

## CONSIDERACIONES METODOLOGICAS PARA LA INSTALACION DE SEMAFOROS PEATONALES

Alejandro Aldea

I. Municipalidad de Providencia

### Resumen

La superficie urbana de carácter público constituye el espacio de todos. Parte importante de esta área está destinada a la circulación, siendo compartida por distintos tipos de usuarios, cuyos intereses, por lo general son conflictivos entre sí.

Una forma de regulación del uso de las vías entre vehículos y peatones es por medio de semáforos peatonales. Los modelos usualmente utilizados en el país para optimización de la operación de semáforos, tanto de intersecciones aisladas como de redes, están relacionada con la minimización de costos para los vehículos. El criterio de optimización, desde la perspectiva vehicular, significa reducir los costos tanto a los usuarios de vehículos, en términos de disminución de demoras y consumo de combustible, como al medio ambiente en términos de reducción de contaminación atmosférica. Desde este punto de vista los cruces peatonales, los cuales tienden a aumentar los costos vehiculares, surgen como un conflicto con connotación negativa.

Actualmente no existe en el país una recomendación metodológica, sobre la localización y operación de semáforos peatonales, equivalente a la que se disponía para los semáforos vehiculares. Sólo están disponible recomendaciones preliminares de provisión de semáforos peatonales cuyos criterios están basados en una medición del conflicto vehículo-peatón en que aparentemente se hace un balance de demoras y seguridad. Si bien es cierto que estas recomendaciones son de utilidad para acotar las posibles soluciones a la problema de conflicto vehículo-peatón, no entregan información sobre evaluación de impactos que se introducen por la presencia de una señal de regulación, sobre la operación óptima de ésta, ni sobre consideraciones que lleven a un balance objetivo entre demora para usuarios de vehículos y peatones.

En este trabajo se entrega una proposición metodológica de considerar la instalación de semáforos peatonales, identificándose los temas en donde es necesario centrar los esfuerzos de investigación.

## 1. Introducción

Tanto en las áreas de planificación de transporte como en ingeniería de tránsito, los intereses peatonales por lo general no han sido considerados. Es así que la mayoría de los modelos de tránsito más utilizados están desarrollados bajo una perspectiva exclusivamente vehicular. Por esta razón los conflictos vehículo-peatón producidos por los cruces peatonales se tratan en un análisis de costos incurridos por el flujo vehicular más que en un análisis de costo-beneficio para los distintos grupos involucrados.

El objetivo de este trabajo es rescatar al peatón como un usuario importante de la ciudad, proponiendo una metodología de análisis para la instalación de facilidades peatonales en forma especial en lo referente a semáforos peatonales. Se destaca en el análisis de instalación de una señal peatonal la importancia de su localización, su operación óptima y la evaluación de impactos por grupos involucrados. Finalmente se plantea la posibilidad de otorgar factores de peso distintos a las demoras peatonales y vehiculares.

El trabajo no pretende ser exhaustivo en el tema analizado, sino sólo destacar los aspectos más significativos que deben ser considerados al instalar un semáforo de tipo peatonal.

En el capítulo 2 se hace un análisis crítico de la indiferencia con que se ha tratado al peatón y del conflicto que se crea al tener que compartir los espacios destinados a la circulación con los vehículos motorizados. En el capítulo 3 se presenta una proposición metodológica para el tratamiento de semáforos peatonales, para terminar en el capítulo 4 con las conclusiones y recomendaciones.

## 2. El Peatón en la Ciudad

El peatón el cual es el causante de la animación urbana es sólo uno de los usuarios de la vía pública. En efecto, ésta debe ser compartida con los automóviles particulares, el transporte público, vehículos de dos ruedas, etc.

La ciudad colonial estructurada en cuadrícula, con calles de una cuadra de largo y doce varas de ancho, en la cual el peatón se apropiaba del espacio público sin restricciones ha dado paso a una ciudad orientada al automóvil, en la cual el peatón surge como un obstáculo.

Debido a las transformaciones que ha sufrido la ciudad, no sólo por el avance tecnológico, el peatón ha ido perdiendo el lugar de privilegio que tuvo. Esta situación se ha visto apoyada inconcientemente por ciertas orientaciones dentro de la planificación del transporte extensamente dominadas por un pensamiento orientado al automóvil, por lo cual se ha dicho refiriéndose a los peatones, que se ha llegado a conformar un nuevo grupo de desplazados en nuestra sociedad. (Brog, 1984).

Es una simplificación del problema pregonizar las muertes de las vías de alta velocidad y propugnar la generalización de la calle colonial. Es algo tan simplista como querer ensanchar todas las calles y construir inter-



tecciones a desnivel por ldoquier. La compleja ciudad actual exige la coexistencia regulada entre sus distintos tipos de usuarios. Esto hace imprescindible la organización de esta coexistencia identificando los intereses de todo tipo de usuario como también los conflictos que surgen entre ellos.

## 1.1. El peatón y los desplazamientos

La marcha a pie puede considerarse como un modo más de transporte. Las características generales, de este modo de desplazamiento son su costo bajo, su baja velocidad, la baja utilización del espacio, su flexibilidad y disponibilidad.

Los desplazamientos peatonales pueden ser de diferente naturaleza:

- Viajes a pie (p.ej. viajes de domicilio al trabajo)
- Como parte de un viaje combinado (p.ej. a pie-metro)
- Desplazamiento peatonales de recreación (p. ej. paseos etc.)

La marcha a pie es generalmente ignorada o bien menospreciada por algunos planificadores de transporte. Existen una serie de prejuicios en contra del tránsito peatonal que no tiene asidero real, como por ejemplo su importancia relativa al número total de desplazamientos diarios en una ciudad (Brog, 1984). Un análisis preliminar de la información disponible en nuestro país, permite asumir como válidas las conclusiones de Brog en Alemania. Analizando la información de la Encuesta Origen-Destino de 1977 (Universidad Católica de Chile, 1978), se aprecia que en promedio el 17% de los viajes totales son realizados a pie observándose que en las comunas de menores ingresos este porcentaje es más alto.

La incidencia de variables socioeconómicas en la elección modal permite predecir que en la actualidad el porcentaje de elección del modo "pie" podría ser aún mayor.

Desde un enfoque de equidad, es necesario considerar a este grupo en la política de operación de la ciudad, en política de transporte y en la asignación de recursos.

## 1.2. El conflicto vehículo-peatón

Los conflictos entre vehículos y peatones surgen al tener que compartir las vías de circulación entre peatones y vehículos, manifestándose por lo común en los cruces peatonales.

Estos conflictos se materializan en accidentes como en demoras tanto para el peatón como para los usuarios de vehículos. La solución de estos problemas es la segregación de los flujos, lo cual se puede realizar separando los flujos temporal o espacialmente, dando lugar a los siguientes tipos de cruces :

Segregación temporal :

- Cruces cebra
- Cruces semaforizados

- Segregación en el espacio :

- Corresponde a cruces peatonales a desnivel.

Al regular el derecho a vía entre peatones y vehículos, surgen costos y beneficios asociados a cada uno de los grupos involucrados.

Los criterios de provisión de facilidades peatonales explícitas están basadas en una medición del conflicto vehículo-peatón, en que aparentemente se hace un balance de demoras y seguridad, donde los volúmenes de flujo vehicular y peatonal determinan el grado de conflicto vehículo-peatón y el dispositivo de regulación más adecuado.

En las Figuras 1 y 2 se muestran los criterios ingleses y franceses para seleccionar el tipo de cruce peatonal. Este tipo de recomendaciones, si bien es cierto son de utilidad para acotar las posibles soluciones a un problema de conflicto vehículo-peatón, no entregan información sobre la evaluación de impactos que se introducen por la presencia de una señal de regulación.

En el siguiente capítulo se presenta una proposición metodológica para considerar en las instalaciones de semáforos peatonales, de tal manera de incorporar la evaluación de impactos por grupo involucrados, la operación óptima de la señal y la localización de ésta.

### 3. Regulación del Conflicto Vehículo-Peatón por Medio de Semáforos P<sub>ea</sub>tonales

Los criterios de optimización de la operación de semáforos consideran las demoras vehiculares, el número de detenciones, largos de cola, consumo de combustible y aspectos de seguridad. Las demoras y detenciones peatonales, por lo general son ignoradas. Este procedimiento, si bien en el tratamiento de intersecciones semaforizadas puede ser aceptable ya que la operación está condicionada a los flujos vehiculares lo que permite disponer de tiempo de verde para el cruce peatonal adecuados, en el diseño de la operación de semáforos peatonales son insuficientes.

Los semáforos peatonales regulan el derecho a vía entre dos grupos claramente identificables : Los peatones y los vehículos. Es por ello que ambos grupos deben ser considerados en el análisis de instalación y operación de un semáforo de tipo peatonal. Un diseño operativo que ignore las necesidades peatonales tiene como resultado un aumento en las demoras peatonales lo cual incita a comportamientos peligrosos al tratar de cruzar una vía (Hakkert y Ben-Yakov, 1985). Las herramientas que actualmente se utilizan en la optimización de la operación de semáforos como los modelos SIGSEP, SIGCAP (Allsop, 1981) y TRANSYT (Robertson, 1969), no consideran los intereses peatonales dentro de su lógica de optimización. Modelos de desarrollo más reciente como SIDRA-2 (Akcelick, 1985) tampoco han incorporado al tratamiento peatonal. Existen sí modelos de simulación de tipo microscópico como NESTSIM (FHA, 1982) y TRAFFICQ (Logie, 1980) que tienen la posibilidad de simular la operación de un semáforo peatonal en una red, entregando información de demoras.



Los programas de optimización creados bajo una perspectiva vehicular no permiten predecir demoras peatonales, información que es básica para realizar un balance de costos-beneficio en la provisión de estos elementos de regulación.

### 3.1. Proposición metodológica para la provisión de semáforos peatonales

#### a) Análisis general

Al tener presente el tránsito peatonal y el peatón en sí como un usuario importante de la ciudad, es necesario conocer sus características de comportamiento.

Algunas de las características más relevantes son las siguientes:

- El peatón es sensible a la distancia
- El peatón se caracteriza por su movilidad espacial
- El peatón es sensible al confort
- El peatón es sensible a la animación y paisaje urbano.

Estas características condicionan la localización como la implementación de la facilidades peatonales.

El estudio de instalación de una facilidad peatonal contempla las siguientes etapas :

#### i) Detección de conflicto

El conflicto vehículo-peatón podrá identificarse ya sea por denuncias peticiones de la comunidad o bien por un procedimiento de seguimiento bando en un archivo de eventos como estadísticas de accidentes.

#### ii) Recolección de datos

En terreno se deberá identificar a los grupos involucrados, de tal manera de recoger toda la información posible que permita cuantificar el problema. Esta información comprende :

- Análisis de origen-destino de los flujos peatonales involucrados
- Tiempos de cruces peatonal
- Tiempos de espera peatonal
- Volumen de flujo peatonal
- Características de flujo peatonal (p. ej. edad)
- Volumen de flujo vehicular
- Tiempo de viaje vehicular en arco comprometido
- Tasas de ocupación de vehículos.

#### iii) Análisis y procesamiento de información

El análisis de la información recogida en terreno permitirá evaluar magnitud del problema identificando los períodos de ocurrencia.

iv) Estudios de soluciones

De acuerdo a las recomendaciones preliminares actualmente disponibles (SECTU, 1984) será posible determinar cual será la facilidad peatonal más adecuada.

b) Caso de semáforos peatonales

Para los semáforos peatonales, al igual que en el análisis de operación de semáforos vehiculares, será de importancia determinar si la señal peatonal es posible de modelar como una intersección aislada, o bien si existe una incidencia de los semáforos cercanos. Además del análisis del entorno desde el punto de vista de la existencia de semáforos, será necesario conocer el entorno desde la perspectiva de animación urbana. Esto con el objetivo de conocer las características de demanda de cruce peatonal, como por ejemplo su distribución espacial y temporal.

El análisis de la instalación de una señal semaforizada contemplará las siguientes etapas :

- Análisis de localización óptima
- Determinación de la operación óptima
- Evaluación de impactos

i) Análisis de localización óptima

El criterio de localización de un semáforo peatonal dependerá de si se trata de un semáforo aislado o bien de una señal incorporada a una red sincronizada.

a) Caso de semáforos aislado

Para esta situación, la ubicación de la señal dependerá fundamentalmente de las características de la demanda del cruce peatonal. Conociendo los orígenes-destino de los movimientos peatonales, identificando los puntos de generación y atracción de viajes peatonales y teniendo en cuenta las características de comportamiento de los peatones se podrá localizar el cruce semaforizado de tal forma que opere adecuadamente.

b) Caso de semáforo inserto en una red

En el caso de un semáforo peatonal ubicado dentro de una red semaforizada, además de las razones expuestas en el punto anterior, incidirá en la localización un criterio de minimización de demoras vehiculares.

El efecto de "pelotón" que se genera al otorgar derecho a paso en una intersección semaforizada, se va dispersando a medida que aumenta la distancia a este cruce. Por este motivo las brechas que permiten el cruce peatonal sin regulación, serán mayores mientras más cerca se está de la intersección semaforizada. Es por esto que se ha sugerido que mientras más cercano sea el cruce peatonal de una intersección regulada por semáforos, menores serán las demoras de los peatones que intenten cruzar (Taylor, 1984).

El Comportamiento de "pelotón" permite esperar que la localización de

un cruce peatonal incida también en las demoras vehiculares.

Mediante la optimización de la operación de la red considerada con el programa TRANSYT, es posible determinar la localización que minimiza las demoras vehiculares. En efecto, mediante la comparación del índice de rendimiento que entrega el programa, para distintas ubicaciones del "nodo peatonal", es posible escoger aquella localización que entregue un índice de rendimiento menor, ya que :

$$IR = \sum_{i=1}^{i=n} (D_i + K C_i)$$

donde :

IR = Índice de rendimiento

N = Número de arcos

D<sub>i</sub> = Demora media en arco i

K = Factor de ponderación

C<sub>i</sub> = Número medio de detenciones por segundo en el arco i

En la Figura 3 se ejemplifica un eje de sentido único que incluye un nodo peatonal, la relación teórica esperada entre el índice de rendimiento y la localización del cruce peatonal y el efecto de dispersión del pelotón.

La situación general (Flujo-bidireccionales) será bastante más compleja ya que la forma de la curva IR - localización dependerá de los volúmenes de flujo vehicular como de la relación de los flujos vehiculares con sentido inverso. En todo caso independientemente de la complejidad de la relación es posible determinar el punto mínimo de la curva, el cual determinará la ubicación óptima de la señal. Deberán también analizarse la incidencia de distintas localizaciones en el flujo en el flujo peatonal, que se reflejará en distintos tiempos de recorrido.

El análisis de la localización óptima según el procedimiento planteado debe entenderse aplicable cuando realmente existe la posibilidad de jugar con la localización del cruce y éste no esté predeterminado por la característica de la demanda peatonal.

#### ii) Determinación de la operación óptima

En una gran proporción de los accidentes que ocurren en zonas urbanas, están involucrados los peatones, aconteciendo muchos de estos en las intersecciones. Diversas investigaciones han encontrado una correlación entre las demoras peatonales y los accidentes (Hakkert y Ben-Yakov, 1985), es por ello que una operación adecuada de la señal desde la perspectiva peatonal tiene importancia.

La duración de los tiempos de verde para los peatones es generalmente determinada por el ancho de la calzada a cruzar. Los tiempos son calculados para permitir el cruce seguro de un peatón que comienza a cruzar al inicio de la señal verde peatonal, asumiendo una cierta velocidad de desplazamiento.



Las demoras peatonales generalmente pueden ser reducidas minimizando la duración del ciclo y aumentando la duración del tiempo de verde peatonal. Las investigaciones empíricas han demostrado que los peatones tienden a preferir tiempos de verde más frecuentes que tiempos más largos pero más espaciados. (Taylor, 1984).

a) Caso de semáforo aislados.

Al plantearse como objetivo la minimización de las demoras totales, para determinar la operación óptima de una señal, es necesario estimar las demoras en que incurren las dos grupos involucrados.

- Demoras vehiculares :

Las demoras vehiculares pueden estimarse mediante la conocida fórmula de Webster (Webster y Cobbe, 1966)

$$dvi = 0,9 \left\{ \frac{C (1 - ui)^2}{2 (1 - yi)} + \frac{x_i^2}{2 qi (1 - xi)} \right\} \quad (1)$$

donde :

dvi = demora promedio por vehículo en la corriente i. (seg)  
 c = duración del ciclo (seg)  
 ui = razón de tiempo de verde para esa corriente  
 yi = razón de flujo para la corriente i  
 xi = grado o tasa de saturación

Modelando la intersección con SIGSET, se obtiene como salida del programa estimaciones de demoras por movimientos.

- Demoras peatonales :

Las demoras peatonales pueden estimarse mediante las ecuaciones calibradas por Griffiths et al. (1985)

La demora media de un peatón queda expresada como :

$$dp = dt / \mu \cdot y \quad (2)$$

siendo :

$$y = a + b + c + k + \exp(-\mu k) / \mu \quad (3)$$

donde :

$$k = d + e + f \quad (4)$$

y corresponde al tiempo medio de ciclo, considerando una llegada peatonal aleatoria a una tasa media (peat/seg) y suponiendo que el primer peatón en llegar al cruce demanda derecho de vía.



dt que corresponde a la demora total durante un ciclo queda expresado por:

$$\begin{aligned}
 dt = & \mu_{vi} d \left\{ a + b + e + f + d/2 \right\} \\
 & + \mu_r (e + f) \left\{ a + b + (e + f)/2 \right\} \\
 & + \mu_r (a + b)^2 / 2 \\
 & + (a + b) \exp -\mu_{vi} \cdot d + \mu_r (e + f) \} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$\mu_{vi}$  y  $\mu_r$  corresponde a los flujos peatonales durante los tiempos de verdes intermitente y rojo respectivamente.

Esta diferenciación se debe a que la tasa de flujos peatonales no es uniforme a lo largo del ciclo (Griffiths et. al., 1985), siendo mayor que el promedio durante el período de verde y menor que el promedio durante el período de verde intermitente. Así, considerando las siguientes ecuaciones de continuidad :

$$\mu_v = \mu_v \cdot c + \mu_{vi} d + \mu_r (y - c - d) \quad (6)$$

se tiene :

$$\mu_r = (y \cdot \mu_v - c \cdot \mu_v - d \cdot \mu_{vi}) / (y - c - d) \quad (7)$$

valores típicos de  $\mu_v$  y  $\mu_{vi}$  son  $2\mu$  y  $0,5\mu$  respectivamente.

Los parámetros a, b, c, d, e y f corresponden a los distintos tiempos dentro del ciclo, los cuales se explican gráficamente en la Figura 4.

Basándose en las observaciones en terreno se recomienda modificar la expresión de la ecuación 5 para flujos vehiculares menores de 1500 veh/hr, debido a que ésta sobreestima las demoras peatonales. Así :

$$dp^1 = \left( \frac{60}{11} - \frac{4}{1100} \right) + \left( \frac{q}{1100} - \frac{4}{11} \right) \cdot dp \text{ para } q < 1500 \quad (8)$$

$$dp = dp \quad \text{para } q \geq 1500$$

de : q (veh/hr) corresponde al flujo vehicular (en ambas direcciones)

Las demoras totales serán entonces :

$$DT = dv + K \cdot dp \quad (9)$$

de K : factor de ponderación de demora peatonal

Este factor de ponderación será analizado en el punto iii) del presente capítulo.

Como las demoras, tanto vehiculares como peatonales, son funciones de las variables de operación (ciclo y repartos), es necesario definir criterios para su determinación.

Los tiempos de verde peatonal (verde y verde intermitente) serán fijados de acuerdo a los criterios de seguridad antes descritos y a observaciones de terreno.

La determinación del ciclo deberá conjugar dos objetivos que pueden ser contrapuestos :

- Desde la perspectiva peatonal el ciclo óptimo será el menor posible, es decir el ciclo mínimo ( C min)

- Desde la perspectiva vehicular se podrá determinar un ciclo óptimo. (Cv) minimizando demoras.

Esto lleva a dos situaciones posibles :

$$- C_v \leq C_{min}$$

En este caso se adoptará el ciclo mínimo, determinando los repartos adecuados y las demoras asociadas.

$$- C_v > C_{min}$$

Esta situación lleva a definir un valor límite para el ciclo, que es aquel que corresponde al grado de saturación máximo aceptable para el movimiento vehicular ( C sat )

Como el grado de saturación de un movimiento está expresado como :

$$x_i = q_i \cdot C / S_i \cdot V_i \quad ( 10 )$$

en que :

$q_i$  = flujo vehicular del movimiento i

C = ciclo

$S_i$  = flujo de saturación del movimiento i

$V_i$  = verde efectivo del movimiento i

se tiene :

$$C_{sat} \approx X_i \cdot S_i \cdot f / q_i$$

como :

$$f = C - ( a + b + c + d + e )$$

se tiene :

$$C_{sat} \approx \left\{ X_i \cdot S_i ( a + b + c + d + e ) / q_i \right\} / \left\{ (X_i \cdot S_i) / q_i - 1 \right\}$$

Si  $C_{sat} < C_{min}$ , se considerará como ciclo óptimo peatonal a  $C_{min}$ . Se determinarán los repartos y las demoras asociados a  $C_{min}$  y a  $C_v$  y a posibles valores intermedios. El ciclo que minimice las demoras totales de acuerdo a los factores de peso que se otorguen corresponderá al ciclo de operación de la señal.

Si  $C_{sat} > C_{min}$  se tomará como ciclo óptimo peatonal a  $C_{sat}$ . Para la determinación del ciclo de operación de los repartos, se procederá en forma análoga al caso anterior. (Ver Figura 5).

b) Caso de semáforo inserto en una red

Para este caso las demoras vehiculares quedarán determinadas por el modelo de optimización de operación de redes TRANSYT. Las demoras peatonales se estimarán mediante las ecuaciones 2 y 8.

La determinación del ciclo de operación quedará restringida por el ciclo común de la red. En efecto, se tendrán dos posibilidades :

$$C = C_{red} \quad \text{o} \quad C = C_{red} / 2$$

El ciclo óptimo será aquel que entregue un valor de demoras totales de la red (incluyendo demoras peatonales) menores.

Desde la perspectiva peatonal, teniendo un ciclo de operación determinado, la minimización de demoras equivale a maximizar el tiempo de verde peatonal, lo cual incrementa las demoras vehiculares.

Así se tendrán dos estructuras de repartos posibles :

- Desde la perspectiva vehicular quedará determinada por :

$$c + d = (c + d)_{min}$$

siendo :  $(c + d)_{min}$  aquel tiempo que permite un cruce peatonal seguro

Desde la perspectiva peatonal quedará determinada por :

$$f = f_{min}.$$

El valor mínimo del tiempo de verde vehicular quedará limitado por el tiempo de verde tal que no se exceda al grado de saturación máximo aceptado. De la ecuación 10 se tiene :

$$f_{sat} i \approx C_{red} . q_i / S_i . X_i \quad (12)$$

Estos dos extremos determinarán las cotas de los tiempos de verde peatonal y vehicular definiendo un rango para el cual se puede encontrar la operación de repartos óptimo que minimice las demoras totales de acuerdo a ecuación 9. (Ver Figura 6).



### iii) Evaluación de impactos

Estrictamente es posible determinar los costos y beneficios de un proyecto de instalación de una señal peatonal comparando la operación del sistema con y sin semáforo, y realizar una evaluación económica tradicional. Este proceder tiende generalmente a considerar la instalación de un semáforo peatonal como no rentable.

Considerando que los grupos involucrados tienen distintas características es necesario realizar un análisis por grupo, cuantificando los impactos (costos o beneficios) separadamente. La importancia relativa que le otorgue la comunidad a cada uno de estos grupos, determinará la factibilidad de la implementación de un paso peatonal semaforizado.

En términos de demoras la justificación de instalación de un semáforo peatonal dependerá de las ponderaciones relativas entre demoras vehiculares y peatonales, o en estricto rigor entre las demoras de los usuarios de vehículos y demoras de los peatones.

Se ha sugerido que las demoras peatonales deben ser más valoradas que las demoras de los usuarios de vehículos. (Taylor, 1984) y que un valor de tres para el factor  $k$  de la ecuación 9, es adecuado. Esto es consecuente con la distinta valoración del tiempo dentro y fuera del vehículo que se encuentra generalmente es menos atractivo que el tiempo dentro de un vehículo.

Además de las comparaciones de demoras es posible agregar el aumento de consumo de combustible y la emisión de contaminantes, como también la disminución de accidentes.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

Las peticiones de facilidades peatonales que se hacen llegar a las autoridades locales, hace necesario disponer de metodologías que permitan abordar el problema adecuadamente.

En el desarrollo de estas metodologías es necesario tener presente lo siguiente :

- El peatón es un usuario importante de las vías públicas, cuyos intereses deben considerarse en el diseño operativo de las señales de regulación.

- Las características de comportamiento del peatón serán antecedentes necesarios a considerar en la instalación de facilidades peatonales.

Cabe señalar que este comportamiento dependerá de una serie de variables como edad, características socioeconómica etc.

- El análisis de instalación de un semáforo peatonal deberá comprender al menos las siguientes etapas ; Localización, diseño, operativo y evaluación de impactos.

- Tanto el análisis de localización como de operación dependerá de si la señal semaforizada forma parte de una red o bien corresponde a un semáforo aislado.

- Para el caso de un semáforo aislado el criterio de minimización de demoras peatonales será la minimización del tiempo de ciclo, mientras que para una señal inserta en una red será la maximización del tiempo de verde peatonal.

- La decisión de provisión de un semáforo peatonal no deberá basarse en una evaluación económica tradicional, sino en un análisis de los impactos a los grupos involucrados, teniendo presente que es posible otorgar distinta importancia relativa a cada uno de ellos.

Se vislumbran algunas áreas donde es necesario concertar esfuerzos de investigación. Entre estas se pueden destacar los siguientes :

- Es necesario desarrollar modelos que consideren la interacción peatonal con el flujo vehicular estimado, índices de rendimiento en que se consideren los intereses peatonales.

- Considerando que el comportamiento peatonal es básico en la estimáción de demoras, es necesario calibrar funciones de demoras con información recogida en nuestro país.

- En la evaluación de impactos, además de las comparaciones de demoras, es posible considerar los costos derivados del aumento de consumo de combustible de emisión de contaminantes como los beneficios atribuibles a los peatones por la reducción de accidentes. Esto hace necesario fijar paytas para la comparación objetivo entre estos diversos aspectos.

## Referencias

- AKCELIK, R . (1985) SIDRA- 2 for traffic signal design. Traffic Engineering and Control, Vol 26, Nº 5, 256-216
- ALLSOP, R.E. (1981) Computer program SIGSET for calculating delay-minimizing traffic signal timings :description and manual for users. Research Report ISSN 0142-6052, Transport Studies Group, University College London, Inglaterra
- BROG, W. (1984) Does anybody still walk nowadays? Data and facts from the Federal Republic of Germany. Proceedings of the Fourth Annual Pedestrian Conference, University of Colorado at Boulder, 20-23 Septiembre 1983, E.E. U.U.
- CETUR (1975) Les Amenagements en Faveur des Pietons, Centre d'Etudes des Tranports Urbains, Bagneux, Francia.
- FHA (1982) Handbook of Computer Models for Traffic Operations Analysis, Federal Highway Administration; U.S. Department of Transportation, E.E. U.U.
- GRIFFITHS, J.D., HUNT, J.G. Y MARLOW, M. (1984) Delays at pedestrian crossings: 3 The development and validation of a simulation of a Pelican crossing. Traffic Engineering and Control, Vol 25, Nº 12, 611-616
- GRIFFITHS, J.D., HUNT, J.G. Y MARLOW, M. (1985) Delays at pedestrian crossings : 4 Mathematical models. Traffic Engineering and Control, Vol 26, Nº 5, 211-282
- HAKKERT, A.S. Y BEN-YAKOV, T (1985) Traffic signal design for pedestrians on divided highways. I.T.E. Journal, Vol 55, Nº 3, 42-45
- LOGIE, D.M.W. (1980) TRAFFICQ : a design aid for traffic manegement. User manual. Traffic Advisory Unit, Department of Transport, Inglaterra
- ROBERTSON, D.I. (1969) TRANSYT : a traffic network study tool. RRL Report LR 253, Road Research Laboratory, Crowthorne
- SECTU (1984) Consideraciones técnicas para la provisión de facilidades peatonales explícitas. Secretaría Ejecutiva, Comisión de Transporte Urbano, Santiago.
- TAYLOR, I.G. (1984) The effects of Pelican crossings facilities in a linked signal system : a simulation study. Research Report Nº 55, Transport Operations Group, University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra.
- UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE (1978) Encuesta de Origen-Destino de Viajes 1977 para el Gran Santiago. Convenio realizado por el Departamento de Ingeniería de Transporte, U.C. para el Ministerio de Obras Públicas de Chile, Santiago.



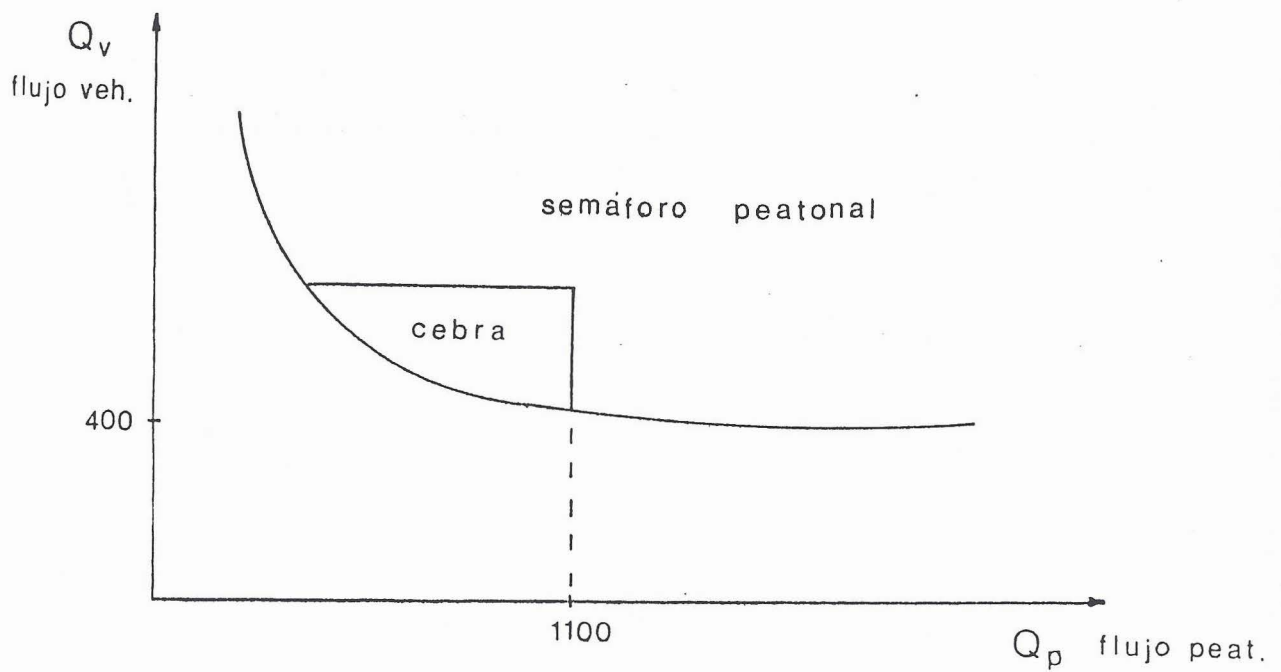


FIGURA 1 : Criterio británico de provisión de semáforo peatonal (SECTU, 1984)

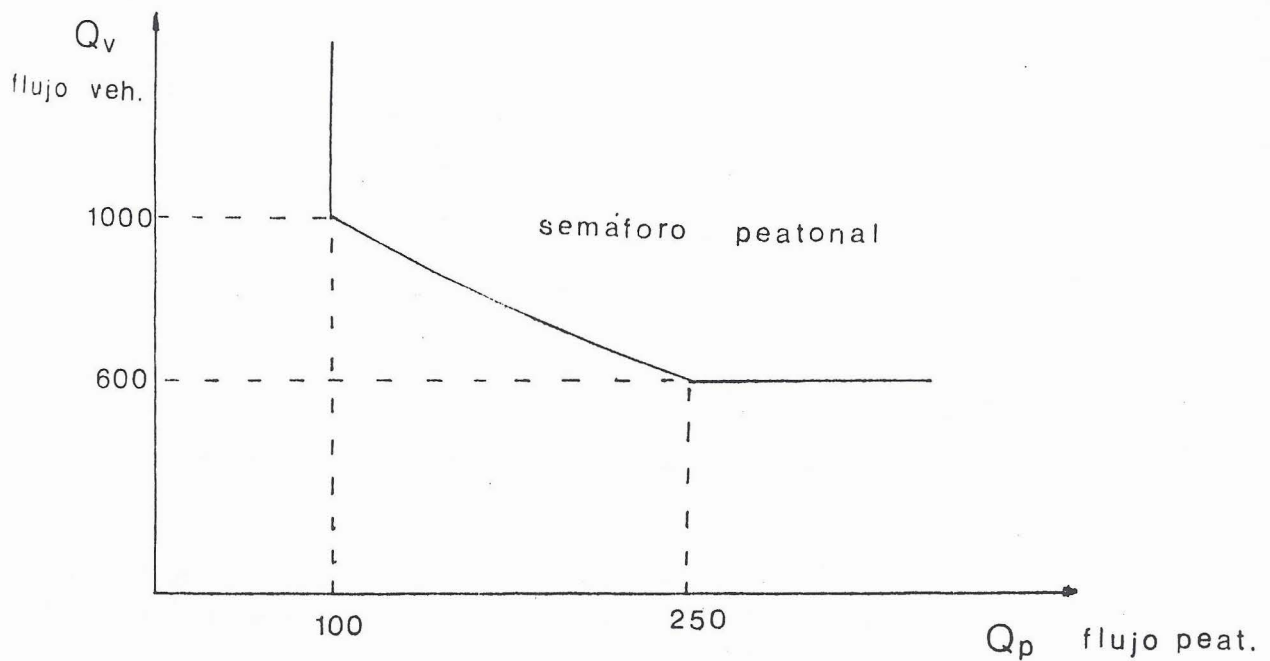


FIGURA 2: Criterio francés de provisión de semáforo peatonal (CETUR, 1975)

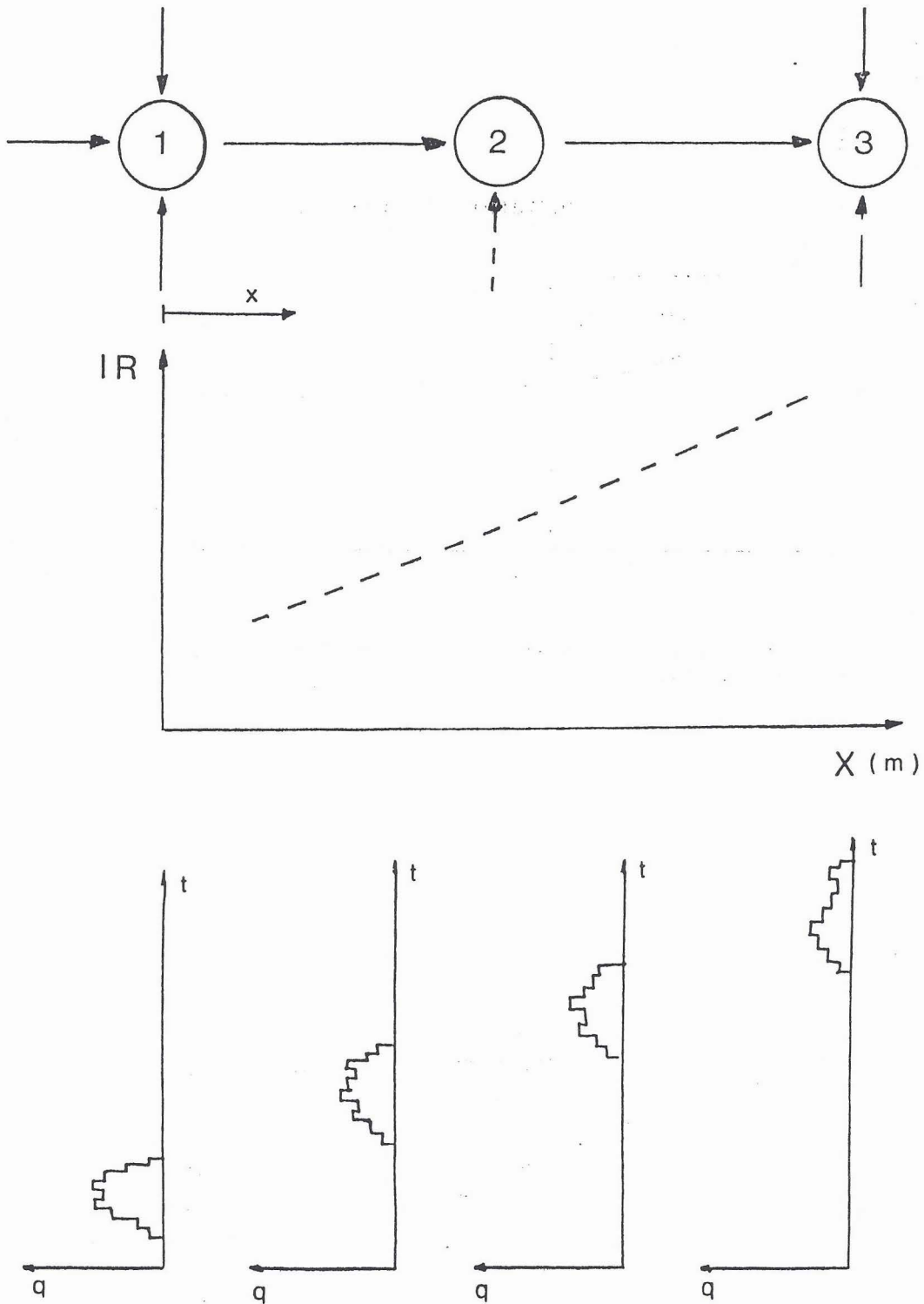


FIGURA 3: Relación del índice de rendimiento del TRANSYT con la distancia de localización del nodo peatonal y el efecto de dispersión del pelotón

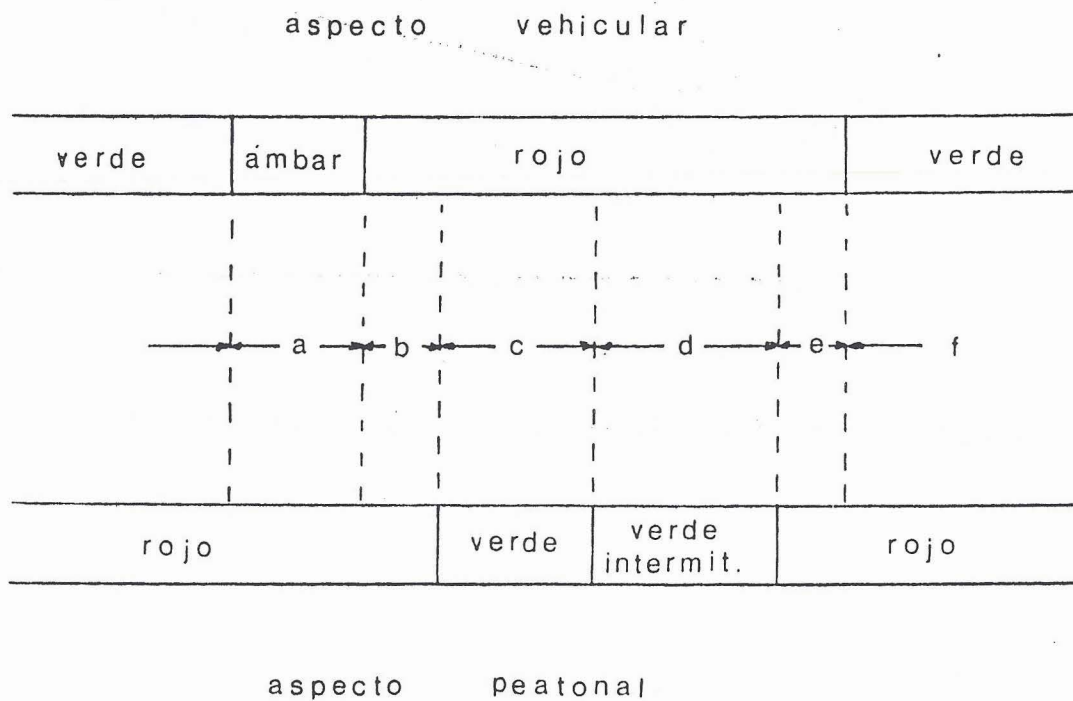


FIGURA 4 : Operación de un ciclo de semáforo peatonal (Adaptación de Griffiths et. al, 1985)



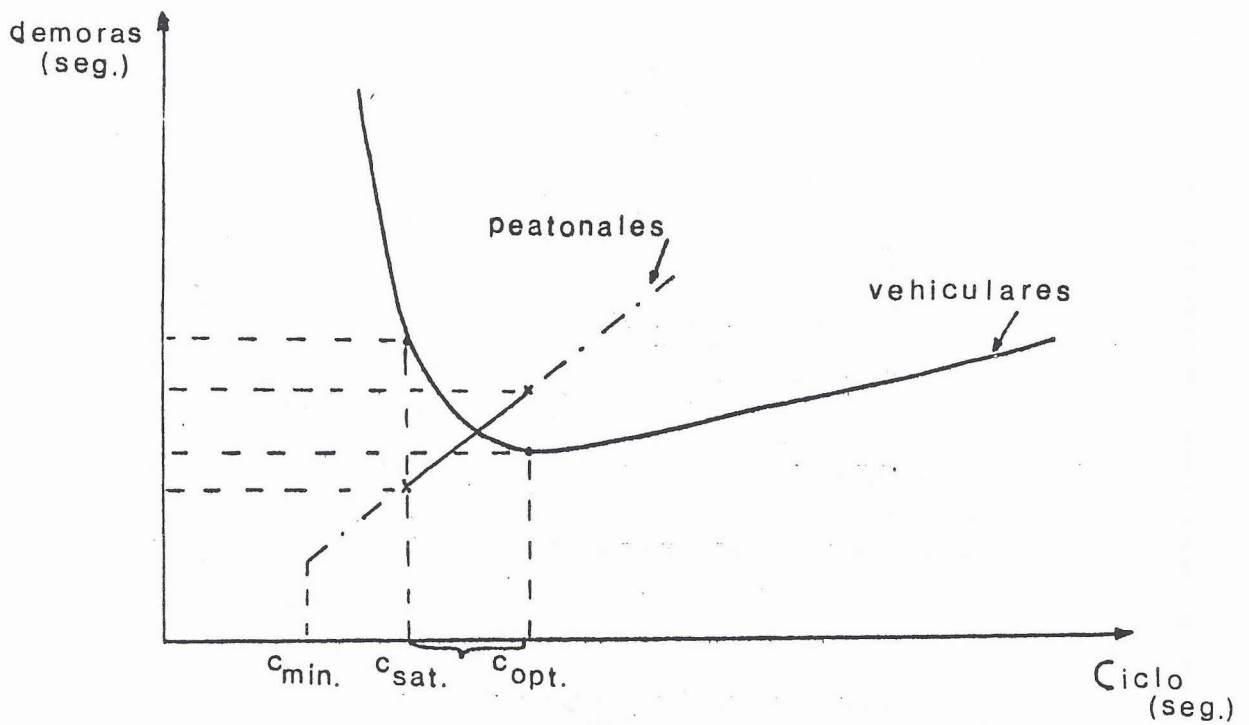


FIGURA 5 : Rango de ciclos factibles para semáforo aislado

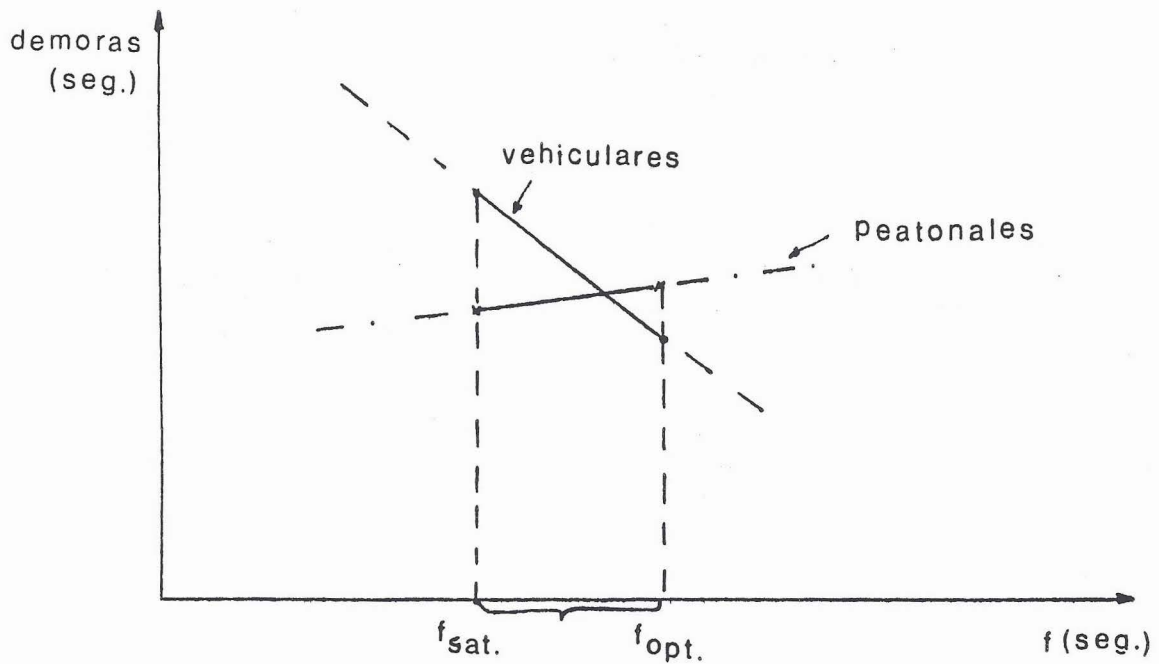


FIGURA 6 : Rango de tiempo de verde vehicular factible para semáforo inserto en una red.