

PROPOSICION Y APLICACION DE UNA
METODOLOGIA PARA PERIODIZAR EJES SEMAFORIZADOS

Marcelo Farah M.
INTRAT Ltda. **

R E S U M E N

Este trabajo es una ampliación de un método desarrollado por Gibson (1981) para periodizar intersecciones (o pequeñas redes) semaforizadas aisladas.

El método propuesto consiste básicamente en clasificar las intersecciones del eje en principales y secundarias, de acuerdo a criterios de mayor carga vehicular u otros. Posteriormente, se propone aplicar una variación del método de Gibson a cada una de las intersecciones principales. Luego se compatibilizan los resultados obtenidos en las distintas intersecciones principales, y finalmente, se realizan verificaciones de factibilidad en las intersecciones secundarias. Se muestra además una aplicación de este método a un eje semaforizado de la comuna de Santiago.

** Actualmente en CITRA Ltda.

1. Introducción.

La definición de períodos está orientada a resolver dos importantes áreas de problemas. Por un lado, problemas de evaluación económica, derivados de la no linealidad de ciertos impactos con respecto al grado de congestión. Por otro lado, problemas de diseño operacional, debido a que a cada período corresponde una determinada programación de los semáforos.

Si bien se ha avanzado bastante en la resolución de los problemas de programación y coordinación de semáforos, para lo cual se cuenta con múltiples métodos y programas computacionales, la determinación de períodos, que es un dato vital para proceder a programar y coordinar semáforos, ha quedado un tanto rezagada. Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de métodos de periodización lo suficientemente estructurados como para ser programados y resueltos con ayuda de computadores. Sin embargo, el método que aquí se propone para periodizar ejes dista mucho de ser completamente estructurado. Varias etapas quedan libradas a la experiencia y el criterio, y puede que durante algún tiempo la labor de periodización siga siendo una labor que requiera experiencia y sentido común, y no una tarea estructurada. No obstante, hay algunas etapas completamente estructuradas que permiten utilizar computadores como apoyo.

2. Supuestos.

i) Se supone que todas las semanas del año son exactamente iguales. Conscientes de que no es así, la aplicación que se expone se basa en mediciones realizadas durante una época "normal", es decir, mientras los estudiantes estaban en clases y la actividad económica se desarrollaba normalmente.

ii) Se supone que todos los días de semana son exactamente iguales, es decir, la semana puede dividirse en tres clases de días: Sábado, Domingo y días de semana. Sin embargo, se tomó la precaución de no realizar mediciones en días lunes o viernes, para evitar posibles transientes al inicio o al final de la semana de trabajo. Esta suposición también puede expresarse de la siguiente forma: se supone que los Martes, Miércoles y Jueves son representativos de los días de semana.

iii) El método propuesto se basa únicamente en un análisis de los flujos y las capacidades. Sin embargo, el consumo de combustible y la emisión de contaminantes varían en forma no lineal con la velocidad. Por lo tanto se supone que los lapsos no contiguos en el tiempo que se identifiquen dentro de un mismo período serán totalmente homogéneos desde el punto de vista de las velocidades involucradas, aún cuando haya diferencias de visibilidad, actividad peatonal u otras diferencias.

iv) Se supone que las líneas de detención tienen un flujo de saturación constante, a lo largo del día, independientemente de las variaciones en la actividad de estacionamientos o cualquier otra variación. Esta suposición puede ser particularmente

crítica en la aplicación expuesta, en la que la actividad de estacionamientos varía mucho a lo largo del día.

v) Se supone que siempre existe una programación para el semáforo de una intersección, que permite que todos los movimientos experimenten igual nivel de saturación. Esta suposición, en la práctica, se cumple sólo para los movimientos críticos de una intersección.

3. El Método.

El método propuesto puede resumirse en las siguientes etapas:

i) Identificación de intersecciones principales, de acuerdo al criterio de mayor carga vehicular u otros criterios, tales como el rol que se le quiera asignar a alguna calle en el futuro, aún cuando actualmente no tenga mayor importancia, etc.

ii) Análisis de las capacidades de las intersecciones principales. Se trata de determinar los flujos de saturación para cada línea de detención, y posteriormente determinar la "capacidad de la intersección", definida como la suma de las capacidades de cada una de las líneas de detención con una programación dada del semáforo. La discusión de esta definición de capacidad de una intersección no se incluye en este trabajo.

iii) Cálculo de los indicadores de saturación media, para cada "lapso básico", en cada una de las intersecciones principales.
 $a =$ indicador de saturación media de una intersección en un lapso básico.

$$a = \frac{\text{flujo total que accede a la intersección en ese lapso}}{\text{capacidad de la intersección}}$$

Si "lapso básico" queda determinado por la forma en que se recopila la información de flujos, y corresponde a los lapsos en que se totalizan los conteos. Usualmente se trabaja totalizando los conteos cada 15 minutos. En la aplicación que se expone, los "lapsos básicos" corresponden también a cuartos de hora.

iv) Definición de tramos en los cuales las demoras puedan considerarse lineales con la saturación. Gibson muestra que es posible linealizar por tramos y sugiere la siguiente linealización (op. cit.):

Tramo	Intervalo de la saturación
1	0 = 65%
2	65 = 80%
3	80 = 90%
4	Más del 90%

alrededor del 65% de saturación se produce el primer quiebre. Se propone linealizar por tramos basándose en esta definición de tramos, pero realizando las modificaciones que aparezcan como necesarias a la luz del análisis de los resultados de la etapa iii).

v) Identificar cada lapso básico de las intersecciones principales en términos de:

- tramo del indicador de la saturación media
- estructura de los flujos que acceden a la intersección.

La estructura de los flujos corresponde a la importancia relativa de cada flujo en el total del flujo que accede a la intersección, en un lapso dado.

vi) Agrupar lapsos básicos de acuerdo a los siguientes criterios:

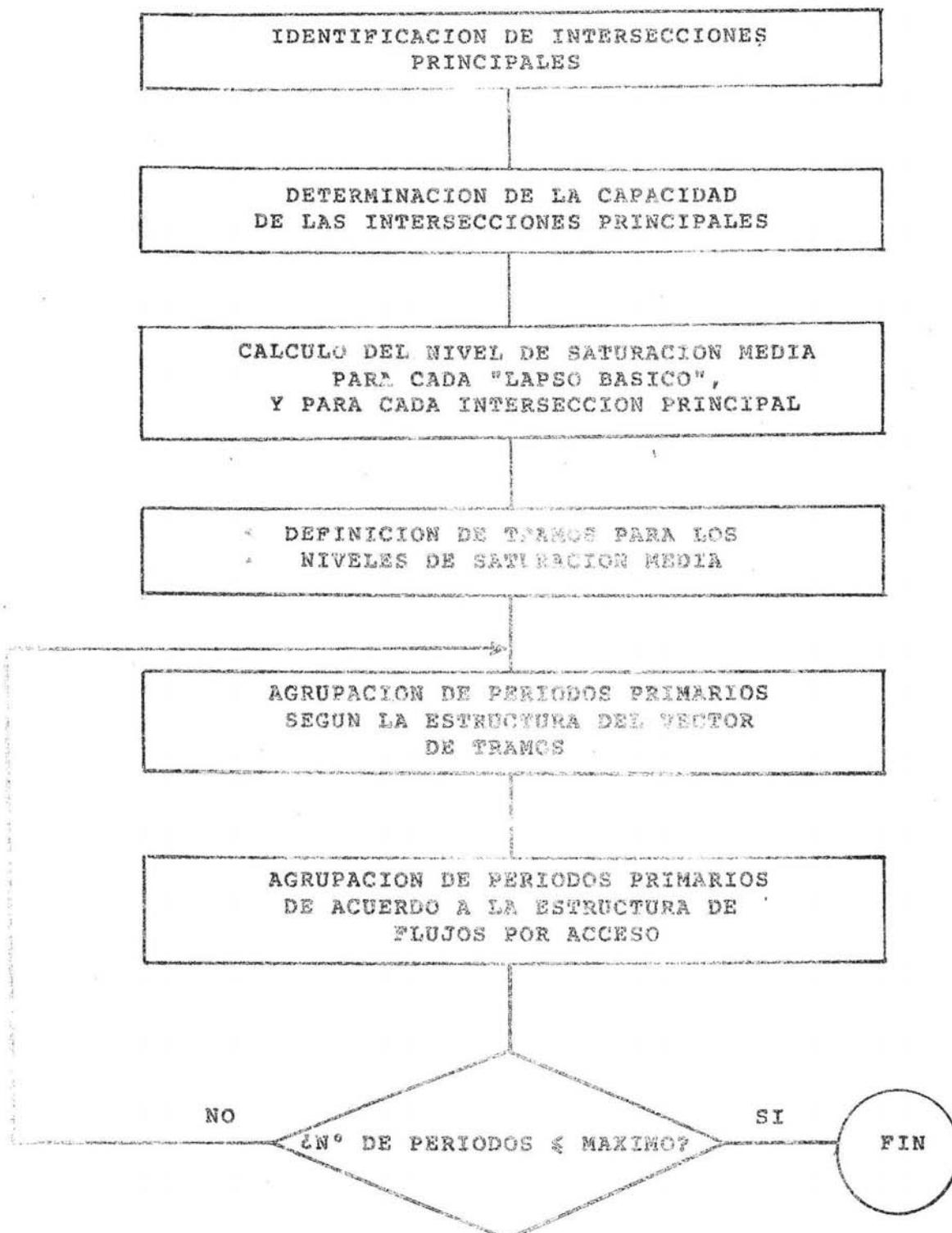
- que en ninguna de las intersecciones principales se produzcan cambios de tramo;
- que la estructura de los flujos que acceden a cada una de las intersecciones principales se mantenga aproximadamente constante;
- definir períodos que contengan al menos cuatro lapsos básicos contiguos, para alcanzar una precisión mínimamente aceptable en la calibración de parámetros.

vii) Verificar si las intersecciones secundarias pueden ser manejadas con un solo programa, al interior de cada período. Se propone realizar esta verificación, en cada intersección secundaria y en todos los períodos, de la siguiente manera:

- calcular el reparto del semáforo, considerando el ciclo definido para el eje en ese período, en base a los flujos medios en la intersección en ese período.
- determinar la hora de mayor carga vehicular de la intersección en ese período;
- calcular los parámetros de rendimiento que sean relevantes considerando la programación obtenida anteriormente y los flujos en la hora de mayor carga. Estos parámetros pueden ser: la saturación media por movimiento, las colas máximas por movimiento, las demoras, etc.

Si una intersección secundaria tuviera que ser analizada detalladamente, podría reducirse la longitud del lapso en el cual se buscan los flujos máximos dentro de cada período. Se propuso determinar la hora de mayor carga vehicular; podría buscarse la media hora más cargada, por ejemplo. Esto agudizará la diferencia entre los flujos medios y los flujos para los cuales se realiza la verificación, disminuyendo la probabilidad de no detectar problemas durante lapsos breves.

FIGURA N°1. EQUHEMA DEL METODO DE PERIODIZACION



4. Una Aplicación.

Este método de periodización se aplicó al eje de Portugal en el tramo comprendido entre Alameda Bdo. O'Higgins y Avda. Matta, excluyendo las intersecciones de los extremos.

La Avda. Portugal es una importante vía de dos sentidos de tránsito y dos pistas para cada sentido de circulación. Tiene un flujo importante de locomoción colectiva y, sobre todo, de taxis colectivos, además de autos particulares. Cuenta con edificios altos de uso residencial, la Posta Central de Asistencia Pública, una sede de la Universidad de Chile, gran actividad comercial, etc. Estas características hacen de la calle Portugal una vía con intensa actividad de estacionamientos y flujos peatonales relativamente altos.

En el tramo señalado, Avda. Portugal tiene 10 intersecciones semaforizadas y 4 intersecciones no semaforizadas (ref. 1).

4.1 Identificación de Intersecciones Principales.

No se dispone, por ahora, de un método riguroso para identificar las intersecciones principales, ni siquiera si se adopta únicamente el punto de vista de la carga vehicular en cada una de las intersecciones. Sin embargo, podemos señalar un criterio para descartar intersecciones en el proceso de búsqueda de las intersecciones principales (IP). Si una intersección, en un nivel de análisis muy preliminar, no alcanza el 65% de saturación media en ningún lapso, puede descartarse inmediatamente. El resto del proceso debe realizarse usando observación y buen juicio.

En este caso la identificación de intersecciones principales resultó ser una tarea inesperadamente sencilla. Desde el punto de vista del nivel de flujos, aparecieron tres intersecciones que tenían una amplia brecha en relación a las demás:

- Diez de Julio
- Curicó
- Diagonal Paraguay

4.2 Capacidades de las Intersecciones Principales.

Para determinar los flujos de saturación de cada una de las líneas de detención de las IP, se realizaron mediciones de flujos de saturación según el método de Akcelik (ref. 3), que fueron corroborados a la luz de las mediciones de flujo durante los períodos de sobre-saturación.

Llamaremos "capacidad" de una línea de detención (LD) al flujo máximo que puede cruzar la intersección durante el lapso que dicha LD tiene derecho a vía. Si llamamos:

FSAT = flujo de saturación de una cierta LD

v_e = verde efectiva para la LD (ref.3)

CAP = capacidad de la LD

C = ciclo de semáforo

entonces:

$$\text{CAP} = \frac{v_e}{C} \cdot \text{FSAT}$$

De acuerdo a la definición que adoptamos de "capacidad de una intersección", si una intersección tiene N líneas de detención, su capacidad está dada por:

$$T = \sum_{i=1}^N \text{CAP}_i$$

en que T es la capacidad de la intersección.

Las capacidades de las IP y sus LD se observan en el cuadro N°1.

4.3 Indicadores de saturación media.

Los indicadores de saturación media en cada lapso de 15 minutos de duración se observan en el cuadro N°2. Están expresados en porcentaje, es decir:

$$\alpha = \frac{\text{flujo total que accede en ese lapso}}{\text{capacidad de la intersección}} \times 100$$

Las mediciones de flujos se realizaron dos días de semana y parte del sábado. Los resultados de los días de semana se obtuvieron promediando los obtenidos en cada uno de ellos.

4.4 Definición de tramos.

En este caso, la definición de tramos de la saturación media en que puede considerarse que la demora varía linealmente con el grado de congestión, coincide con la que propone Gibson (op. cit.).

El criterio para decidir en qué casos hacer modificaciones a esta definición de tramos consiste en observar si los retrasados de la etapa anterior se agrupan caprichosamente por debajo y por sobre algunos de los límites de tramo. Por ejemplo, si durante un lapso largo los indicadores de saturación media de

CUADRO N° 1

Línea de detención	Capacidades de las líneas de detención (Veq/hr)			Capacidad de la intersección (Veq/hr)
	Calle Transversal	Portugal Norte	Portugal Sur	
Diez de Julio	2044	1330	1193	4573
Curicó	3500	1212	1212	5924
D. Paraguay	3545	867	2041	6453

CUADRO N° 2

INDICADORES DE SATURACION MEDIA POR INTERSECCION
POR CUARTO DE HORA (en %)

Cuarto	Intersección					
	Diez de Julio		Curicó		D. Paraguay	
	Semana	Sábado	Semana	Sábado	Semana	Sábado
07	3	45,8		45,5		36,4
	4	65,9		72,2		51,7
08	1	72,6		80,0		67,7
	2	83,6		91,4		74,8
	3	76,1		95,3		80,1
	4	78,3		84,3		81,9
09	1	66,0		75,2		76,5
	2	66,3		73,3		70,7
	3	65,5	53,6	71,6	47,3	63,6
	4	67,4	57,0	64,4	45,0	62,9
10	1	54,9	60,9	67,9	52,2	64,2
	2	65,0	65,0	62,1	49,6	57,4
	3	63,2	62,0	60,4	54,4	56,3
	4	69,9	63,9	64,8	54,5	62,2
11	1	70,5	68,3	64,4	54,3	59,2
	2	63,8	62,8	58,4	55,6	64,5
	3	73,5	71,6	64,6	61,2	63,2
	4	73,1	76,0	64,7	65,5	66,1
12	1	71,5	74,3	63,0	56,4	65,3
	2	66,8	84,6	64,8	55,0	70,3
	3	70,8	82,5	61,0	52,1	72,4
	4	64,7	80,6	64,1	58,9	76,0

Cuarto		Intersección					
		Dies de Julio		Curicó		D. Paraguay	
		Semana	Sábado	Semana	Sábado	Semana	Sábado
13	1	65,5	77,4	61,5	54,1	74,3	65,5
	2	61,1	72,7	56,1	50,8	73,0	70,7
	3	61,3	64,6	53,4	47,1	66,1	63,3
	4	56,9	55,2	53,3	42,3	62,5	60,3
14	1	54,9		48,0		60,6	
	2	49,8		52,9		59,5	
	3	54,2		54,5		63,7	
	4	54,1		46,0		57,7	
15	1	57,8		54,7		55,8	
	2	63,4		54,0		54,8	
	3	67,3		61,1		58,8	
	4	64,8		60,4		62,5	
16	1	72,8		61,9		63,1	
	2	74,3		60,4		58,8	
	3	65,9		57,8		64,0	
	4	67,3		61,5		70,9	
17	1	74,4		61,2		63,6	
	2	69,8		59,8		68,4	
	3	74,0		63,8		75,4	
	4	68,8		63,9		77,5	
18	1	80,0		67,5		86,2	
	2	78,7		72,1		88,6	
	3	80,0		72,5		82,6	
	4	70,8		68,1		84,9	
19	1	58,1		63,0		73,7	
	2	66,2		63,5		78,3	
	3	64,3		58,7		76,4	
	4	63,1		54,6		79,3	
20	1	48,1		54,2		66,4	
	2	50,0		50,8		69,9	
	3	53,8		49,4		67,6	
	4	48,9		44,5		63,2	

una (o varias) IP que se mantienen en el intervalo comprendido entre el 78 y el 82%, hay indicios de que podría ser conveniente ampliar el tramo de 65-80% a 65-82%.

Para darse cuenta de la "calidad" de una definición de tramos, es conveniente confeccionar una tabla similar a la que se muestra en el cuadro N°2, de los indicadores de saturación media por cuarto de hora, que contenga el tramo en que se encuentra cada cuarto de hora. El cuadro N°3 muestra los cuartos de hora y sus tramos respectivos, de acuerdo a la definición de tramos que se adoptó. Se puede apreciar que resultan lapsos más o menos largos con todos o casi todos sus cuartos de hora en el mismo tramo. Además, las puntas, especialmente la punta de la tarde, están claramente destacadas. Hay que considerar que es prácticamente imposible que una definición de tramos arroje resultados interpretables trivialmente.

4.5 Determinación de períodos.

Si llamamos "vector de tramos" a un vector (t_1, t_2, t_3) en que t_1 es el tramo de la saturación media de la primera IP, t_2 de la segunda y t_3 de la tercera, podremos construir un vector de tramos para cada cuarto de hora.

A continuación, podremos agrupar cuartos de hora que tengan el mismo vector de tramos. Llamaremos a estas agrupaciones de cuartos de hora "períodos primarios".

El cuadro N°4 muestra los períodos primarios que fue posible identificar en el caso del eje de Avda. Portugal.

En el cuadro N°4 se observa que hay 4 períodos primarios que tienen aproximadamente el mismo vector de tramos: (1,1,1). Ellos son:

días de semana de	10:00	a	11:30
días de semana de	13:30	a	16:00
Sábados de	09:30	a	11:30
Sábados de	13:30	a	14:00

La estructura de flujos por acceso para estos 4 períodos primarios se observan en el cuadro N°5.

CUADRO N°3

TRAMOS DE SATURACION MEDIA POR INTERSECCION
PARA CADA CUARTO DE HORA

Cuarto	Intersección					
	Diez de Julio		Curicó		D. Paraguay	
	Semana	Sábado	Semana	Sábado	Semana	Sábado
07	3	1		1		1
	4	2		2		1
08	1	2		3		2
	2	3		4		2
	3	2		4		3
	4	2		3		3
09	1	2		2		2
	2	2		2		2
	3	2		1		1
	4	2		1		1
10	1	1		2		1
	2	1		1		1
	3	1		1		1
	4	2		1		1
11	1	2		2		1
	2	1		1		1
	3	2		2		1
	4	2		2		1
12	1	2		2		2
	2	2		3		2
	3	2		3		1
	4	1		3		1
13	11	2		2		2
	2	1		2		2
	3	1		1		2
	4	1		1		1
14	1	1		1		1
	2	1		1		1
	3	1		1		1
	4	1		1		1
15	1	1		1		1
	2	1		1		1
	3	2		1		1
	4	1		1		1

Cuarto	Intersección							
	Diez de Julio		Curicó		D. Paraguay			
	Semana	Sábado	Semana	Sábado	Semana	Sábado		
16	1	2		1		1		
	2	2		1		1		
	3	2		1		1		
	4	2		1		2		
17	1	2		1		1		
	2	2		1		2		
	3	2		1		2		
	4	2		1		2		
18	1	2		2		3		
	2	2		2		3		
	3	2		2		3		
	4	2		2		3		
19	1	1		1		2		
	2	2		1		2		
	3	1		1		2		
	4	1		1		2		
		1						
20	1			1		2		
	2	1		1		2		
	3	1		1		2		
	4	1		1		1		

CUADRO N° 4

CARACTERIZACION DE PERIODOS DESDE EL PUNTO DE
VISTA DE LA SATURACION MEDIA (PERIODOS PRIMARIOS)

Lapso	Intersecciones		
	Diez de Julio	Curicó	D. Paraguay
<u>Días de semana</u>			
07:30 a 08:00	1	1 - 2	1
08:00 a 09:00	2 - 3	3 - 4	2 - 3
09:00 a 10:00	2	2	1 - 2 xx
10:00 a 11:30	1 - 2xx	1	1
11:30 a 13:30	2	1	2
13:30 a 16:00	1	1	1
16:00 a 18:00	2	1	2 - 1 xx
18:00 a 19:00	2	2	3
19:00 a 21:00	1	1	2
<u>Sábado</u>			
09:30 a 11:30	1	1	1
11:30 a 13:30	2 - 3xx	1	1 - 2xx
13:30 a 16:00	1	1	1

xx: Muy próximo al tramo indicado en primer término

CUADRO N°5

ESTRUCTURA PROMEDIO DE FLUJOS POR ACCESO (en porcentajes)

Período	Diez de Julio			Curicó			D. Paraguay		
	LD ₁	LD ₂	LD ₃	LD ₁	LD ₂	LD ₃	LD ₁	LD ₂	LD ₃
Día de semana									
10:00 a 11:30	37,8	27,7	34,5	55,7	19,2	25,2	29,4	14,4	56,5
Día de semana									
13:30 a 16:00	40,9	25,7	34,0	53,2	19,7	27,1	26,4	13,4	60,3
Sábado									
09:30 a 11:30	41,8	26,7	31,6	54,1	21,6	24,3	30,0	13,5	56,5
Sábado									
13:30 a 14:00	31,4	33,8	34,9	43,4	27,3	29,4	24,5	10,5	65,0

La LD₁ corresponde en todos los casos a la LD de la calle transversal. Las LD₂ y LD₃ corresponden a las de Portugal Norte y Sur respectivamente.

Se observa que, exceptuando el Sábado de 13:30 a 14:00 horas, los otros 3 períodos pueden agruparse ya que la estructura de flujos por acceso en cada una de las IP es similar.

Por otro lado, hay otros 3 períodos primarios que tienen aproximadamente el mismo vector de tramos. Ellos son:

- días de semana de 11:30 a 13:30
- días de semana de 16:00 a 18:00
- sábado de 11:30 a 13:30

El Sábado de 11:30 a 13:30 merece que se le analice más detalladamente, debido a que, a primera vista, su vector de tramos difiere de (2,1,2), que es el de los otros dos períodos primarios. En primer lugar, Diez de Julio tiene un lapso en que está en tramo 3. La progresión del indicador de saturación media de esta intersección, entre las 11:30 y las 13:30 horas del Sábado, es la siguiente: 71,6%, 76,0%, 74,3%, 84,6%, 82,5%, 80%, 77,4%, 72,7%. El cuarto 4 de las 12 horas está justo en 80% de saturación, que es el límite entre los tramos 2 y 3. Además el 3 de las 12 horas está en 82,5%, razonablemente cercano al tramo 2. Luego, no resulta desacabellado asignarle a Diez de Julio el tramo 2 en todo el período.

primario. Por otro lado, la intersección de Diagonal Paraguay pa reciera estar más cerca del tramo 1 que del 2, en general, en el período. Sin embargo, si observamos la progresión del indicador de saturación media, 56,2%, 59,0%, 60,4%, 68,5%, 64,6%, 64,8%, 65,5%, 70,7%, se ve que los cuartos 3 y 4 de las 12 horas están ligeramente bajo el 65%, y que por lo tanto resulta razonable asignarle el tramo 2 a todo el período primario.

Por lo tanto, puede considerarse que el período primario del Sábado entre 11:30 y 13:30 horas tiene vector de tramos (2,1,2). Veamos ahora la estructura de flujos y por acceso de cada una de las IP en estos períodos primarios.

CUADRO N°6

ESTRUCTURA PROMEDIO DE FLUJOS POR ACCESO (en porcentaje)

Período

Día de semana

de 11:00 a 13:30	36,8	29,8	32,4	49,4	23,2	27,5	30,0	13,6	56,5
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Día de semana

de 16:00 a 18:00	39,6	27,8	32,6	52,6	21,1	26,2	28,8	13,9	57,4
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Sábado

de 11:40 a 13:30	38,6	28,8	32,6	50,5	24,0	25,5	27,9	11,1	61,1
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Se ve que la estructura de los flujos por acceso se mantiene aproximadamente igual en las 3 intersecciones. Por lo tanto, es posible agrupar estos 3 períodos primarios en uno solo.

El resto de los períodos primarios no parecen susceptibles de ser agrupados, con lo cual se obtiene la siguiente periodización:

CADRO N°7

PERIODIZACION DEFINITIVA

Período	Día	Lapso	
1	Semana	08:00	a 09:00
2	Semana	18:00	a 19:00
3	Semana	09:00	a 10:00
4	Semana	19:00	a 21:00
5	Semana	11:30	a 13:30
	Semana	16:00	a 18:00
	Sábado	11:30	a 13:30
6	Semana	10:00	a 11:30
	Semana	13:30	a 16:00
	Sábado	09:30	a 11:30

Es necesario hacer notar que en general, no es posible definir un número muy alto de períodos. Usualmente los equipos aceptan un número máximo de programas, y ese número es impuesto en la periodización como el número máximo de períodos que es posible definir. Si el análisis arrojara un número mayor de períodos, tendrían que reagruparse períodos hasta cumplir la restricción del máximo señalado.

4.6 Verificación de factibilidad para las intersecciones secundarias.

Las verificaciones de factibilidad consisten en establecer si es posible operar las intersecciones secundarias con un solo programa en cada uno de los períodos encontrados. Se requiere, por lo tanto, información que no proviene de las etapas anteriores de la semaforización, sino de otras tareas relacionadas con la coordinación de semáforos. En este trabajo consideraremos como datos el ciclo común para los semáforos de la red en cada período y las entreverdes de cada uno de los movimientos de las intersecciones secundarias (ref. 3). En este caso, como se trata de intersecciones muy sencillas, consideraremos entreverdes iguales para todos los movimientos de una misma fase.

La elección del ciclo común para una red de semáforos, o un eje como en este caso, es un tema sobre el cual cabe desarrollar aún bastante investigación, y no se pretende abordar aquí este tema. Un método posible para elegir un ciclo común para una red, en un cierto período, puede verse en la referencia 4.

Se verá el caso de una intersección secundaria en un solo período, a modo de ilustración. Analizaremos la intersección de Marín con Portugal en la punta de la mañana. Se utilizará el criterio de que ningún movimiento alcance el 90% de la saturación en ningún cuarto de hora.

CUADRO N°8

FLUJOS EN LA INTERSECCION DE PORTUGAL CON MARIN EN LA PUNTA DE LA MAÑANA (veq/15 min)

	LD ₁	LD ₂	LD ₃	Total
08:00 a 08:15	145	200	183	528
08:15 a 08:30	298	225	190	713
08:30 a 08:45	250	250	168	668
08:45 a 09:00	278	263	169	710
Flujos medios	243	235	178	

FLUJOS EN (Veq/hr)

Flujos medios 971 938 710
Flujos máximos 1192 900 760

Los flujos máximos están calculados en base al lapso de 08:15 a 08:30, que es el más cargado.

La fase 1 (Portugal) concede derecho a vía a las LD 2 y 3; la fase 2 a la LD₁. El ciclo es de 70 seg. y las pérdidas de 7,2 seg. Los flujos de saturación son iguales: 3400 Veq/hr cada una. Una explicación detallada de los razonamientos y conceptos involucrados en los cálculos que siguen a continuación puede encontrarse en la referencia 4.

- v_{ei} = verde efectivo de la fase i (seg)
 C = ciclo del semáforo (seg)
 P = pérdidas (seg)
 Y_1 = factor de carga de la fase i
 Y_2 = factor de carga de la intersección
 x_i = saturación del movimiento más cargado de la fase i
 y_{SAT_i} = flujo de saturación del movimiento más cargado de la fase i (veq/hr)
 q_i = flujo del movimiento más cargado de la fase i (veq/hr)

Cálculo de la programación del semáforo

$$v_{e_k} = \frac{Y_1}{Y} (C - P) \quad v_{e_2} = \frac{Y_2}{Y} (C - P)$$

$$Y_1 = \frac{938}{3400} = 0,276 \quad Y_2 = \frac{971}{3400} = 0,286 \quad Y = 0,562$$

$$C - P = 62,8 \text{ seg} \quad v_{ei} = 30,8 \text{ seg} \quad v_{e2} = 32 \text{ seg.}$$

Cálculo de la saturación con los flujos en el cuarto de hora más cargado.

$$x_i = \frac{q_i \times C}{v_e \times FSAT_i} ; \quad x_1 = 0,602; \quad x_2 = 0,767$$

Se ve que la programación calculada sobre la base de los flujos medios del período puede operar perfectamente en el cuarto de hora más cargado. Si hubiera arcos con poca capacidad de almacenamiento podría incluirse también una verificación del tamaño de la cola.

Si resultara infactible operar la intersección secundaria con un solo programa, se pueden proponer modificaciones que van desde aumentar el ciclo común hasta la definición de un nuevo período, pasando por la proposición de rediseños geométricos menores, prohibición de virajes, etc., para la intersección secundaria en cuestión.

5. Discusión y Conclusiones.

i) Hay que señalar, en primer lugar, que el análisis que se realiza en cada una de las IP proviene de un método que fue originalmente desarrollado para intersecciones aisladas. Obviamente, si las intersecciones están en un eje semaforizado, no están aisladas. La consecuencia directa de ésto es que la llegada de vehículos a los accesos de las IP no sigue una distribución uniforme; queda regida por la programación del semáforo aguas arriba de la LD correspondiente.

En este trabajo no se analizan las distorsiones que pueden ocurrir a raíz de esta inconsistencia, en particular sobre el valor del índice de saturación media.

ii) La definición de capacidad de una intersección semaforizada que se utilizó debe analizarse más profundamente.

Se desechó la utilización de la definición que utiliza Allsop en la referencia 5, porque ella relaciona la capacidad de reserva con la estructura de los flujos por acceso.

iii) Hay que refinar el método en la etapa de agrupación de cuartos de hora. Por una parte, la agrupación de lapsos básicos para construir los períodos primarios se realiza sin verificar que la estructura de flujos por acceso se mantenga. Por otro lado, hay que precisar qué significa "igual estructura de flujos por acceso".

iv) Para el proceso de verificación de la factibilidad de operar las intersecciones secundarias con un solo programa en cada período, también se requiere un análisis de las capacidades de éstas. No se ha mencionado esta tarea como una etapa, tal como se hizo con las IP, puesto que la importancia de estos análisis

sis es menor en relación al desarrollo del método. De todos modos, es importante señalar que las capacidades de las intersecciones secundarias también deben ser determinadas rigurosamente.

v) Con sus inconvenientes, el método fue utilizado en un caso concreto, el eje de Portugal, y probó que puede arrojar resultados útiles. Fue un avance en relación a las formas en que se determinaba anteriormente los períodos.

Sin embargo, no tuvimos oportunidad de enfrentarnos a una situación exigente, en la que el análisis arrojara un número de períodos mucho mayor que el número máximo posible. En ese caso habría que proceder a agrupar períodos que ya hubieran sido considerados no agrupables. Queda pendiente, por lo tanto, la discusión de los criterios para realizar estas agrupaciones forzadas.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a Jaime Gibson por sus críticas y sus sugerencias para la presentación de este trabajo, a Eugenio Labarca por las ideas que me aportó en las primeras discusiones del Estudio de la calle Portugal, a Javier Guerrero y Lino Muñoz por su colaboración en la tarea de efectuar los numerosos cálculos que se requirieron, y a Maruja Morales y Jeannette Molina, quienes descifraron los originales y los pasaron a máquina.

REFERENCIAS

1. INTRAT Ltda. (1983). Estudio de Evaluación Económica de Mejoramiento de la Calle Portugal, trabajo realizado para la I. Municipalidad de Santiago.
2. GIBSON, J. (1981). Síntesis del Método de Periodización. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. (no publicado).
3. AKCELIK, R. (1981). Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis. Australian Road Research Report ARR N°123.
4. GIBSON, J. y otros. (1982). Metodología para la Programación de Redes de Semáforos de Tiempos Prefijados. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. Publicación ST-INV/01/82.
5. ALLSOP, R. (1972). Estimating the Traffic Capacity of a Signalized Road Function. Transportation Research, 6, 245-255.