

ESTUDIO DE COORDINACION DE SEMAFOROS  
AV. COSTANERA ANDRES BELLO

Alejandro Aldea Salazar  
Sergio Huerta Gómez  
Departamento de Ingeniería del Tránsito  
I. Municipalidad de Providencia.

RESUMEN

La Avenida Costanera Andrés Bello ha sido considerada dentro de la jerarquización de la red vial de Santiago, como una vía troncal. Su característica principal de funcionamiento es su condición de vía de paso con un esquema de flujos reversibles. Considerando la importancia de esta vía, los numerosos usuarios de ella y los cuantiosos costos y beneficios sociales asociados a la operación de los semáforos, una adecuada gestión de ellos es de mayor importancia.

En este trabajo se presentan las metodologías y resultados obtenidos en la etapa de evaluación económica del proyecto, y en la de programación y coordinación. También se destacan las características más importantes de los equipos de control utilizados.

ESTUDIO DE COORDINACION DE SEMAFOROS  
AV. COSTANERA ANDRES BELLO

I) Introducción.-

La Avenida "Andrés Bello es una vía de características de flujo reversible, fundamentalmente utilizada por flujo vehicular de paso de importante magnitud. Es por ello que en el "Estudio Integral de Tránsito para la Comuna de Providencia", encargado por la I. Municipalidad a la Sección Transporte del Departamento de Obras Civiles de la Universidad de Chile, se consideró atractivo evaluar un proyecto de interconexión para esta vía. Por la rentabilidad del proyecto resultante el Departamento de Ingeniería de la Dirección del Tránsito decidió llevarlo a cabo, para lo cual encargó al Departamento de Transportes de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica el estudio de coordinación y programación. Finalmente en conjunto con la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano se confeccionaron las especificaciones técnicas para el llamado a Propuestas Pública por equipos de control de tránsito adecuados para la exigencia del proyecto de coordinación de semáforos.

II) Evaluación Económica.-

i) Aspectos Metodológicos:

El objetivo de la coordinación de semáforos es conseguir la progresión más adecuada en el flujo circulante que redunda en una serie de beneficios determinados principalmente por ahorros en tiempo de viajes y ahorros por consumo de combustible.

A pesar de lo utilizada que es la coordinación de semáforos, no existen métodos simples para calcular la factibilidad económica de su implementación. Uno de los problemas que es preciso considerar es la modelación de la dispersión de "pelotones".

Los "pelotones" o grupos de vehículos son originados durante el período de verde efectivo por el semáforo precedente. A medida que este "pelotón" avanza los véhiculos que lo componen desarrollan distintas velocidades debido a las diferencias en las características y en el comportamiento de los conductores. Como resultado existe una dispersión del pelotón que modifica el patrón de llegada en el semáforo aguas abajo. Este efecto de dispersión aumenta a medida que la distancia entre las intersecciones semafORIZADAS es mayor.

Para considerar este efecto, la situación interconectada se modeló mediante el programa TRANSYT 7 en el cual viene incorporado un modelo de dispersión del pelotón.

La situación no coordinada, se modeló como semáforos aislados, suponiendo llegada aleatoria del flujo a cada intersección semaforizada.

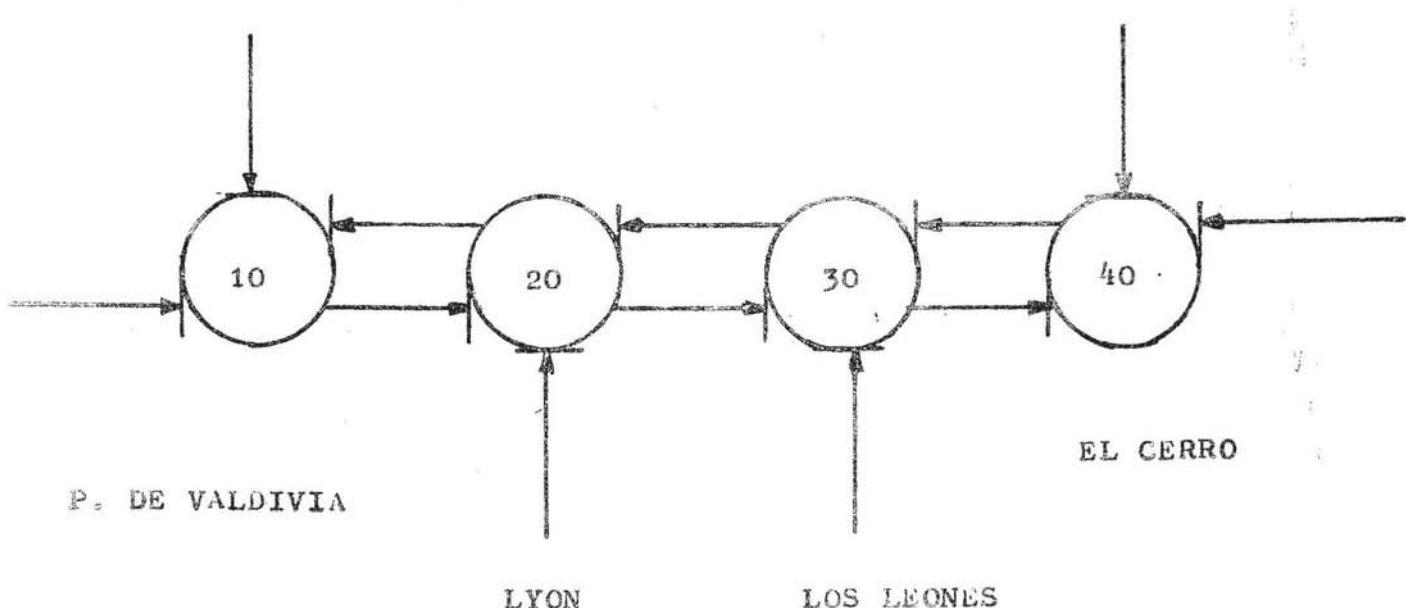
En ambas situaciones se determinaron las demoras y demoliciones, lo que se transformaron en unidades monetarias a través de los correspondientes precios de factores sociales. Los beneficios de la interconexión corresponden a la diferencia de costos entre ambas modelaciones.

ii) Resultado de la Evaluación:

a) Definición de la Red de Análisis

Se modeló el tramo entre Av. Pedro de Valdivia y Puente el Cerro, considerándose éste, el tramo de mayor rentabilidad.

La figura N° 1 representa la red definida:



**FIGURA N°1.**

b) Recolección de información de terreno.

Con el fin de conocer las características de operación de la red se recogió información de características físicas de la red, velocidades de operación, de flujos vehiculares, tasas de ocupación de vehículos y características de la señalización dinámica.

c) Definición de períodos.

El propósito de ello es dividir el tiempo en unidades homogéneas desde el punto de vista de la circulación.

Si bien la infraestructura permanece constante, su uso se modifica a lo largo del día, y según el día de la semana.

Se determinaron los siguientes períodos de análisis:

CUADRO N° 1

PERIODO	HORA	DIA	CARACTERISTICAS
1 A	17.00-21.00	Lunes-Viernes	Sentido único Hacia el oriente
1 B	12.00-14.00	Lunes-Viernes	Sentido único Hacia el oriente
2 A	7.30- 9.30	Lunes-Viernes	Sentido único Hacia el poniente
2 B	7.00- 7.30 9.30-10.00	Lunes-Viernes	Sentido único Hacia el poniente
3	10.00-12.00 14.00-17.00 9.00-21.00 10.00-21.00	Lunes-Viernes Sábado Domingo	Doble Sentido
Nocturno	21.00- 7.00	Lunes-Domingo	Doble sentido

Los beneficios por períodos y el total, derivado del proyecto de interconexión son los siguientes:

CUADRO N° 2

Beneficios (miles \$/año)

PERIODO	CONSUMO RALENTE	DE COMBUSTIBLE POR DETENC.	TIEMPO PASAJEROS	TOTAL
1 A	137.13	551,54	421.93	1110.60
1 B	19.20	176.50	58.30	254,00
2 A	167,60	562.80	543.90	1274.30
2 B	32.40	142.10	105.50	280.00
3	180.20	734.90	538.80	1453.90
TOTAL	536.53	2167.84	1668.43	4372.80

Los beneficios generados por la circulación nocturna se ignoraron.

Los costos se estimaron basándose en la inversión inicial de adquisición de equipos, los cuales eran del orden de \$ 1.200.000.- para equipos con capacidad para 3 planes distintos.

Así el valor presente con la tasa de descuento vigente en ese momento (1982) resultó:

$$VAN = \frac{4372,80 - 1200 \times 0,20}{1,2} = 3.444,00 \text{ miles } \$/\text{año}$$

Considerando las tasas actuales y la inversión que finalmente se decidió realizar en equipos de control se obtiene el siguiente valor presente.

$$VAN = \frac{4.372,80 - 6.614,98 \times 0,12}{1,12} = 3195,54 \text{ miles } \$/\text{año}$$

En este índice no se han considerado el incremento de beneficios al implementar equipos de control de mayor capacidad de operación.

Dada la rentabilidad del proyecto (los beneficios del primer año alcanzan al 48% de los costos). Se decidió implementarlos, para lo cual se realizó un estudio más detallado de programación y coordinación.

### III) Estudio de Programación y Coordinación

#### i) Introducción y consideraciones Metodológicas.-

Basándose en la experiencia y las mediciones prácticas con ocasión de la evaluación económica (ver capítulo II), se definieron a priori, períodos de mediciones para verificar y afinar las mediciones ya elaboradas.

Los períodos en que se midieron los flujos fueron los siguientes:

-	Día de semana de 7.30 a 10.00 horas
-	Día de semana de 12.00 a 15.30 horas
-	Día de semana de 18.00 a 20.00 horas
-	Sábado de 12.00 a 13.00 horas
-	Domingo de 12.00 a 13.00 horas

Para determinar los programas que se desarrollarían, se efectuó además un análisis de las estaciones N°069 y 070 de conteo intensivo de la Comisión de Transporte Urbano, durante 24 horas diarias y una semana de duración. Estas estaciones están ubicadas en Av. Andrés Bello con Francisco de Noguera, justamente en la mitad del eje en análisis el cual fue ampliado hasta el Puente Arzobispo.

Con estos datos de flujos, mediciones de velocidades vehiculares, flujos de saturación y datos de geometría obtenidos mediante un levantamiento topográfico especialmente realizado para el efecto, y utilizando el programa de coordinación TRANSYT se adoptaron programaciones para todos los cruces involucrados, en cuanto a ciclos repetitivos y desfases para 7 programas diferentes adoptados en la semana.

ii) **Conteos de Flujos Vehiculares.-**

Se efectuaron mediciones de flujos vehiculares, en los horarios indicados, en las siguientes intersecciones:

- Av. Andrés Bello/E. Yáñez/Puente Arzobispo  
- Av. Andrés Bello/Huelén  
- Av. Andrés Bello/Manuel Montt  
- Av. Andrés Bello/Calderón  
- Av. Andrés Bello/Pedro de Valdivia  
- Av. Andrés Bello/Nva. Lyon/Padre Letelier  
- Av. Andrés Bello/Nva. Los Leones  
- Av. Andrés Bello/Puente El Cerro  
- Av. Santa María/ Puente Arzobispo

iii ) **Flujos de Saturación.-**

Los flujos de saturación por pista fueron calculados por el método asincrónico, el cual consiste en medir, para cada fase del semáforo en que existe una cola de vehículos, el tiempo entre la pasada del cuarto y décimo vehículos en una pista.

iv) Velocidades vehiculares.

Las velocidades vehiculares se midieron mediante el método del vehículo flotante, utilizando un Registrador de eventos.

Los períodos en que se efectuaron las mediciones de velocidad fueron los mismos en que se efectuaron los conteos de tránsito.

v) Resultados de la modelación

Los períodos determinados, la hora representativa de diseño y las horas durante las cuales Av. Andrés Bello operará con el programa correspondiente, se visualizan en Cuadro N°3.

CUADRO N° 3

Periodos Modelados

PERIODOS	FLUJO HORARIO DE DISEÑO	HRS.CORRESPONDIENTE
1.-Punta mañana	semana 8.00~ 9.00	7.30-10.00 día lab.
2.-Punta tarde	" 18.30-19.00	17.00-21.00 día "
3.-Punta mediodía	" 13.00-14.00	13.00-14.00 día "
4.-Fuera Punta 1	" 12.00-13.00	10.00-13.00 y 16.00-17.00 día "
5.-Fuera punta 2	" 14.30-15.30	14.00-16.00 y 21.00-22.00 día "
6.-Punta Sábado	Sábado 12.00-13.00	11.30-14.00 Sábado
7.-Fuera Punta 3	Domingo 12.00-13.00	Domingo, festivos resto de día sábado y flujos nocturno de días laborales.

FUENTE : ELABORACION PROPIA.

Para cada uno de estos periodos se determinó, el ciclo, reparto y desfases para cada intersección semaforizada, es decir, Av. Andrés Bello con :

Eliodoro Yáñez	(Nodo 2)
Calderón	(Nodo 3)
P. de Valdivia	(Nodo 4)
Nueva de Lyon	(Nodo 5)
Padre Etelier	(Nodo 6)
Los Leones	(Nodo 7)
El Cerro	(Nodo 8)

De los resultados, entregados por el programa TRANSYT puede visualizarse a modo de ejemplo los ciclos para los diferentes Programas (ver Cuadro N°4)

CUADRO N° 4

CICLOS PARA LOS DIFERENTES PROGRAMAS

PERÍODO N°	CICLO (SEG.)
1	100
2	70
3	120
4	60
5	70
6	60
7	60

Fuente: Elaboración Propia.

IV) Características de los equipos de control.-

Los 6 controladores adquiridos por la I. Municipalidad de Providencia para la implementación del estudio de coordinación de semáforos de Av. Costanera Andrés Bello son fabricados por Ferranti Computer Systems en Inglaterra.

Este tipo de controlador está constituido de manera modular de tal forma que es flexible a su ampliación o su adaptación a requerimientos específicos.

El módulo central del controlador es un sistema de microprocesador equipado con memorias RAM y EPROM.

La información de entrada para la operación del controlador es normalmente obtenida de las siguientes fuentes:

- Detectores vehiculares
- Botoneras peatonales
- "Panel Policial"
- Terminal de Ingeniero
- Cuando es parte de un sistema de control de tránsito por una unidad terminal externa.

Las entradas y salidas al controlador se esquematizan en la Figura N° 2.

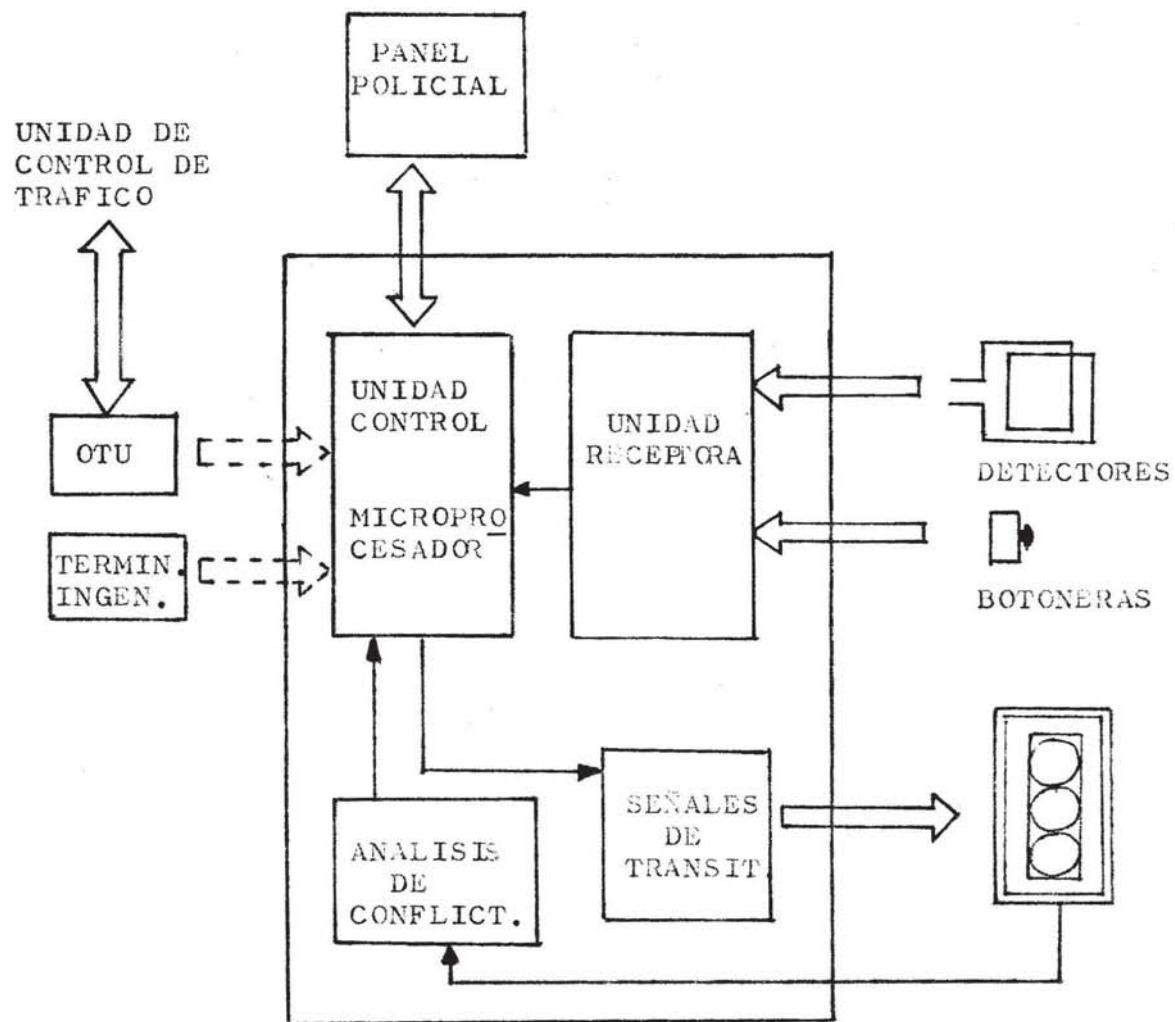


FIGURA N° 2.

Los detectores que se ubicaron en las calles secundarias permiten controlar la operación de la interconexión de acuerdo a la demanda que se presente en estas vías.

Las botoneras peatonales informan al controlador de una demanda por cruce peatonal.

El "panel de policía" permite seleccionar el modo de operación del controlador (manualmente comandado, por una unidad de control de tráfico, tiempo fijo etc.) Se puede también pedir la implementación de alguna fase en especial.

El terminal del ingeniero provee de una interfase programable entre la tarjeta de control del microprocesador y el ingeniero de tránsito, permitiéndole a éste inspeccionar y modificar los períodos de operación propios de la intersección (repartos secuencia de fases, etc.) y tener acceso a las bitácoras de fallas del sistema.

El controlador tiene la potencialidad de conectarse a un sistema central de control de tránsito, comandado por un computador central. Así las órdenes dadas por el computador son recibidas y ejecutadas por el controlador.

Otras características técnicas del controlador que cabe destacar son:

- Capacidad de manejar 8 fases distintas
- Posibilidad de 8 planes de sincronismos inalámbrico y repartos.
- Horarios de control para los 7 días de la semana.
- Bitácoras de fallas, etc.