i>	<i>4 seg.</i>
9.- <i>Av. José Vasconcelos - J. Siller</i>	<i>5 seg.</i>	<i>4 seg.</i>
10.- <i>Av. Rogelio Cantú - Av. Aarón Sáenz</i>	<i>4 seg.</i>	<i>5 seg.</i>

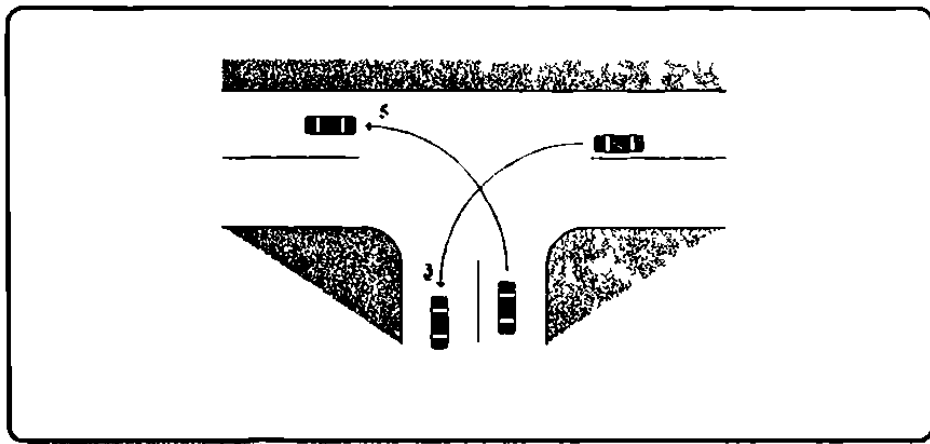


Tabla 1

La probabilidad de un encuentro-colisión considera los siguientes parámetros y cambia según el caso. Esta probabilidad se calcula por el procedimiento mostrado en la intersección de Aztlán y Uxmal. Los parámetros que considera son el volumen de los dos movimientos involucrados y el tiempo de encuentro o cruce de ambos.

Se observó que aumentando el volumen o el tiempo de encuentro, aumentaba la probabilidad de encuentro o el conflicto entre los dos movimientos. Se observó que es el tiempo de encuentro más que el volumen quien influye más en la probabilidad de encuentro. Si se aumenta el volumen en varios automóviles no influye tanto como el aumentar unos segundos al tiempo de cruce. El tiempo de cruce, se tomó desde el punto de arranque del vehículo, en la rama que sale, hasta el punto donde libra la cola del carro el comienzo de la rama por donde entra. Por ejemplo:

Obsérvese que si el volumen es de 302 vehículos y si se varía el tiempo de encuentro con 4 segundos y 20 segundos.

Volumen	Tiempo de encuentro (T.E.)	Probabilidad
302	4	0.2851
302	20	0.8132

a diferencia de fijar el tiempo de encuentro (T.E.) en 4 segundos y variar el volumen de 302 a 318, resulta:

Volumen	Tiempo de encuentro (T.E.)	Probabilidad
302	4	0.2851
318	4	0.2977

es decir, variando el tiempo hay una diferencia de: 0.5281

y variando el volumen, la diferencia es de: 0.0126

lo que indica que la variación del volumen en cierta cantidad no afecta tanto la probabilidad, como el variar, aunque sea unos segundos, el tiempo de encuentro o cruce que sí afecta en mayor razón la probabilidad de encuentro y la posibilidad de un potencial accidente.

# CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE ENCUENTRO.

PROBABILIDAD DE ENCUENTRO: AZTLÁN - UXMAL

PROBABILIDAD DE ENCUENTRO = PE

Volumen vuelta izquierda principal (AZTLAN ) = VIP

Volumen vuelta izquierda secundaria (UXMAL) = VIS

TIEMPO DE ENCUENTRO = TE

$PE(VIP, VIS) = [PE_{VIP} (1 \text{ ó más vehículos pueden voltear})] \times [PE_{VIS} (1 \text{ ó más vehículos pueden voltear})]$

$P_{E_{VIP}} = 1 - P_{E_{VIP}}(0) \rightarrow P = (\lambda^n \cdot \epsilon^{-\lambda}) / n! \leftarrow \text{Poisson}$

$P_{E_{VIP}}(0) = [(\lambda^0) \epsilon^{-\lambda}] / 0! \Rightarrow P_{E_{VIP}}(0) = \epsilon^{-\lambda}$

$\lambda = (VIP)(TE)(1/3600)$

NOTA 1:  $P_{E_{VIS}}$  se saca de igual forma para la calle secundaria

NOTA 2: Datos obtenidos en la hora de máxima demanda.

$\lambda_3 = (302)(5)(1/3600) = 0.4194444$

$P_3(0) = \epsilon^{-\lambda} = 0.6574119$

$P_3(1 \text{ ó más}) = 1 - P_3(0) = 0.342588$

$\lambda_5 = (79)(5)(1/3600) = 0.1097222$

$P_5(0) = \epsilon^{-\lambda} = 0.896083$

$P_5(1 \text{ ó más}) = 0.1039169$

$P_{enc} = P_3(1 \text{ ó más}) P_5(1 \text{ ó más}) = 0.0356007$

PROBABILIDAD DE ENCUENTRO = 3.56 %