

281

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO. SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS PROYECTO, OPERACION Y SERVICIO.

FECHA: DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977

PROFESOR Y/O TEMA

PROFESOR Y/O TEMA	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANT. DEL INTERES (AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION COMUNICACION CON LOS ASISTENTES).	PUNTUALIDAD
Introducción a la práctica de señalamiento de tránsito.				
Fases de los semáforos.				
Procedimientos para la determinación del tiempo de				
semáforos.				
Funcionamiento de los controles de tiempo fijo.				
Proyecto de determinación de tiempos de semáforos.				
Funcionamiento de los sistemas de control de tiempo fijo.				
Procedimientos para la determinación de tiempos de sistemas				
de semáforos.				
Demostración del equipo.				
Procedimientos para determinación del tiempo de sistemas de				



# EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS PROYECTO, OPERACION Y SERVICIO.

DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977

PROFESOR Y/O TEMA

	DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	NIVEL DE INTERES (AMENIDAD DE EXPRESION Y COMUNICACION CON LOS ASISTENTES)	PUNTUACION
semáforos de redes abiertas y cerradas.				
Prácticas de mantenimiento y operación.				
Funcionamiento y tipos de controles accionados por el				
tránsito.				
Control accionado por el tránsito. Aplicación y colocación				
del detector.				
Criterios para la determinación del tiempo de controles				
accionados y sesión de proyecto.				
Sistemas de control ajustable al tránsito.				
Criterios para la selección de semáforos.				
Demostración de un sistema de control.				

EVALUACION DEL CURSO.

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

1. ¿Qué le pareció el ambiente del Centro de Educación Continua?

Muy agradable

Agradable

Desagradable

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

Periódico  
Excelsior

Periódico  
Novedades

Folleto del  
Curso

Cartel  
mensual

Radio  
Universidad

Comunicación  
carta, teléfono  
no, verbal, etc.

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

Automóvil  
particular

Metro

Otro medio

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

---

---

---

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas? Si  No

6. ¿Qué curso le gustaría que ofreciera el Centro de Educación Continua?

---

---

---

7. ¿Qué servicios desearía que tuviese el CEC para los asistentes a cursos?

---

---

---

8. Otras sugerencias:

---

---

---

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. JORGE ANDRADE FERRER Montevideo No. 622 Col. Lindavista México 14, D. F. Tel: 567-94-28	CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS Baja California No. 272 Col. Condesa México, D.F.
2. ARQ. SANTOS ASCENCION ALCANTARA Calz. de las Américas No. 107 Col. Tehuacán, Pue. Tehuacán, Pue. Tel: 2-31-32	OFICINA DE INGENIERIA DE TRANSITO Palacio Municipal Tehuacán, Puebla
3. LEONARDO BAUTISTA REYES Dr. Luis Pasteur No. 137 Morelia, Mich.	DIRECCION DE POLICIA Y TRANSITO DEL EDO. DE MICH. Calle 20 de Nov. y Revolución s/n Morelia, Mich.
4. FCO. JAVIER CARRALES GUTIERREZ Pachuca No. 2925 Col. Mitras (Centro) México, D.F. Tel: 46-08-84	SEMAFOROS JOCAR Pachuca No. 2925 México, D.F.
5. ING. VICTOR CASTAÑEDA ALVARADO Priv. de Juan García No. 138 Durango, Dgo. Tel: 1-72-88	DIRECCION GRAL. DE TRANSITO Y TRANSPORTES Negrete No. 1462 Durango, Dgo.
6. ING. LUCIO DOMINGUEZ VELASCO Dirección de Tránsito del Edo. de Chiapas Tel: 2-03-92	DIRECCION GRAL. DE TRANSITO DEL EDO. CHIS. Conocido
7. ING. FLAVIO DURAN HERNANDEZ Niños Heróes No. 118 Col. Moctezuma, Tepic Nayarit Tel: 2-07-57	TRANSITO DEL EDO. DE NAYARIT Conocido

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
8. ING. CARLOS DURON MUÑOZ J. Trinidad Pedroza No. 132 Col. Fracc. Primavera Aguascalientes, Ags. Tel: 5-97-30	DEPTO. DE INGENIERIA DE TRANSITO AGS. Heroe de Nacozary y Av. A. López Mateos Aguascalientes, Ags.
9. SALVADOR FUENTES MORALES Av. 14 de Sep. Pte. No. 364 Col. Tuxtla Gutiérrez, Chis. Tel: 2-41-35	DIRECCION GRAL. DE TRANSITO Av. 14 de Sep. y 8a C. Pte. Tuxtla Gutiérrez, Chis.
10. EDUARDO GARCIA ARGUELLO Durango No. 401 Col. Isaac Arriaga Edo. de Michoacán	DIRECCION DE POLICIA Y TRANSITO DEL EDO. DE MICHOACAN
11. JOSE NATIVIDAD GARCIA TORRES Fco. I. Madero No. 10 Col. Loma Bonita Apaxco, Méx. Tel: 535-33-55	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F. Puente de Alvarado No. 84 México, D.F.
12. RAUL GARCIA ZAMORA Dr. Andrade No. 72 Depto. 6-D-8 Col. Doctores México, D. F.	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE Buenavista y Puente de Alvarado Estación del Metro Revolución México, D. F.
13. ING. JORGE GOMEZ LARA Av. 559 No. 202 Col. Uni d. San Juan de Aragon México 14, D. F. Tel: 551- 28-83	D. D.F. DIR. GRAL. O.P. SUB-DIREC. OBRAS VIALES Est. Norma! Metro, 1er. Piso (Tlaloc No. 3) México, D. F.
14. GILBERTO GONZÁLEZ GUERRA 23 de Abril 1305 Nte. Col. Fco. I. Madero, D. F. Tel: 54-26-79	SEMEX, S. A. Ave. Chapultepec No. 1836 Ote. México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- |   |  |
|---|--|
| 15. ARGELIO GUERRA GUERRA<br>Calle No. 57 - 113<br>Col. Puebla<br>México 9, D. F.<br>Tel: 558- 88 - 27                              | SEMEX, S. A.<br>Av. Chapultepec No. 1836 Ote.<br>Col. Monterrey<br>México, D. F.                                 |
| 16. ING. ROBERTO GUILLEN ALFONSO<br>Av. Palma del Viajero No. 309<br>Col. Las Palmas<br>Chiapas, Chis.<br>Tel: 2-28-37              | JUNTA LOCAL DE CAMINOS DE CHIAPAS<br>Y FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNI-<br>VERSIDAD DE CHIAPAS<br>Dom. Conocido |
| 17. JOSE CRUZ HERNANDEZ CARREON<br>Calle 1 B- No. 25<br>Col. Matamoros<br>Morelia, Mich.<br>Tel: 2-71-06                            | SRIA. DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y<br>OBRAS PUBLICAS CENTRO SOP GUANAJUATO<br>Carr. Km. 5 Guanajuato - J. Rosas.   |
| 18. ING. LUIS HERNANDEZ RIVERA<br>Calle 7 No. 1607-23<br>Col. Aguilera<br>México 15, D. F.  | DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE<br>TRANSITO, D. D.F.<br>Puente de Alvarado No. 84<br>México, D. F.              |
| 19. ING. JOSE LUIS HERNANDEZ ROSAS<br>Torres Adalid No. 1108-7<br>Col. del Valle<br>México 12, D. F.                                | SAHOP<br>Dr. Barragán No. 779, 4o. Piso<br>México, D. F.   |
| 20. MARCOS HERNANDEZ XOLALPA<br>Calle Sn. Juan No. 23<br>Col. Tláhuac,<br>México 23, D. F.  | CROUSE HINDS DOMEX<br>Rojo Gómez No. 277<br>México, D. F.  |
| 21. ING. HECTOR HERNANDEZ ZUÑIGA<br>Edif. 32-B-4 Unidad Juan de Dios Batfz<br>Col. Lindavista<br>México 14, D. F.<br>Tel: 754-11-11 | SCT DIRECCION GRAL. DE AUTOTRANSPORTE<br>Eugenia No. 197, 8o. Piso<br>México, D. F.                              |

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
22. ALFONSO LUJA AGUILAR Diamante No. 21 Col. Estrella México 14, D. F. Tel: 537-35-48	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F. Puente de Alvarado No. 84 México, D. F.
23. ING. JOSE MADRID FELIX Carretera Sanalona No. 1495 Col. Culiacán, Sin. Tel: 2-58-06	SOP COMISION DE ING. DE TRANSITO Blvd. Zapata y Progreso Culiacán, Sin.
24. ING. JUAN MALDONADO O. Charcas No. 571 Col. Mitras Monterrey, N.L. Tel: 46-88-08	SEMEX, S. A. Chapultepec No. 1886 Ote. Col. Buenos Aires Monterrey, Tel: 58-40-90
25. JOSE LUIS MEDINA DELGADO Plutarco Gonzalez No. 815 Col. Toluca Toluca, Edo. de México Tel: 4-13-04	DEPTO. ING. DE TRANSITO OFICINA DE DISPOSITIVOS Paseo Xinantecatl y 28 de Octubre Toluca, Edo. de México
26. ING. OSCAR MEDINA GAMEZ Puente de Alvarado No. 17-13 Col. Guerrero México 3, D. F. Tel: 546-49-17	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRAN- SITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F. Puente de Alvarado No. 84 2o. Piso México, D. F.
27. ING. JESUS MENDEZ MAYORA Retorno 40 No. 5 de Lic. Robelo Col. Jardin Balbuena México 9, D. F.	SAHOP Av. Xola No. 1755, 7o. Piso México, D. F.
28. ING. PEDRO MENDEZ ROJAS Multifamiliar IMSS Edif 16 Depto. E Col. Narvarte México 12, D. F. Tel: 590-24-61	CROUSE HINDS DOMEX, S.A. DE C.V. Javier J. Rojo Gómez No. 277 México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

29. ING. ENRIQUE MONTALVO HERRERA  
Calle 73 No. 500  
Mérida, Yucatán  
Tel: 3-56-96

DIRECCION GRAL. DE SEGURIDAD PUBLICA  
Y TRANSITO DEL EDO.  
Calle 72 X 39  
Mérida, Yucatán

30. MARIO MONTERO MANJARREZ  
Oriente 53 No. 338- 4  
Col Villa de Cortéz  
México 13, D. F.  
Tel: 590-37-61

D. D.F. DIRECCION GRAL. O. PUBLICAS  
SUB. DIRECCION O. VIALES  
Est. Normal Metro 1er Piso  
(Tlaloc No. 1)  
México, D. F.

31. RUBEN MORENO ZENDEJAS  
B. Domínguez 629 Nte.  
La Paz, B.C. Sur  
Tel: 2-20-92

H. AYUNTAMIENTO DE LA PAZ  
Dom. Conocido

32. VICTOR M. NAJERA COLUNGA  
Convento No. 2 Fracc., Satélite  
Col. Sta. Cruz del Monte  
Naucalpan, Méx.  
Tel: 572-24-71

SAHOP  
Xola No. 1755-7o. Piso  
México, D. F.

33. PEDRO OLVERA ROMERO  
Calz. La Naranja  
Col. Ahuizotla  
México 16, D. F.

DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE  
TRANSITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F.  
Puente de Alvarado No. 84 2o. Piso  
México, D. F.

34. GERARDO OROZCO CEREZO  
Calle 617 No. 54 OV u V Sección  
Col. Unidad Aragón  
México 14, D. F.

CROUSE HINDS DOMEX, S.A. DE C.V.  
Calz. Javier Rojo Gómez No. 277  
México, D. F.

35. TTE. JUAN JOSE PEREZ MOLINA  
Buenavista No. 515 A  
Col. Atasta, Villahermosa  
Tabasco  
Tel: 2-17-03

D. D. TTO. DE TABASCO  
Paseo de la Sierra s/n Vhsa  
Tabasco, Villahermosa

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
36. ING. LUIS PIÑA GUERRERO Newton No. 82-5 Col. Polanco México 5, D. F. Tel: 535-81-26	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F. Puente de Alvarado No. 84, 2o. Piso México, D.F.
37. FELIPE PREZA BARREDA Av. El Caporal, Andador 2 No. 36 Col. Villa Coapa México 22, D. F. Tel: 518-59-33	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE DEL D. D.F. Puente de Alvarado No. 84 México, D. F.
38. PEDRO JOSE QUIJANO YEPEZ Calle 53 No. 521 Mérida, Yuc. Tel: 1-39-14	DIRECCION GRAL. DE SEGURIDAD PUBLICA Y TRANSITO Calle 22 X 39 Mérida, Yuc.
39. EUSEBIO QUINTANA RODRIGUEZ Gómez Farías No. 146 Col. del Carmen Coyoacan México 21, D. F. Tel: 554-45-58	DELEGACION POLITICA, XOCHIMILCO, Gladiolas No. 160 Xochimilco México, D. F.
40. ING. CARLOS R. ROCCA ROCHA Quemada No. 308 A Col. Narvarte México 12, D.F.	DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE Conocido
41. HUMBERTO SOCORRO Y PADILLA Dragón No. 99 Col. Prado Churubusco México 13, D. F. Tel: 581-33-02	CROUSE HINDS DOMEX, S.A. DE C.V. Javier Rojo Gómez No. 2277 Col. Iztapalapa México, D.F.
42. ING. FERNANDO TADDEI CONTRERAS Antonio Gaona No. 2040 Col. Florida Monterrey, N.L. Tel: 58-01-59	SEMEX, S.A. Ave. Chapultepec No. 1836 Ote. Monterrey, N.L.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL SEMINARIO SOBRE SEMAFOROS  
( DEL 23 AL 27 DE MAYO DE 1977 )

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

43. ING. JORGE ELOY TOLEDO ROJAS  
Calz. de Tlaxcala No. 13  
Col. Roma Sur  
México 7, D. F.  
Tel: 564-98-76

UPIICSA -IPN  
Calle Té No. 850  
Iztacalco  
México, D. F.

44. NARCISO TRUJILLO MARTINEZ  
Oriente No. 229-B No. 85  
Col. Agrícola Oriental  
México 9, D. F.  
Tel: 558-71-69

GROUSE HINDS DOMEX  
Javier Rojo Gómez No. 277  
México, D. F.

45. TOMAS VILLASEÑOR VAZQUEZ  
Galeana No. 65  
Col. San Pablo Oztotepec  
México 23, D. F.

DIRECCION GRAL. DE INGENIERIA DE  
TRANSITO Y TRANSPORTES  
Puente de Alvarado No. 84  
México, D. F.

46. GUILLERMO VINIEGRA JUAREZ  
Playa Azul No. 371  
Col. Reforma Iztaccihualt  
México 13, D.F.  
Tel: 579-16-54

ABASTECEDORES GENERALES, S. A.  
Bolivar No. 574  
México, D. F.

X

DATE **4/3/76**  
 DRAWN BY **DB**

APPLIES ON  
 SEQUENCE CHART  
**4/3/76-DB**

CAM CHART  
**CLASS-ROOM EXAMPLE**  
**2-PHASE W/CONCURRENT REQ**  
**YELLOW CHANGE W/O RED CLEAR**

POSITION	CAM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
INTERVAL		1	1	1	2	3	4	5	6	1	1	1	2	3	4	5	6
	EE																
	DD																
	CC																
	BB																
	AA																
	Z																
	Y																
	X																
	W																
	V																
	U																
	T																
	S																
	R																
	P																
	O																
	N																
<b>CROSS ST - FLASH</b>	M							○	—							○	—
<b>MAIN ST - FLASH</b>	L			○	—							○	—				
<b>CROSS ST - DW</b>	K	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	○
<b>CROSS ST - WALK</b>	J					○	—							○	—		
<b>MAIN ST - DW</b>	H				○	—	—	—	—	—	—		○	—	—	—	—
<b>MAIN ST - WALK</b>	G	—	—	—	—				○	—	—	—	—	—			○
<b>CROSS ST - REQ</b>	F	—	—	—	—	—	—		○	—	—	—	—	—	—	—	○
"  "  - YELLOW	E							○	—								○
"  "  - GREEN	D					○	—	—	—	—	—			○	—	—	—
<b>MAIN ST - REQ</b>	C					○	—	—	—	—	—			○	—	—	—
"  "  - YELLOW	B	—	—	—	—	○	—							○	—		
"  "  - GREEN	A	—	—	—	—				○	—	—	—	—	—	—		○
<b>INTERLOCK</b>	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>INDEX</b>	56	○	—	—	○	○	○	○	○	○	—	—	○	○	○	○	○

ny. 231-Rev. 9/71

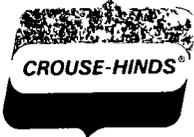
Place long lobes in all unmarked positions  
 Place short lobes in positions marked ○ S/W  
 Place abbreviated lobes in positions marked ○ LONG (copper)  
 ABBR. LONG (copper)  
 SHORT



DATE <b>4/3/76</b>	APPLIES ON CAM CHART	COLOR SEQUENCE CHART <b>CLASS-ROOM EXAMPLE</b> <b>2-PHASE W/ CONCURRENT PED</b> <b>(YLV CRSE W/O RED CL)</b>
DRAWN <b>DB</b>	<b>CLASS-ROOM EXAMPLE</b>	
CHECKED	<b>4/3/76-DB</b>	
APPROVED		

STREETS	NUMBER OF SIGNALS	LENS	DIAL SETTINGS (SECONDS OR PERCENT)															
			45	55	60	85	95	100			50	70	45	10	5	25	10	5
			45	55	60	85	95	100			50	70	45	55	60	85	95	100
			INTERVAL															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>CROSS (ΦB)</b>																		
<b>MAIN (ΦA)</b>																		

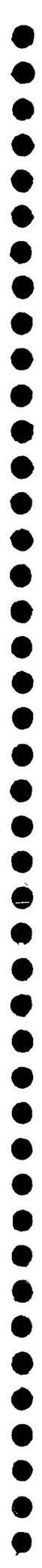
DRAWING NO



DS DOMEX, S. A. DE C. V.



TOMO I



PROGRAMA DE DESARROLLO

para el

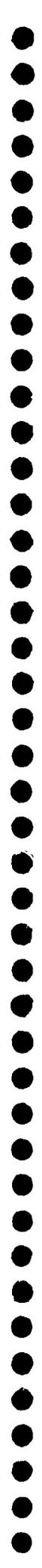
SEMINARIO-SEMAFOROS:  
PROYECTO OPERACION Y SERVICIO

Ciudad de México

Mayo 23 - 27, 1977

Presentado por

CROUSE-HINDS COMPANY  
DIVISION INTERNACIONAL DE OPERACIONES  
DE PRODUCTOS PARA EL CONTROL DEL TRANSITO



2

SEMINARIO SEMAFOROS:  
PROYECTO OPERACION Y SERVICIO

Ciudad de México

Mayo 23 - 27, 1977

P R O G R A M A

<u>Fecha</u>	<u>Hora</u>	<u>E v e n t o</u>
Lunes Mayo/23	9:00 - 9:30	Registro de Participantes.
	9:30 - 10:15	Objetivos del Curso.
	10:15 - 10:30	Receso (café).
	10:30 - 12:00	Introducción a la Práctica de Señalamiento de Tránsito.
	12:00 - 1:30	Fases de los Semáforos.
	1:30 - 2:30	Comida.
	2:30 - 4:00	Procedimientos para la Determinación del Tiempo de Semáforos.
	4:00 - 4:15	Receso (café).
	4:15 - 5:30	Procedimientos para la Determinación del Tiempo de Semáforos.
5:30	Preguntas y Respuestas.	
Martes Mayo/24	9:30 - 11:15	Funcionamiento de los Controles de Tiempo Fijo.
	11:15 - 11:30	Receso (café).
	11:30 - 1:30	Proyecto de Determinación de Tiempos de Semáforos.
	1:30 - 2:30	Comida.
	2:30 - 4:30	Procedimientos para la Determinación de Tiempos de Sistemas de Semáforos.
	4:30 - 4:45	Receso (café).
	4:45 - 6:00	Demostración del Equipo.

<u>Fecha</u>	<u>Hora</u>	<u>E v e n t o</u>
Miércoles Mayo/25	9:30 - 11:15	Funcionamiento de los Sistemas de Control de Tiempo Fijo.
	11:15 - 11:30	Receso (café).
	11:30 - 1:30	Procedimientos para Determinación del Tiempo de Sistemas de Semáforos de redes abiertas y cerradas.
	1:30 - 2:30	Comida.
	2:20 - 3:45	Procedimientos para Determinación del Tiempo de Sistemas de Semáforos.
	3:45 - 4:00	Receso (café).
	4:00 - 5:00	Prácticas de Mantenimiento y Operación.
	5:00 - 6:00	Demostración de Equipo.
Jueves Mayo/26	9:30 - 11:30	Funcionamiento y tipos de Controles Accionados por el Tránsito.
	11:30 - 11:45	Receso (café).
	11:45 - 1:30	Control Accionado por el Tránsito-Aplicación y Colocación del Detector.
	1:30 - 2:30	Comida.
	2:30 - 4:30	Criterios para la Determinación del Tiempo de — Controles Accionados y Sesión de Proyecto.
	4:30 - 4:45	Receso (café).
	4:45 - 6:00	Demostración de Equipo.
Viernes Mayo/27	9:30 - 11:30	Sistemas de Control Ajustable al Tránsito.
	11:30 - 11:45	Receso (café).
	11:45 - 1:00	Criterios para la Selección de Semáforos. *
	1:00 - 2:00	Comida.
	2:00 - 4:00	Demostración de un Sistema de Control.
	4:00 - 4:15	Receso (café).
	4:15 - 5:00	Ultima Sesión de Preguntas-Respuestas y Clausura.

PERSONAL DE INSTRUCCION

AVERY, Leon M.

Director, Productos para el Control de  
Trafico, Division Internacional, Crouse-  
Hinds Company, Syracuse, New York

O'DONNELL, Thomas F.

Gerente, Dcision de Productos de  
Control de Trafico, Crouse-Hinds  
Company, Syracuse, New York

INTRODUCCION A LA PRACTICA DE SEÑALES DE TRAFICO

## INTRODUCCION A LA PRACTICA DE SEÑALES DE TRAFICO

### A. Objetivos de la Instalación de Señales de Control

#### 1. Objetivo

- a. El objetivo general de las señales de control es facilitar un flujo eficiente y seguro de tráfico en las intersecciones a lo largo de rutas y calles.
- b. El objetivo principal del control en las intersecciones es la asignación del derecho de paso hacia las calles alternas, o aproximaciones hacia éstas.
- c. El objetivo secundario pudiera ser interrumpir el tráfico, a diferentes intervalos, a lo largo de una ruta para permitir la entrada ó cruce de otros vehículos ó peatones.

#### 2. Ventajas y Desventajas

- a. Las señales de control de tráfico, si están bien ubicadas y funcionan correctamente, brindan uno o más de las siguientes ventajas:
  - (1) Un flujo ordenado de tráfico en una intersección, una cola completa de vehículos se puede desplazar sin tener que arrancar y parar continuamente, como es el caso con las señales de parada.
  - (2) Reduce al mínimo los movimientos de conflicto. Reduce la frecuencia de cierto tipo de accidentes (ángulo derecho y peatón)
  - (3) Aumenta la capacidad de tráfico en las intersecciones.
  - (4) Bajo condiciones favorables, éstas se pueden coordinar para que faciliten un flujo continuo, o casi continuo a una velocidad determinada a lo largo de una ruta.
  - (5) Es más económico que el control manual.

- b. Las instalaciones de señales de tráfico, aún cuando las condiciones del tráfico las ameriten, pudieran estar ubicadas, diseñadas u operadas de forma inapropiada, y en consecuencia producirían las siguientes desventajas:
- (1) Aumentar el número de cierto tipo de accidentes (choques por detrás)
  - (2) Demorar el tráfico en general, especialmente en las horas no críticas.
  - (3) Interrumpir el flujo progresivo de tráfico en una ruta, y así aumentar las demoras y paradas.
  - (4) Alentar el uso de rutas menos apropiadas, a fin de esquivar dichas señales.
  - (5) Aumentar la interferencia entre peatones y vehículos.

B. Conceptos para la Instalación de Señales para el Control de Tráfico

1. Muchas personas creen que el control del tráfico por medio de señales es la solución a todos los problemas de tráfico en las intersecciones. Esto ha dado como resultado que se han instalado señales en muchas ubicaciones donde no existe una necesidad para ello. En términos generales, se deben tomar las siguientes medidas antes de instalar un sistema de señales para el control de tráfico.
  - a. Determinar la función de la intersección en relación con el sistema general de la calle. Se deberá asignar un sistema de calles principales para canalizar el flujo mayor de tráfico de una sección de la ciudad a la otra. Los controles en las intersecciones deben guardar relación con el sistema principal de las calles.
  - b. Para determinar la necesidad de señales y para diseñar la operación y control apropiado, se debe realizar un estudio en base a los datos de tráfico y las características físicas de la ubicación.
  - c. Determinar si mejoras en la disposición física ó los reglamentos pudieran ofrecer una solución más apropiada al problema de seguridad y eficiencia, que el sistema de control de tráfico por medio de instalación de señales.
  - d. Utilice las normas establecidas al determinar si se justifica un control en las intersecciones, y de ser así, cuál sería el dispositivo más apropiado para dicha ubicación. No se deben utilizar las normas para justificar un dispositivo ya pre-seleccionado.

C. Datos de Ingeniería Requeridos

Los siguientes datos son esenciales para determinar la necesidad de una instalación de señales, así como su diseño y operación del dispositivo de control.

1. El número de vehículos que llegan a la intersección cada hora desde cada entrada durante 16 horas consecutivas. Las 16 horas deberán representar el porcentaje de mayor tráfico del día.
2. El volumen de vehículos para cada movimiento de tráfico, deberá ser clasificado por tipo de vehículo (camiones pesados, carros de pasajeros y camiones livianos, y transporte público) por períodos de 15 minutos cada uno, durante las dos horas más críticas de tráfico por la mañana y por la tarde.
3. El tráfico de peatones también cuenta durante los períodos mencionados en el aparte (2), y también durante el período más crítico de tráfico de los mismos. En lugares donde los menores y personas mayores requieren consideración especial, los peatones se pueden clasificar y registrar por grupos de edad, en base a lo observado, como sigue:
  - a. Menores de 13 años
  - b. Entre 13 y 60 años
  - c. Mayores de 60 años
5. Se elaborará un diagrama que demuestre las condiciones de la disposición física, que incluya características tales como la geometría de las intersecciones, canalización, grados, restricciones de visibilidad, paradas de autobus y sus rutas, con condiciones para estacionar, señales en las vías, iluminación, entradas de estacionamiento, ubicación de cruces cercanos de líneas ferroviarias, postes e instalaciones de servicios públicos, y uso de los terrenos adyacentes.
6. Un diagrama de colisiones ocurridas en un año por lo menos, clasificados por tipo, dirección del movimiento, gravedad, hora del día, fecha y día de la semana.

(1) Ver sección 4C-1, Manual de "Uniform Control Devices for Street and Highways, 1971.

Los siguientes datos también son deseables para lograr un mejor entendimiento de la actividad en la intersección, y se pueden obtener durante los períodos especificados en el aparte (2) anterior:

1. Demora en segundos por vehículos, por separado para cada entrada.
2. El número y distribución de los espacios entre carro y carro en la calle principal cuando el tráfico proveniente de la calle alterna puede cruzar la intersección sin peligro.
3. La velocidad 85-percentil de los vehículos en las entradas controladas en un punto cercano a la intersección, pero sin que éstos sean afectados por el control.
4. El tiempo de demora para los peatones durante por lo menos dos períodos críticos de 30 minutos entre semana, ó períodos similares el Sábado ó Domingo.

D. Justificación para la Instalación de Señales de Tráfico

Las señales para el control de tráfico no deben ser instaladas a menos que se cumplan con una o mas de las condiciones indicadas en el MUTCD (2). Cuando se justifica la instalación de señales para control del tráfico se presume que además de su instalación de acuerdo con las normas, su control será programado correctamente, que el diseño geométrico de la intersección será el adecuado, y que las señales de tráfico adyacentes estarán bien coordinadas, y que el controlador de las señales de tráfico será seleccionado en base a un estudio profundo de ingeniería. A continuación se detalla un resumen de las justificaciones.

- Justificación 1 Volúmen mínimo de vehículos
- Justificación 2 Interrupción del tráfico continuo
- Justificación 3 Volúmen mínimo de peatones
- Justificación 4 Cruces de escuelas
- Justificación 5 Movimiento progresivo
- Justificación 6 Registro de accidentes
- Justificación 7 Sistemas
- Justificación 8 Combinación de las justificaciones

- (2) Ver Sección 4C-2, Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, 1971.

JUSTIFICATIVO	DESCRIPCION	No. de Canales		MINIMO RURAL	MINIMO URBANO
		Calle Princ.	Calle Alterna		
NO. 1  VOLUMEN  MINIMO  DE VEHICULOS	(A) Volúmen requerido para cada período de 8 horas en una calle principal (Total de ambas entradas)	1	1	350	500
		2 ó más	1	420	600
		2 ó más	2 ó más	420	600
	(B) Volúmen requerido para cada período de 8 horas en una calle alterna (En un sentido solamente) 2	1	1	105	150
		2 ó más	1	105	150
		2 ó más	2 ó más	140	200
		1	2 ó más	140	200
NO. 2  INTERRUPCION  DE TRAFICO  CONTINUO	(A) Volúmen requerido para cada período de 8 horas en una calle principal (Total de ambas entradas)	1	1	525	750
		2 ó más	1	630	900
		2 ó más	2 ó más	630	900
		1	2 ó más	525	750
	(B) Volúmen requerido para cada período de 8 horas en una calle alterna (En un sentido solamente) 2	1	1	50	75
		2 ó más	1	50	75
		2 ó más	2 ó más	70	100
		1	2 ó más	70	100
NO. 3  VOLUMEN  MINIMO  DE PEATONES	(A) Volúmen requerido para cada período de 8 horas en la intersección de una calle principal, en ambas entradas, ó			420	600
	Volúmen requerido para cada período de 8 horas la intersección de entrada de una calle principal en ambas entradas donde exista una isla de 4' ó más pies.			700	1000
	(B) Peatones por hora indicando el volúmen más alto de los que cruzan la calle principal (Utilice el mismo que A)			105	150

JUSTIFICATIVO	DESCRIPCION
NO. 4 CRUCES DE ESCUELAS	Número de espacios en el tráfico durante el tiempo que los niños están cruzando es menor al número de minutos correspondientes al mismo período.
NO. 5 JUSTIFICATIVO PROGRESIVO	<p>(A) La calle aislada de una vía o una calle con tráfico sin dirección donde las señales adyacentes están tan separadas que se perdería el control de vehículos y de su velocidad. 0</p> <p>(B) Donde las señales adyacentes de una vía doble no provee el control deseado del volumen de vehículos y la velocidad; y las señales adyacentes constituirían un sistema progresivo de señales.</p>
NO. 6 EXPERIENCIA DE ACCIDENTES	<p>(A) Una prueba con remedios menos restrictivos no ha reducido la frecuencia de los accidentes, y</p> <p>(B) LA cantidad mínima de accidentes donde hubo heridos ó daños a la propiedad por encima de \$ 100.00 en un período de 12 meses se puede corregir con la instalación de señales de tráfico, &amp;</p> <p>(C) Las necesidades de vehículos ó peatones en los justificativos anteriores no son menos del 80 por ciento, y</p> <p>(D) El flujo progresivo de tráfico se mantendrá si se instalan las señales</p>
NO. 7 JUSTIFICATIVO DE SISTEMAS	Dos o más rutas principales tienen un volumen de por lo menos 800 vehículos durante las horas críticas en un día de semana ó cada período de 5 horas de los Sábados y/ó Domingos.
NO. 8 COMBINACION JUSTIFICATIVOS	DOS o más de los justificativos anteriores, 1, 2 y 3 satisfacen hasta un 80 por ciento (Después de pruebas adecuadas con otros tipos de remedios)
<p>(1) Los justificativos rurales son aplicables a aquellos sitios donde la velocidad 85 percentil en la calle principal excede las 40 mph ó las intersecciones se encuentran en áreas aisladas con una población menor de 10.000.</p> <p>(2) El volumen mayor en una calle alterna es en una dirección durante algunas horas y en el sentido contrario en otras.</p>	

E. Definiciones

A continuación se detallan unas definiciones que se presentan en el vocabulario más corriente cuando se trata de señales de tráfico.

1. Señal para el control del tráfico: Generalmente se refiere a una instalación completa en una intersección, incluyendo las indicaciones de señales, equipo de control, cableado y equipo auxiliar.
2. Controles de las Señales de Tráfico: El controlador es el mecanismo completo de tiempo que controla las indicaciones de señales en una intersección. El dispositivo puede ser mecánico, electromecánico, electrónico, ó transistorizado.
  - a. Control - Tiempo fijo ó pre-programado
    - (1) Opera en base a un programa de tiempo predeterminado, otorgando un cierto período de tiempo a cada indicación (verde, amarilla, roja) para cada calle ó entrada.
    - (2) La secuencia de operación y tiempo se determina en base a los datos previamente recolectados.
    - (3) Puede tener una programación de tiempo que opera a toda hora (tiempo fijo); ó
    - (4) Puede tener una programación de tiempo múltiple que se puede cambiar a intervalos pre-determinados durante el día.
  - b. Control de Tráfico por Activador: un dispositivo de control cuya secuencia de operación y tiempo se determina al detectar las exigencias del tráfico en una o más entradas en la intersección. La activación puede ser a través de botones que oprimen los peatones ó detectores de varios tipos.
    - (1) Control Semi-Activado
      - (a) Detectores en entradas alternas solamente
      - (b) La luz verde en las calles alternas se determinan en base a la demanda del volúmen hasta un máximo pre-fijado.
      - (c) Las calles principales tienen una luz verde mínima pre-determinada.

(2) Control Totalmente Activado

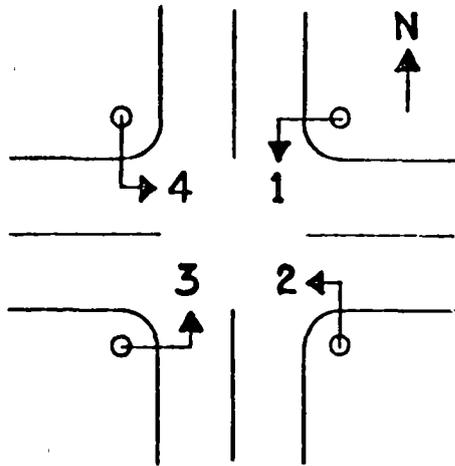
- (a) Detectores en todas las entradas
- (b) Los intervalos de luz verde para cada calle ó fase son determinados en base a la demanda del volúmen
- (c) El intervalo de la luz verde para cada fase se limita por medio del máximo prefijado.

(3) Volúmen - Control de Densidad

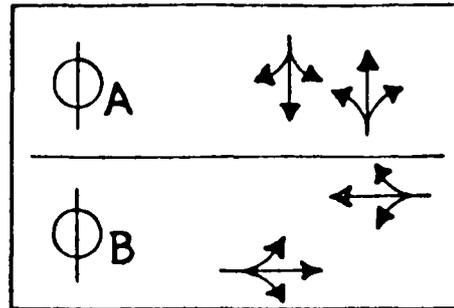
- (a) Detectores en todas las entradas
- (b) Los intervalos de luz verde para cada calle o fase se determinan en base a la demanda del volúmen y se modifican debido a otros factores:
  - (1) Avance ó densidad del tráfico con la luz verde, y
  - (2) Tiempo de espera y número de vehículos que esperan con la luz roja.

c. Tráfico - Control Ajustado: Es un dispositivo de control que opera las señales en una intersección, pero que es supervisado por un control maestro ó computadora que estudia el tráfico existente en la ruta ó el sistema de calles del área y selecciona un programa de tiempo para que se adapte a la demanda del tráfico en el sistema de las calles.

- 3. Indicación de Señales: La iluminación de una o más luces que que indican derecho de paso ó parada al tráfico.
- 4. Lentes de Señal Una porción del cabezal de señales que indica las señales.
- 5. Cabezal de Señales La unidad que contiene una serie de lentes de señales.
- 6. Ciclo de tiempo El número de segundos que dura una secuencia completa de indicaciones.
  - a. Una duración predeterminada para el control pre-programado.
  - b. Un ciclo variable de duración para controles activados de tráfico.



2 OPERACION POR FASES



MOVIMIENTO DE SEÑALES

INDICACIONES DE SEÑALES

1 & 3 N.B & S.B



2 & 4 E.B & W.B



INTERVALO	1	2	3	4
FRACCIONES DE SEGUNDOS	26	4	15	5
PORCENTAJE	52	8	30	100

← UN CICLO →  
 50 SEGUNDOS  
 100 POR CIENTO

Figura 1

Ilustración de las Fases de las Señales, Ciclo de Tiempo e Intervalos

7. Secuencia de Operación (secuencia de colores) Un orden consecutivo pre-determinado en la aparición de las indicaciones de señales (colores ó flechas) durante intervalos sucesivos dentro del ciclo total de tiempo.
  - a. Secuencias de operación normalmente fijadas en base a un control pre-programado.
  - b. Secuencias de operación normalmente pre-determinadas en base a un control activado, pero se pueden saltar indicaciones ó fases si no se detecta tráfico.
8. Intervalo del Ciclo Cualesquiera de las varias divisiones del ciclo de tiempo durante el cual las señales no cambian.
9. Fase de Tráfico (Movimiento de Tráfico) Una parte del ciclo de tiempo que se asigna a una combinación de movimientos de tráfico que reciben el derecho de vía simultáneamente durante uno o más intervalos.

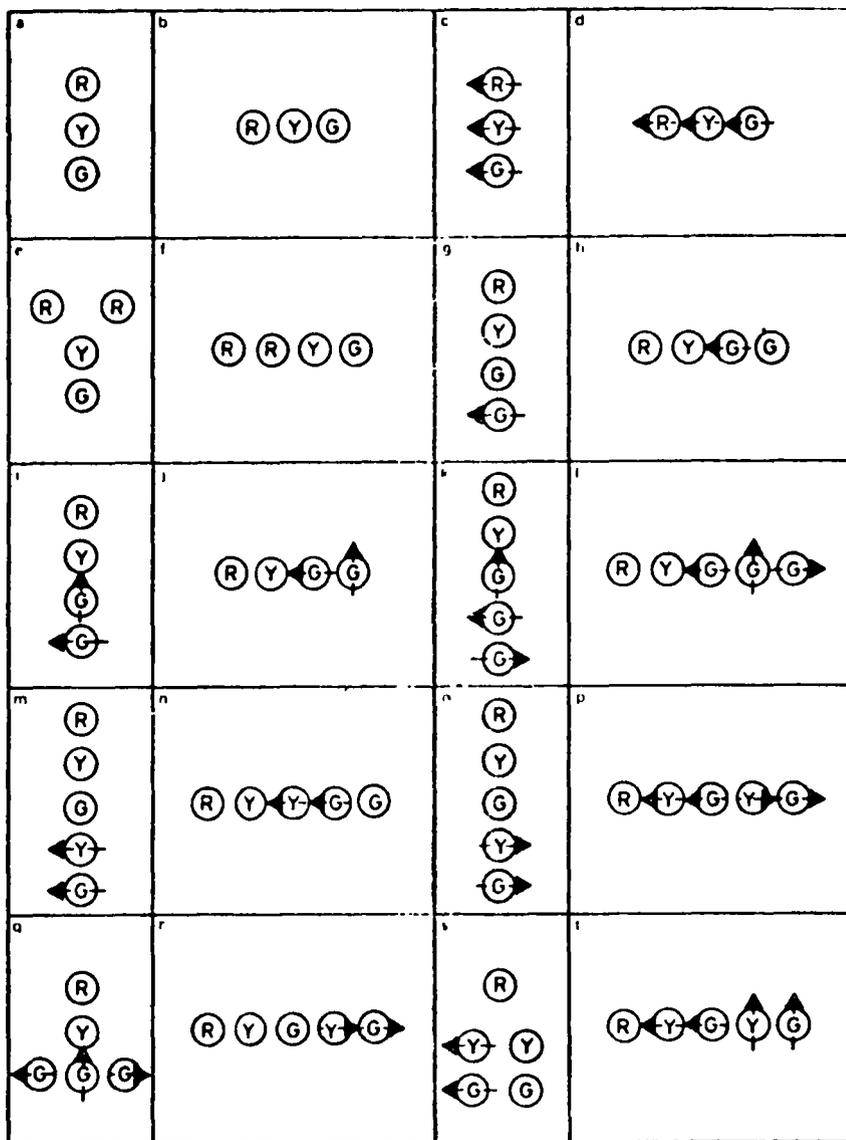
F. Colocación de los Lentes de Señales

1. Cada cabezal de señales, excepto aquéllos para los peatones, deberá tener por lo menos tres lentes de señal, pero no más de cinco.
2. Los lentes de señal serán colocados en forma vertical ú horizontal en línea recta. Excepto en una disposición vertical, los lentes del mismo color pueden estar colocados uno al lado del otro (Ver la Figura 1)
3. La ubicación relativa de los lentes dentro de un cabezal de señales será como sigue:
  - a. En un arreglo vertical, de arriba a abajo:

ROJO CIRCULAR  
Cruce a la izquierda FLECHA ROJA  
Cruce a la derecha FLECHA ROJA  
AMARILLO CIRCULAR  
Derecho FLECHA AMARILLA  
Derecho FLECHA VERDE  
VERDE CIRCULAR  
Cruce a la izquierda FLECHA AMARILLA  
Cruce a la izquierda FLECHA VERDE  
Cruce a la derecha FLECHA AMARILLA  
Cruce a la derecha FLECHA VERDE

b. En un cabezal horizontal, de izquierda a derecha:

ROJO CIRCULAR  
 Cruce a la izquierda FLECHA ROJA  
 Cruce a la derecha FLECHA ROJA  
 AMARILLA CIRCULAR  
 Cruce a la izquierda FLECHA AMARILLA  
 Cruce a la izquierda FLECHA VERDE  
 VERDE CIRCULAR  
 Derecho FLECHA AMARILLA  
 Derecho FLECHA VERDE  
 Cruce a la derecha FLECHA AMARILLA  
 Cruce a la derecha FLECHA VERDE



R: Roja  
 Y: Amarilla  
 G: Verde

Figura 2

Arreglos típicos de los Lentes en los Cabezales de Señales

G. Tamaño de los Lentes de Señales

Los lentes de señales deberán ser circulares, excepto aquéllos para peatones. Habrá dos tamaños de lentes, de 8 pulgadas y de de 12 pulgadas de diámetro. Normalmente se deben utilizar lentes de 12 pulgadas:

1. Para intersecciones con una velocidad de avance 85 percentil que exceda de las 40 mph.
2. Para intersecciones donde el sistema de señales puede ser inesperado.
3. Para ubicaciones con problemas especiales, tales como aquellas con iluminación que presenta conflictos ó competencia.
4. Para intersecciones donde los chóferes pueden observar el control de tráfico y las señales de control de dirección de canales simultáneamente.

H. Número y Ubicación de los Cabezales de Señales

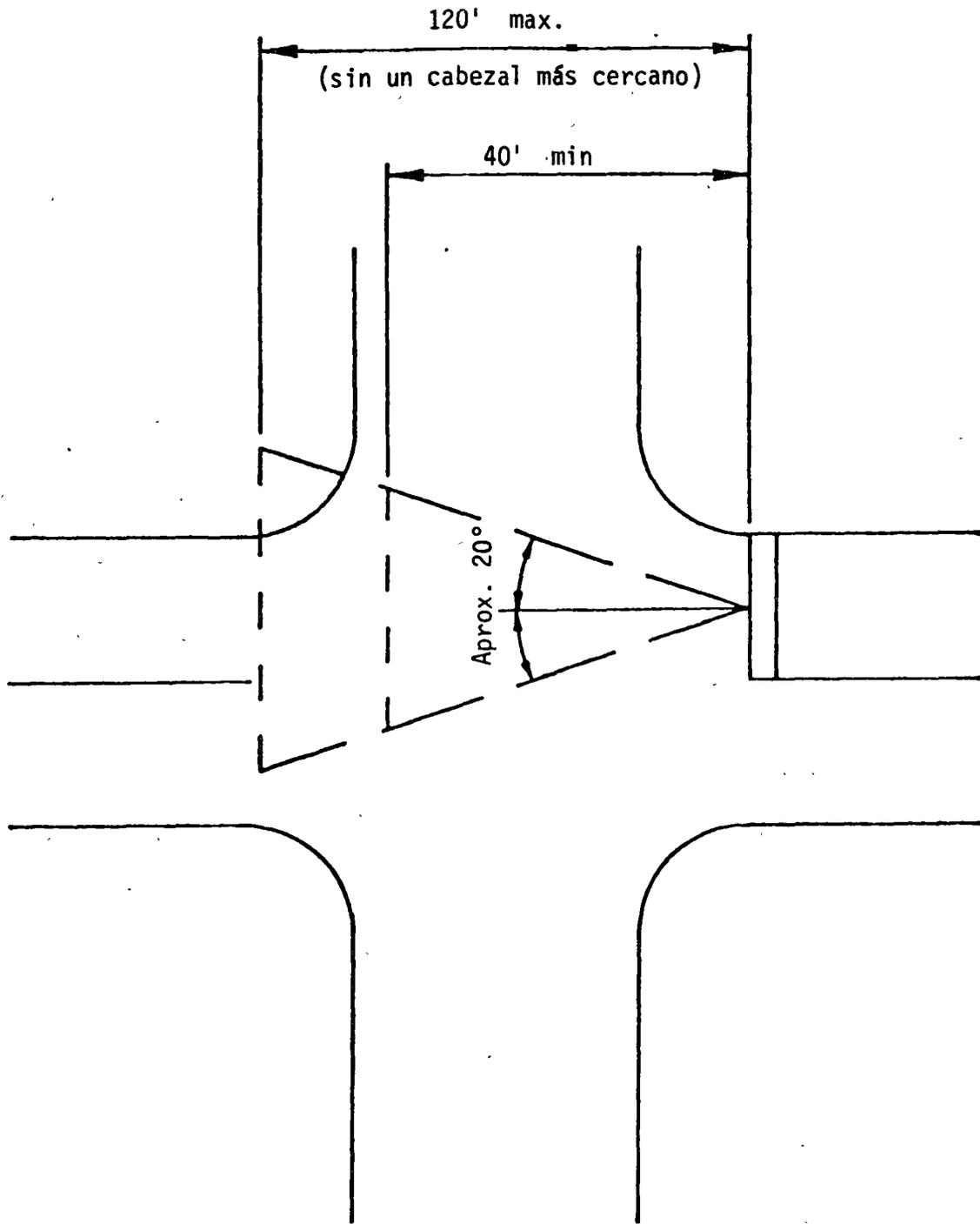
1. La consideración principal que se debe tener al colocar un cabezal de señales es su visibilidad. Los elementos críticos son ángulos laterales y verticales de visibilidad, con relación al nivel de los ojos del chofer. Al considerar la colocación de un cabezal de señales se tomará en cuenta la geometría de cada intersección, incluyendo los grados verticales y las curvas horizontales.
2. Se deben considerar las siguientes normas de visibilidad, ubicación y número de cabezales de señales:
  - a. Un mínimo de dos cabezales de señales para el tráfico que sigue directo, se instalarán de manera que se puedan ver continuamente desde las siguientes distancias antes y hasta el punto de parada, a menos que exista alguna obstrucción física para su visibilidad:

Velocidad 85-percentil	Distancia Mínima de Visibilidad (en pies)
20	100
25	175
30	250
40	400
45	475
50	550
55	625
60	700

- b. Se permite un sólo cabezal de señales para el control de cruce de un sólo canal, Además de dicho cabezal de señales se colocará el mínimo de dos cabezales de señales para el tráfico directo.
- c. Donde sea físicamente posible, por lo menos uno y preferiblemente ambos cabezales de señales deben ser ubicados a no menos de 40 pies ni más de 120 pies más allá de la línea de parada. (Figura 3).
- d. Cuando el cabezal de señales más cercano está a más de 120 pies de la línea de parada, se colocará un cabezal suplementario.
- e. Cuando ambos cabezales de señales están colocados sobre un poste, deberán estar a los extremos de la intersección, uno a la derecha y uno a la izquierda, ó sobre la isla, si esto resulta práctico.
- f. Cada cabezal de señales, hasta donde resulte práctico, deberán estar resguardados por viseras, de manera que el chofer sólo pueda ver la señal necesaria.

#### I Montaje de Señales

- 1. El tipo de montaje que se utilice depende de las prácticas acostumbradas en el estado.
- 2. Los tipos de montaje incluyen:
  - a. Poste
  - b. Brazo con mástil
  - c. Alambre
  - d. Combinaciones, tales como cabezales sobre postes y con mástil.
- 3. El objetivo principal en la selección y ubicación del cabezal de señales es que éste quede dentro del ángulo visual de los choferes de cada canal y cada entrada.
- 4. Se ilustran varias ubicaciones para diferentes diseños geométricos, en el Apéndice A.



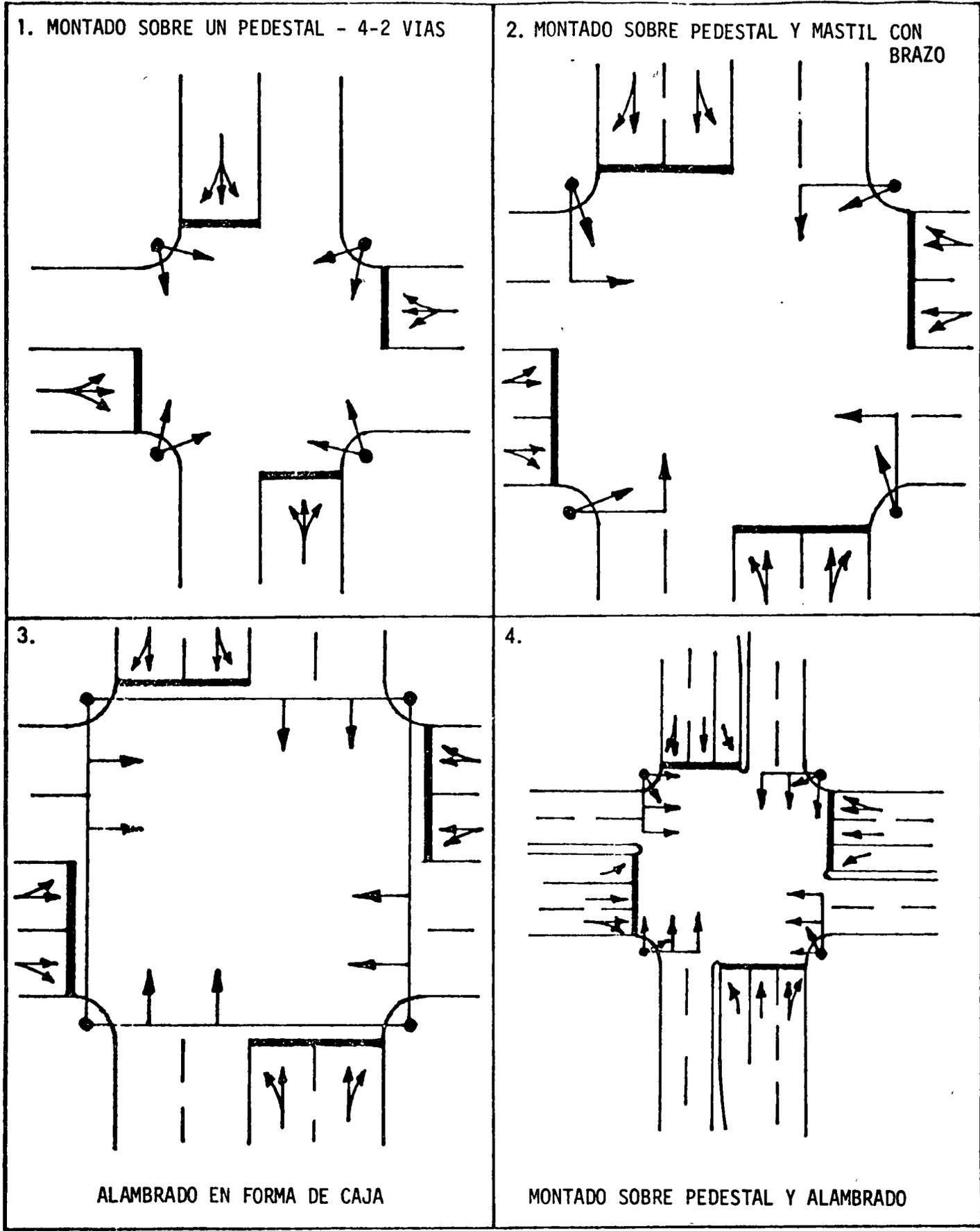
Ubicación deseable para  
los cabezales de señales

Figura 3

(1)

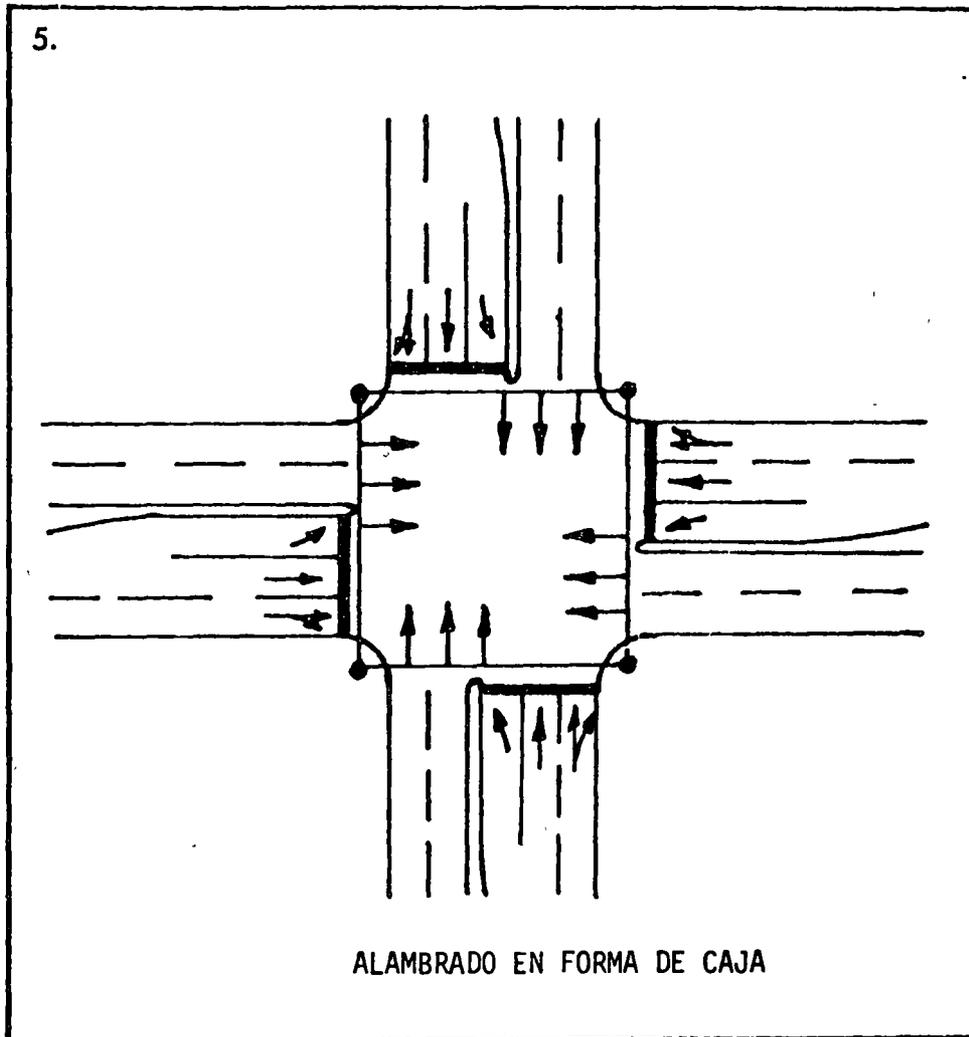
APENDICE A - DISEÑOS TIPICOS  
DE SEÑALES DE TRAFICO





DISPOSICION TIPICA DE SEÑALES DE TRAFICO

(3)



DISPOSICION TIPICA DE  
SEÑALES DE TRAFICO

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE AUSTRALIANO

Un Estudio de  
LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRAFICO  
con relación a la seguridad en la vía

Septiembre 1971

N. Clark<sup>+</sup> & K.W. Ogden\*

(<sup>+</sup>Dept. de Ingeniería Civil, Universidad de Melbourne;

\*Dept. de Ingeniería Civil, Universidad de Monash )

NR/13

SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL GOBIERNO AUSTRALIANO

Canberra, 1973

# DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRAFICO Y SEGURIDAD

## EN LA VIA

### SECCION 4.2 - SEÑALES DE CONTROL DE TRAFICO

La instalación de señales de control de tráfico es un método efectivo para reducir la gravedad de los accidentes que ocurren en las intersecciones y generalmente reducen el número de accidentes. En algunos casos, sin embargo, la frecuencia de los accidentes y las ratas han amentado inmediatamente después de la instalación de las señales de control de tráfico. Se hace referencia a las justificaciones Victorianas publicadas, ya que el Apéndice A demostrará que las señales de control de tráfico se justifican en base a las operaciones de tráfico y la experiencia que se ha tenido con los accidentes, cuando otras medidas menos restrictivas para la disminución de accidentes ha sido probada o considerada.

Se han elaborado muchos estudios sobre el efecto que tienen las señales de tráfico sobre los accidentes. Los resultados de estos estudios muchas veces no son consistentes y a veces son contradictorios. El efecto de las señales de tráfico varía considerablemente con los patrones de tráfico, la geometría de las calles, el diseño de las señales y otras características locales relativas a las intersecciones donde se instalan las señales de tráfico. Mientras que las señales de tráfico por lo general disminuye lo accidentes, no se pueden tomar como un remedio para los accidentes en las intersecciones.

Klar, en el Manual de Ingeniería de Tráfico (The Traffic Engineering Handbook - 1965) sugiere que:

"se puede esperar que el número y gravedad de los siguientes tipos de accidentes se disminuyan, cuando tanto los choferes como los peatones obedezcan las señales de tráfico"

1. Aquéllos accidentes que se producen en ángulo recto o por conflicto, tales como los que ocurren entre vehículos en los cruces.
2. Aquéllos que ocurren entre vehículos que se desplazan en sentido directo y los peatones que cruzan.
3. Aquéllos entre vehículos que se desplazan en sentido directo y los que cruzan a la izquierda \* y provienen de sentidos contrarios, si se da lugar a un intervalo de tiempo durante el ciclo de señales para un cruce a la izquierda \*

\* cruce a la derecha en Austria.

4. Aquéllos que ocurren debido a exceso de velocidad, en casos donde la coordinación de señales restringirá la velocidad, y la mantiene a una rata razonable."

"Por otra parte, las señales de control de tráfico no están destinadas a disminuir el siguiente tipo de accidentes:

1. Choques por detrás, los cuales generalmente aumenta después de instaladas las señales.
2. Los choques entre vehículos que se desplazan en la misma ó la dirección opuesta, en cuyo caso uno se cruza al canal del otro, especialmente si no existe una señal de intervalo para estos movimientos.
3. Accidentes entre peatones y vehículos que cruzan cuando ambos se desplazan durante el mismo intervalo.
4. Otros tipos de accidentes de peatones, si los peatones ó los choferes no obedecen las señales."

#### 1. EFECTO DE LOS ACCIDENTES

Existen muchas pruebas en cuanto a la efectividad de las señales de tráfico para disminuir los accidentes, en las intersecciones que las poseen. Estas pruebas se examinan inmediatamente después. Más adelante, se discute la importancia del mantenimiento y modernización de dichas instalaciones. Las señales de control de tráfico por lo general son instaladas en intersecciones aisladas, pero existen pruebas, aunque pocas, de que la coordinación entre las señales a lo largo de la vfa también pueden ser efectivas en disminuir los accidentes.

##### (a) Intersecciones con señales

Las investigaciones relacionadas con el efecto que tienen las señales de tráfico en las intersecciones hacen énfasis sobre el hecho de que algunos tipos de accidentes ocurren con más frecuencia y otros con menor regularidad, después de instaladas las señales (Solomon 1959). El estudio comprendió 39 intersecciones, tanto rurales como urbanas en Michigan. En general, la frecuencia de los accidentes aumentó en un 23%, el número de heridos se redujo en un 20% y los accidentes fatales se redujeron en un 50%.

La tasa de accidentes en estas 13 intersecciones aumentó en un 19% mientras que la tasa de heridos se redujo en un 43% y los accidentes fatales disminuyó en un 75%.

Los cambios en la frecuencia de los accidentes fueron como sigue:

Tipo de accidente	Frecuencia de Accidentes		Cambio
	antes	después	
Por detrás	96	288	+ 200%
De frente	23	59	+ 156%
De costado	38	66	+ 74%
En ángulo	259	128	- 51%
Otros	46	28	- 39%
Todos los accidentes	462	569	+ 23%

Fuente: Solomon, 1959

El aumento en el flujo del tráfico en las 39 intersecciones no se conoce, pero en 13 de ellas el flujo de tráfico aumentó en un 11% aproximadamente.

La frecuencia de heridos y muertes también disminuyó después de la instalación de señales. La gravedad de los accidentes disminuyó aunque la frecuencia de los accidentes aumentó. Solomon demostró también el efecto que tienen las señales sobre la rata de heridos y demás accidentes por cada 10 millones de vehículos que entraban en intersecciones era mayor en las más complejas. Se muestran las ratas y cambios actuales.

Intersección	número	Rata de Accidentes por cada 10 millones de vehículos			Rata de Heridos por cada 10 millones de vehículos		
		antes	después	cambio	antes	después	cambio
3 canales	2	17.2	29.7	+ 73%	17.9	11.6	- 35%
4 canales sin divis.	7	13.0	19.9	+ 53%	6.2	7.6	+ 23%
4 canales con divis.	3	13.5	11.4	- 16%	11.8	2.9	- 75%
Otros	1	41.2	12.9	- 69%	47.1	8.1	- 83%
Todas las intersec.	13	15.3	18.2	+ 19%	11.7	6.7	- 43%

Fuente: Solomon 1959

También se demostró que el cambio en el patrón de accidentes se vió afectado por el volúmen de tráfico que utilizaba la intersección. En las 13 intersecciones con un flujo de tráfico ya conocido, el promedio del volúmen era de 20.200 v.p.d. En aquéllas intersecciones con un volúmen mayor, hubo una disminución del 2% en la rata de accidentes y una disminución del 56% en la rata de heridos. Las intersecciones con un volumen menor señalaron un aumento del 32% en los accidentes después de instaladas las señales, pero con una disminución del 37% en el número de heridos.

Se llevó a cabo un estudio similar en Ohio, y éste demostró que en las intersecciones rurales con un volúmen de tráfico menor, el resultado fue totalmente opuesto. En este caso, sin embargo, sólo se examinaron las intersecciones rurales. Box (1970) resumió un estudio efectuado en 65 intersecciones y señaló que el número de accidentes en aquéllas intersecciones con un volúmen diario mayor del promedio de 11.000 vehículos aumento en un 27%. Para aquéllas intersecciones con un volúmen menor, el número aumentó en un 10%. El informe concluyó que para volúmenes de tráfico mayores de 9.000 a 11.000 v.p.d., las señales no tienen ningún efecto sobre el número de accidentes.

Aunque estos informes no son compatibles ya que los volúmenes no son similares, estas contradicciones enfatizan que es difícil llegar a conclusiones generales, en lo que concierne a este asunto.

Otro estudio en Michigan (Clyde, 1964) se llevó a cabo en intersecciones urbanas después de instaladas las señales. De nuevo se demostró que diferentes categorías de accidentes aumentaron, como sigue:

Tipo de accidente	Frecuencia del accidente		
	antes	después	cambio
ángulo derecho	242	134	- 45%
por detrás	259	514	+ 98%
cruce a la izquierda(ó su equiv.)	35	58	+ 66%
otros	85	124	+ 46%
Heridos y muertos	354	392	+ 11%
todos los accidentes	621	830	+ 34%

Fuente: Clyde, 1964

Smith y Vostrez (1964) han informado sobre los resultados obtenidos después de instalar señales en 32 intersecciones en California. En 25 de ellas, el número de accidentes disminuyó, y en 7 aumentaron. El resultado general durante el año fué una disminución a 152 accidentes (habían ocurrido 391 el año anterior, y sólo 239 en el año siguiente a la instalación), ó sea un porcentaje de 39%. El costo total de los proyectos fué de US\$ 461.000, a un costo por año por accidente de US\$ 3.000 menos. En otras intersecciones con datos insuficientes como para poder calcular el número de accidentes, al instalar 48 nuevas señales se observó una disminución de 508 a 345, ó sea 32% menos, aunque debido a la insuficiencia de los datos no se pudieron desglosar por tipo. En 16 de estas intersecciones, una vez instaladas las señales, la frecuencia de accidentes se redujo a 32. El costo del proyecto fué de US\$ 697.350, con un costo general por accidente por año de US\$4.000 menos. Smith y Vostrez también informan sobre resultados similares al modificar las señales y al instalar señales con dirección de canales.

Hammer (1970) informó sobre los resultados después de instalar 202 señales en California. El efecto general sobre la frecuencia de los accidentes por cada 10 millones de vehículos, se indica a continuación:

Intersección tipo	número	Accidentes		Rata de Accidente por cada 10 millones de vehículos		Cambio
		antes	después	antes	después	
3 canales	32	243	250	6.2	6.0	- 3%
4 canales	170	1886	1497	9.4	6.5	- 31%
todas las intersec.	202	2129	1747	8.8	6.4	- 27%

Fuente: Hammer, 1970, pag. 8

En el caso de las intersecciones de tres canales, no se registraron cambios significantes en la frecuencia de accidentes. Sin embargo, donde se canalizó el tráfico, se redujeron los accidentes de mayor gravedad. No fue posible aislar el efecto de la canalización y el de la instalación de seña-

les. No se puede ofrecer ninguna explicación en cuanto a la diferencia en el número de accidentes para intersecciones similares, como lo revelaron Solomon y Hammer.

En las instalaciones para cuatro canales, se registraron los siguientes cambios en el tipo de accidente, en todas las intersecciones:

Tipo de accidente	Frecuencia del Accidente antes	después	Cambio
Cruce a la izquierda	369	318	-14%
por detrás	329	625	+ 90%
ángulo derecho	920	219	- 76%
otros	268	335	+ 25%
de día	1304	992	- 24%
de noche	582	505	- 13%
daño a la propiedad solamente	1185	1020	- 14%
Heridos y muertos	701	477	- 32%
Todos los accidentes	1886	1497	- 21%

Fuente: Hammer, 1970, pág. 13

Estos resultados también demuestran un aumento en cierto tipo de accidentes después de instaladas las señales de tráfico en las intersecciones de cuatro canales, especialmente en cuanto se refiere a choques por detrás. Sin embargo, el efecto perseguido es la disminución de la severidad de los accidentes, tal como se refleja en la disminución de heridos y muertes, en comparación con la disminución relativamente menor en cuanto a accidentes con daños a la propiedad solamente. La disminución en los accidentes acaecidos durante el día excede la disminución en aquellos que suceden de noche.

Hammer también demostró que el número de accidentes disminuyó a medida que aumentó el flujo de tráfico. Sin embargo, en lugares con grandes volúmenes de tráfico el objeto era reducir el número y frecuencia de los accidentes.

La siguiente tabla señala en detalle los cambios registrados en la frecuencia y rata de accidentes por cada 10 millones de vehículos en las intersecciones con tráfico en sentido directo, ó sea sin cruces. Observe que en las 14 intersecciones no supervisadas la frecuencia de accidentes aumentó de 79 a 186.

Promedio del flujo mayor de tráfico diario - A.D.T.	Número de Intersecciones	Frecuencia de Accidentes		Rata de Accidente por cada 10 millones de vehículos		Cambio
		antes	después	antes	después	
menos de 12.000	49	455	357	13.9	8.8	- 37%
12 - 18.000	47	516	412	10.2	6.8	- 33%
18 - 24.000	34	461	253	10.1	4.8	- 52%
más de 24.000	<u>26</u>	<u>375</u>	<u>289</u>	6.7	5.0	- 25%
	156	1.807	1.311			

Fuente: Hammer, 1970, pág. 16

Los efectos que tiene la velocidad de los vehículos en la incidencia de accidentes en las intersecciones también fue estudiado por Hammer. Demostró que la tasa de accidentes era mayor en las intersecciones con velocidades más altas. Sin embargo, después de instaladas las señales, la tasa de accidentes disminuyó tanto en intersecciones de altas y bajas velocidades. Además, la disminución registrada fué mayor en el caso de las intersecciones con alta velocidad. Los resultados son los siguientes:

Velocidad en la zona	Número de Intersecciones	Frecuencia de los Accidentes		Tasa de Accidentes por cada 10 millones de vehículos		Cambio
		antes	después	antes	después	
menos de 45 m.p.h.	114	1086	851	8.1	5.8	- 28%
45 m.p.h. o más	42	721	460	14.1	7.3	- 48%

Fuente: Hammer, 1970, pág. 16

Cribbins y Walton (1970) examinaron el efecto que tienen las señales de tráfico en la incidencia de accidentes en las intersecciones rurales en Carolina del Norte. Se llevaron a cabo estudios durante

un año en las 19 intersecciones, para determinar los efectos de 'antes y después'. Los resultados son como sigue:

Tipo de accidente	Frecuencia de accidentes		Cambio
	antes	después	
Cruces a la izquierda	37	45	+ 21%
por detrás	19	47	+147%
en ángulo	55	15	- 73%
otros	27	38	+ 71%
Total accidentes	138	145	+ 7%
Daños a la propiedad	91	107	+ 17%
Heridos y muertos	48	39	- 21%

Fuente: Cribbins y Walton, 1970.

La disminución en los heridos y muertos a pesar del aumento en el número total de accidentes, demuestra que en efecto las señales de tráfico tienden a disminuir la gravedad de los accidentes en las intersecciones.

Esta conclusión se ve reforzada al examinar el cambio en los accidentes y los daños a la propiedad en base a 10 millones de vehículos por tipo de intersección, la mayoría de los cuales señalan disminución considerable en sus ratas.

Intersecciones tipo	número	Rata de Accidentes por cada 10 millones de vehículos		Cambio en la rata accidentes equivalente en daños a la propiedad	
		antes	después		
4 canales	12	16.8	14.6	-13%	- 16%
3 canales	7	8.4	11.3	+34%	- 4%
dividido	9	11.5	14.5	+26%	+ 6%
sin dividir	10	14.2	10.1	-79%	- 41%
todas las inter.	19	12.3	13.1	+ 7%	- 12%

Fuente: Cribbins y Walton, 1970

Mientras que la frecuencia de algunos accidentes en las intersecciones aumentó, estos accidentes fueron menos graves que los anteriores.

Young (1967) ha enfatizado que no existe un efecto universal para todas las instalaciones de señales de tráfico. Al examinar los registros de accidentes de 32 intersecciones en Cincinnati durante los años calendarios que precedieron y siguieron a la instalación de señales, él encontró lo siguiente:

Total de la frecuencia de accidentes después de instalar las señales:

Aumentaron en 10 intersecciones

Disminuyeron en 22 intersecciones

Frecuencia de accidentes con heridos y muertes después de instalar las señales:

Aumentaron en 7 intersecciones

Disminuyeron en 14 intersecciones

No hubo cambios significativos en 11 intersecciones

Frecuencia en accidentes de peatones - tanto heridos como muertos, después de instalar las señales:

Aumentaron en 2 intersecciones

Disminuyeron en 6 intersecciones

No hubo cambios significativos en 24 intersecciones

Todas las señales fueron instaladas de acuerdo con las normas de los Estados Unidos, y ésto incluyó mástiles con brazos para todas las entradas con tráfico que excediera de 3,000 v.p.d. Todas las intersecciones tenían señales para peatones, y todas menos una eran activadas por el tráfico. Anteriormente dos de estas intersecciones habían sido controladas con señales de parada de 4 vías.

Young intentó aislar los factores que conducían a la disminución en la incidencia de los accidentes en algunas intersecciones, y su aumento en otras. Aunque los resultados no fueron concluyentes, se hi-

cieron las siguientes sugerencias:

- (i) la instalación de señales de tráfico disminuirían la incidencia de accidentes siempre y cuando las normas de garantía no se cumplan.
- (ii) la instalación de señales de tráfico aumentarían la incidencia de accidentes si las normas de garantía no se seguían y especialmente si el diseño era pobre.
- (iii) en sitios donde ocurrieron accidentes graves después de instaladas las señales de tráfico, el problema fue ocasionado por deficiencias en el diseño y otras no relacionadas con las previsiones de garantía. En especial, uno de los factores más significativos era la visibilidad restringida que existía en las intersecciones.

Crinion (1967) informó sobre un estudio en Adelaide. La frecuencia de los accidentes en 6 intersecciones disminuyó de 324 a 207 por año, después de instalar las señales de tráfico. En base a una curva de proyección, el número de accidentes en el "año después" deberá ser de 430, lo cual indica una reducción aparente de 52%. La diferencia actual por intersección en el número de accidentes oscilaba entre una disminución del 63% a un aumento del 33%.

Thorpe (1963) llevó a cabo un estudio similar en Melbourne, y señaló los siguientes cambios entre el año calendario anterior y el posterior a la instalación de las señales de tráfico. El efecto estimado señalado incluye un margen de 26% para el aumento en el total de accidentes registrados en el área metropolitana.

Tipos de accidente	Frecuencia de accidentes		Efecto estimado (dando cabida a un aumento en el tráfico y los accidentes)
	antes	después	
Angulo derecho	137	38	- 80%
por detrás	20	16	insignificante
cruce a la derecha	13	31	+ 90%
de costado	14	21	insignificante
accidentes con heridos	72	45	- 50%
daños a la propiedad	128	74	- 50%
Total de accidentes	200	119	- 50%
Peatones	12	9	insignificante

Fuente: Thorpe, 1969

En un informe posterior, Thorpe (1968) señaló que la tasa en 124 intersecciones con señales en Melbourne era 6.22 del equivalente a los daños a la propiedad por cada 10 millones de vehículos. El número correspondiente en 16 intersecciones sin señales era de 5.68. Al computar el equivalente de los accidentes con heridos, éste se pesa como uno, mientras que aquéllos que involucran daños a la propiedad se pesan como un cuarto.

El resultado sorprendente que indica que las ratas de accidentes es mayor en las intersecciones con señales, lo explica Thorpe de la manera siguiente:

"... la exigencia de señales en una intersección invariablemente proviene del deseo de asistir a los peatones en sus cruces. Esto significa que en general, para la misma cantidad de flujo de tráfico, habrá más fricción marginal en cuanto a tiendas, estacionamientos, etc., en aquéllas vías que caen en las intersecciones con señales que en las que no las tienen. Por lo tanto, para igual volumen, se puede esperar una rata de accidentes mayor en aquéllas intersecciones con señales que en las que no las tienen."

Es posible, sin embargo, que el método para calcular estas ratas de accidentes, ocasione este resultado.

En otro estudio relativo al efecto de las señales de tráfico realizado en Melbourne, Andreassend (1970) examinó los efectos de la instalación de señales de tráfico activadas por el volumen de tráfico, en 41 intersecciones. Todas las señales fueron instaladas entre 1961 y 1965. Se elaboraron estudios por los dos años precedentes y los posteriores a la instalación de las señales.

Promedio anual de la frecuencia de los accidentes:

Tipo de accidente	Promedio anual de la frecuencia de los accidentes por intersección		Cambio
	antes	después	
Angulo derecho	6.54	1.88	- 71.6%
por detrás	1.34	1.51	insignificante
cruce a la derecha	0.71	1.82	+157%
total de accidentes	10.10	6.90	- 31.9%

Fuente: Andreassend, 1970

En general, la frecuencia de los accidentes en las intersecciones se redujo en un 31.9%. Los cambios en otros accidentes fueron similares a los cambios anteriormente señalados por Thorpe en su estudio sobre Melbourne (1963).

Miller, al estudiar estos resultados (ver Andreassend, 1970) sugirió que:

"pareciera que existen intersecciones donde sería preferible no instalar señales de tráfico, ó agregar una fase para el cruce a la derecha, ya que de lo contrario el aumento en los accidentes por cruces a la derecha sobrepasarían aquéllos que ocurren en ángulos derechos."

Los resultados de Andreassend y los comentarios de Miller además indican lo difícil que es dar generalizaciones sobre el efecto que tienen las señales en la incidencia de accidentes.

Los resultados de los estudios que se mencionaron anteriormente son, en algunos casos, conflictivos y contradictorios. Se deduce que la instalación de señales de tránsito reduce la gravedad de los accidentes, pero esto no es siempre el caso. Cuando debido a las señales de trán-

sito aumentan los accidentes, ésto se debe, en gran parte, a los factores externos al sistema de señales, y en parte al sistema en sí. Aparentemente el efecto que tienen las señales en la incidencia de accidentes, es como sigue:

Tipo de Accidente	Efecto
ángulo derecho	disminución 50% - 80%
por detrás	aumento hasta un 100%
número total	varía, pero aparentemente se reduce si el volúmen es alto (ó sea más de 20.000 v.p.d.)
instalaciones y heridos	disminuye, 20% - 50%, aún cuando la frecuencia total de accidentes aumente
de frente	varía (probablemente depende de las necesidades de cruce y la velocidad)

Estos efectos parecen ser mayores en las intersecciones más complicadas, tales como intersecciones cruzadas, que en las intersecciones sencillas tales como "tees". Hammer (1970) informó sobre una conclusión muy importante: "las intersecciones sin señales con tasas de accidentes por debajo de 0.6 por millón de vehículos no tienden a mostrar mejora alguna después de instaladas las señales."

(b) Modernización de las instalaciones de señales de tráfico:

La incorporación de dispositivos modernos a las instalaciones existentes ha demostrado que reduce las tasas de accidentes de manera significativa.

En Traffic Engineering (Ingeniería de Tráfico), Junio 1968, pág. 42) informó sobre una disminución en los accidentes después de que se instalaron dispositivos más modernos en 25 intersecciones en Nueva York. La mejora consistía del reemplazo de los cabezales de señales de

dos colores por unos de tres colores, colocados sobre mástiles con brazo al extremo de la intersección. Las señales de "cruce y no cruce" para los peatones también fueron instaladas. Se observaron los siguientes cambios en la frecuencia anual de accidentes:

Tipo de Accidente	Cambio en la frecuencia
Total de Accidentes	disminución de un 25%
Accidentes con heridos	disminución de un 57%

Fuente: Ingeniería de Tráfico, Junio 1968

Se obtuvieron resultados similares en Detroit, después de la instalación de cabezales de señales sobre mástiles con brazos y una mejora en las señales para peatones en 20 intersecciones (Malo, 1967).

Tipo de Accidente	Cambio en la frecuencia
Angulo derecho	disminución en un 75%
Peatones	disminución en un 33%
Por detrás	disminución en un 24%
Total de accidentes	disminución en un 47%

Fuente: Malo, 1967

Hammer (1970) informó sobre los resultados logrados después de efectuar mejoras en las instalaciones de señales en 44 intersecciones en California. Las mejoras incluyeron el cambio de lentes de 8" por los de 12", y cabezales de señales en los mástiles con brazo. Los efectos fueron los siguientes:

Kasson y Crowder (1969) informaron sobre el efecto sobre la incidencia de accidentes al mejorar las instalaciones de señales en 68 intersecciones en Los Angeles. Las mejoras consistían de suministro de lentes de 12" sobre mástiles con brazos, reubicación de las señales sobre postes en sitios más cercanos a la vía de tránsito, instalación de señales para peatones donde eran necesarias, e instalación de iluminación de alta intensidad. Los efectos fueron los siguientes:

Tipo de accidente	Frecuencia de Accidentes antes	Accidentes después	Cambio en la frecuencia
Angulo derecho	343	178	- 48%
por detrás	280	143	- 49%
cruce a la izquierda	101	94	insignificante
peatones	42	34	insignificante
misceláneos	79	145	+ 84%
todos los accidentes	845	594	- 30%

Fuente: Kasson y Crowder, 1969.

En un grupo controlado de intersecciones sin señales de tráfico, los accidentes bajo la categoría de 'angulo derecho' aumentaron en un 38%, y los accidentes misceláneos aumentaron en un 226% durante el mismo período, enfatizando el efecto de las mejoras.

En Melbourne, se incluyeron varias instalaciones de señales anticipadas, como complemento a la señal de pare-siga. Una mano en movimiento indicaba el tiempo que faltaba para el cambio de señal.

Algunas de estas instalaciones no incluían el período de la luz amarilla. El efecto obtenido al reemplazar 5 unidades por las señales comunes de tres colores, fue el siguiente:

Modificación	Número de intersecciones	Frecuencia de los accidentes		Rata de Accidentes por cada 10 millones de vehículos		Cambio
		antes	después	antes	después	
8" mástil con brazo agregado	4	42	20	10.9	4.6	- 58%
8" mástil con 12" rojo agregado	4	105	52	10.2	5.1	- 50%
12" mástil con brazo agregado	17	522	359	12.5	8.8	- 30%
8" mástil con brazo a 12" mástil con brazo	19	515	490	10.2	8.4	- 18%
TOTAL	44	1184	921	11.1	8.1	- 27%

Fuente: Hammer, 1970, pág. 20

Mientras que la cantidad de intersecciones es reducida, la conclusión general fué que las mejoras tienden a reducir tanto la rata de accidentes como su frecuencia.

Mash y Carson (1961) también han indicado sobre la efectividad que se deriva de la mejora de señales de tráfico. En Modesto, California, se modernizaron 7 instalaciones de señales a lo largo de la ruta principal, colocándolas sobre mástiles con brazos, con indicaciones amarillas de 12" y verdes de 8". La frecuencia de los accidentes durante el año anterior y posterior a los cambios fue así

Tipo de accidente	Frecuencia de los Accidentes		Cambio
	antes	después	
Angulo derecho	61	10	- 83%
otros 2 vehículos	50	64	+ 22%
peatones	4	2	- 50%
heridos	34	20	- 41%
muerter	0	1	-
Todos los accidentes	115	76	- 49%

Tipo de accidente	Cambio en la frecuencia
Angulo derecho	disminución en un 70%
Heridos	disminución en un 43%
Total	disminución en un 45%

Fuente: Thorpe, 1963.

En base a estadísticas, todas las disminuciones eran significantes. Thorpe concluyó que la luz amarilla es necesaria como medida de seguridad.

Un estudio posterior de Melbourne para determinar las mejoras y sus consecuencias, fué llevado a cabo por Andreassend (1970). Se hicieron mejoras en 19 intersecciones, consistiendo del reemplazo de controles pre-programados por controles activados por los vehículos, la instalación de linternas de largo alcance, reubicación de los cabezales de señales para brindar mayor visibilidad, dando un intervalo con todas las luces en rojo para despejar el área, y botones para detectar peatones. A continuación se detallan los cambios en las intersecciones:

Tipo de accidente	Frecuencia de accidentes antes	por intersección después	Cambio
Angulo derecho	5.92	2.98	- 49.8%
por detrás	1.82	2.00	insignificante
cruce a la derecha	2.53	2.37	insignificante
Todos los accidentes	12.82	9.08	- 29.2%

Fuente: Andreassend, 1970

Andreassend también señaló que las disminuciones fueron mayores en aquellas intersecciones con frecuencias de accidentes altas inicialmente.

Estos estudios indican que la mejora de las señales conducen en muchos casos a la disminución de los accidentes. La razón para ello se debe probablemente al uso de luces de mayor intensidad. Esto reduce las confusiones que se prestan debido a la luz solar que se refleja en los lentes que están apagados, dando así la impresión de que están encendidos. Clark (1969) ha demostrado que esta reflexión de luz más la luz roja genuina puede ser menos intensa que una luz verde sola en muchas señales existentes. Esto daría la impresión de que la luz verde está encendida en vez de la roja. El uso de señales con mayor intensidad, y el re-diseño de los lentes de señales también reducen estas confusiones que se le presentan al chofer, y por lo tanto sería beneficioso en la disminución de accidentes.

Además, la provisión de fuentes de mayor intensidad de luz y señales cubiertas tienden a reducir el efecto de ruido visual en el reconocimiento de las señales (Brown y Cole 1969) (Cole y Brown 1966).

Por estas razones, la instalación de los lentes de 12" en vez de 8" se hace cada día más común. El Instituto de Ingenieros de Tráfico ha establecido unas guías para determinar el uso de dichos lentes. Estas fueron publicados en Ingeniería de Tráfico en Marzo de 1970. Las guías entran en mucho detalle como para que se pueda comentar ahora, pero a continuación les presentamos un resumen:

- velocidad: velocidad 85 percentil por encima de 35 mph (urbana) ó 50 mph (rural)
- visibilidad: depende del medio ambiente
- registro de accidentes: si es posible que mejoras con una visibilidad mejor de las señales
- ubicaciones especiales: por ejemplo, la primera intersección con señales después de una vía de alta velocidad en una área urbana, ó en la salida de una autopista, ó donde un chofer puede ver el control de la dirección y las señales de tráfico en la intersección simultáneamente.

Las guías establecen que las flechas verdes deben ponerse en lentes de 12", independientemente del tamaño de los demás lentes,

Se ha observado que al efectuar mejoras en las señales, y al hacerlas más visibles, se han mejorado las estadísticas de accidentes. Es razonable esperar que la mayoría de las intersecciones bajo esta categoría se encuentran en áreas congestionadas, ya que las intersecciones tienen señales por debajo de las normas. En vista de esto, se observó una mejora cuando las señales fueron modernizadas. Sin embargo, los resultados señalan la importancia del diseño de las mismas, y enfatizan que es difícil establecer generalidades al respecto.

#### (c) Operación de las señales

En algunos casos se ha estudiado el efecto que tiene la operación de las señales. Las alternativas consisten en controles pre-programados, o señales activadas por el tráfico, el efecto de la velocidad en los detectores, y la influencia que pueda tener el cambiarlas señales de pare-siga por una configuración de señales en las horas no críticas.

El estudio realizado por Thorpe en Melbourne (1963), mencionado anteriormente, indicó que había una diferencia entre las ratas de accidentes antes y después de instaladas las señales, y que no había ninguna diferencia entre las señales pre-programadas y aquellas activadas por el tráfico.

Box (1970) ha informado sobre un estudio que se llevó a cabo en el Departamento de Autopistas de Oregon. Se llevaron los registros de accidentes que ocurrieron a 150 pies de la intersección en una autopista de cuatro canales, durante cinco años, con un control semi-activado por dos años y otro totalmente activado por dos años. La frecuencia promedio de accidentes y choques por detrás se redujo en un 62% después de llevarse a cabo la modificación.

Hammer (1970) ha comparado la incidencia de accidentes antes y después de instaladas las señales, por categoría de señal. Se utilizaron tres categorías de señales, pre-programadas, semi-activadas por el tráfico, y totalmente activadas por el tráfico. El efecto que tuvieron sobre la rata de accidentes para operaciones de dos y más fases, es como sigue:

Tipo de señal	Número de intersecciones	Rata de Accidentes por cada 10 millones de vehículos que entran		Cambio
		antes	después	
Dos fases preprogramado	12	5.4	3.7	- 31%
Semi-activadas por el tráfico	45	7.1	4.9	- 30%
Totalmente activadas por el tráfico	34	12.5	7.5	- 40%
multi fases preprogramado	10	7.0	8.6	+ 23%
Semi-activadas por el tráfico	21	11.4	6.2	- 46%
totalmente activadas por el tráfico	34	12.4	7.1	- 43%

Fuente: Hammer, 1970

Los resultados parecieran indicar que la rata de accidentes es mayor en aquéllas intersecciones con controles totalmente activados por el tráfico. Sin embargo, como no habfa información sobre los volúmenes de tráfico, tipo de accidente, otras características de la intersección, ó fecha de instalación, no se puede llegar a una conclusión firme de esta comparación. Por otra parte, vale la pena observar que las señales totalmente activadas por el tráfico tienen mayor impacto sobre la rata de accidentes.

Estos estudios ofrecen evidencia conflictiva, pero indican que es posible lograr una disminución en algunos casos al mejorar las fases de las señales. Esto aparentemente se presenta más en las vías principales donde el flujo de tráfico es pesado y las velocidades son altas.

Aunque los sistemas que son activados por el tráfico toman en cuenta el efecto del flujo pesado de tráfico, no están en capacidad de tomar en cuenta la velocidad de los vehículos. Webster (1962) indica que pudiera haber una sección crítica en una carretera cuando un chofer que se desplaza a una velocidad determinada puede que no haya cruzado por encima del detector, pero tampoco pueda parar antes de llegar a la intersección si cambian las luces. Mientras que esto se puede solucionar al incluir un período en el cual todas las luces estarán en "rojo", ó moviendo el detector, lo ideal sería detectar la velocidad de aproximación del vehículo. No hubo informes que indicaran si esta técnica disminuiría los accidentes, ó si sería viable económicamente. Sin embargo, May (1968) ha demostrado que al aumentar el período de la luz amarilla de tres a cinco segundos en las intersecciones urbanas se ha aumentado el número de motorizados que se comportan de "manera inesperada y peligrosa". En las intersecciones rurales, al aumentar el período de la luz amarilla de cinco a siete segundos, se logró el resultado contrario.

Sin embargo, McGill (1970) concluyó que el comportamiento del chofer en las intersecciones urbanas no cambiaba al haber cambios en la duración de la luz amarilla, aún cuando su duración fuera muy larga - 5 segundos en comparación con 3.3 anteriormente. Estos resultados conflictivos de nuevo indican la dificultad para fijar generalidades en base a los estudios realizados.

Newby (1961) estudió el efecto de un período con "todas las luces en rojo". Este período, con una duración de uno o dos segundos, ayuda a descongestionar la intersección, le brinda a los peatones una oportunidad para cruzar, y reduce los riesgos que se corren cuando los vehículos pretenden cruzar con la luz amarilla ó con el inicio de la luz roja.

Se llevaron a cabo estudios en 12 intersecciones en Londres, en las cuales se agregó un período con "todas las luces en rojo", a las instalaciones existentes. Se llevaron a cabo los registros por períodos

de dos años antes y después del cambio. Los resultados, tomando en cuenta los cambios en la frecuencia de accidentes, son como sigue:

Tipo de accidente	Frecuencia de Accidentes		Cambio
	antes	después	
Vehículos en movimiento en diferentes canales	79	15	- 73%
Un vehículo y un peatón	33	27	insignificante
otros	76	80	insignificante
Todos los accidentes	188	122	- 32%

Andreassend (1970, en respuesta a Bryant) indica:

"probablemente el mejor cambio que se ha podido introducir cuando se remodelaron las señales, fué el período de "todas las luces en rojo" y, por supuesto, el reemplazo de una unidad con tiempo fijo por una activada por el vehículo."

El efecto que tienen las señales de tráfico sobre los accidentes suele variar dependiendo del tipo de intersección. En general, parece haber una diferencia entre las señales con tiempo fijo y aquellas activadas por el tráfico.

El uso de señales intermitentes se trata más adelante en este capítulo, pero algunas de estas señales de control de tráfico se rever- san a luces intermitentes rojas o amarillas en las horas no críticas.

Sin embargo, un informe del personal de oficiales de tráfico de Washington D.C., indicó que una operación de 24 horas sin luces intermitentes es mejor que aquellas que tienen luces intermitentes en las horas de la noche. Se redujeron los accidentes en un 40% en 162 intersecciones una vez eliminadas las luces intermitentes. Los accidentes con heridos se redujeron en un 50% y los choques en ángulo derecho en un 60%. En comparación, en las intersecciones cercanas donde no se efec-

tuaron cambios, los accidentes se redujeron en un 34%. Los accidentes en intersecciones bajo control, que no guardaban relación a las mencionadas anteriormente, se redujeron en un 6% durante el mismo período. Se obtuvieron los mismos resultados en un estudio no publicado de Miller de la Sección de Transporte, en el Departamento de Ingeniería Civil.

Se obtuvieron resultados similares en New Haven en 8 intersecciones con señales de tráfico cuando se pasaba a una configuración de luces intermitentes por la noche (Young, 1967). En 4 de estas intersecciones "hubo tendencia hacia los accidentes graves en ángulo derecho". Todas estas cuatro intersecciones tenían características de visibilidad deficiente. Young concluyó que donde la distancia visual lo permite, las luces intermitentes son satisfactorias, y es conveniente para los motorizados, pero de lo contrario deben ser evitadas.

(d) Señales de Tráfico coordinadas

Hammer (1970) informó sobre un cambio en la rata de accidentes, por cada 10 millones de vehículos después de instaladas las señales de tráfico en 156 intersecciones en California. Estas fueron divididas entre aquéllas que estaban inter-conectadas y aquéllas que eran controladas individualmente. Los resultados son como sigue:

Tipo de señal	Número de intersecciones	Frecuencia de los accidentes antes	Frecuencia de los accidentes después	Rata de accidentes por cada 10 millones de vehículos que entran antes	Rata de accidentes por cada 10 millones de vehículos que entran después	Cambio
interconectada	48	454	332	8.2	5.4	- 34%
Individual	108	1353	979	10.5	6.5	- 38%

Fuente: Hammer, pág. 15

Vale la pena observar que la rata de accidentes es menor en los grupos interconectados, tanto antes como después de instaladas. El efecto de sistemas interconectados relativos a las señales de tráfico, parece no tener importancia. Sin embargo, se observa una diferencia significante entre las instalaciones interconectadas y las individuales, como lo informa el siguiente estudio:

	Frecuencia de Accidentes por			
	antes	detrás después	cambio	cambio
Interconectada	94	119	25	+ 26%
individual	213	401	188	+ 88%

Fuente: Hammer, 1970, pág 15.

El resultado no es inesperado, ya que los vehículos que se desplazan a lo largo de un sistema interconectado deberían tener menos paradas, y por lo tanto se exponen menos a choques por detrás.

(e) Control de Tráfico por Area

Los sistemas de control de tráfico por área han sido instalados en algunas ciudades. Una de las primeras fue Toronto. Hewton (1969) informó que durante un período de 2 años se disminuyó en 12% la frecuencia de accidentes. Esto se debía mayormente a una disminución en los choques por detrás y de costado.

Otro estudio elaborado por Cass (1967) en 9 rutas de Toronto con 159 señales, reveló una ausencia de cambio en la frecuencia de accidentes. Sin embargo, los accidentes en general aumentaron en un 10.6% durante el período bajo estudio. No se han elaborado análisis para determinar si ha habido una reducción en las ratas de accidentes.

Un estudio posterior elaborado en Toronto indicó sobre los accidentes que ocurrieron en 90 intersecciones con señales en 2 áreas del centro de la ciudad, uno con y el otro sin control de computadora. (Cass, 1971). En el área sin control de computadora, los accidentes de tráfico aumentaron en un 5.5% durante el período de 2 años. En el área bajo control de tráfico, los accidentes disminuyeron en un 7.5% durante el mismo período. Una análisis por separado de los accidentes en 3 arterias principales indicó que hubo una disminución en un 16% en los accidentes, aunque el volumen de tráfico aumentó en un 12%.

Se estableció un sistema de control de tráfico por área de forma experimental al Oeste de Londres en 1967. El sistema tenía aproximadamente 100 señales de tráfico.

Crook (1970) ha informado sobre los efectos de este sistema en los accidentes. Se hicieron comparaciones entre los accidentes ocurridos en el año anterior y el posterior a la instalación, y también de los accidentes que ocurrieron en las áreas de control.

Los resultados generales, en base al total de accidentes es como sigue:

	Frecuencia de los accidentes		
	antes	después	Cambio
area experimental	1871	1606	- 14.2%
area de control	3543	3696	+ 4.3%

Fuente: Crook, 1970

También hubo un aumento en los accidentes de peatones, como sigue:

	Frecuencia de los accidentes		
	antes	después	Cambio
area experimental	220	263	+ 20%
area de control	409	390	- 5%

Fuente: Crook, 1970

Ambos resultados estadísticamente son significativos. Una comparación posterior demostró que los heridos y muertos se redujeron en un 5% en el área experimental, en comparación a la caída de un 2% en el área de control, pero esto no era significativo.

Resultados similares se han reportado en Wilshire (1969), en un estudio de las instalaciones de control de tráfico por área en Wichita Falls, Texas. Se encuentran 72 intersecciones con señales bajo el control de una computadora. El número total de accidentes se redujo en un 8.5%, una vez introducido el esquema.

Los resultados preliminares del sistema de control de tráfico por área en Glasgow no indicaron cambios significativos en los patrones de accidentes después de su introducción (Holroyd y Hillier, 1970). Sin embargo, se informaron sobre dos indicaciones insignificantes. En primer lugar, la gravedad de los accidentes aumentó con el sistema de la computadora, como ha de esperarse con el aumento de la velocidad en el desplazamiento. Segundo, los accidentes en las intersecciones bajo control de computadora disminuyeron en un 35%, en comparación con una disminución en los accidentes de 12% en otras intersecciones.

En general, los sistemas de control de tráfico por área demuestran tener efectos positivos en áreas donde han sido instalados en cuanto a los accidentes. Los efectos parecen haber ocurrido en el área

completa, y no se restringieron a las intersecciones. Debido a que estos sistemas también reducen el tiempo de viaje en la red de carreteras, sus beneficios son sustanciales. En contra de estos beneficios se interpone el alto costo de estas instalaciones,

## 2. LAS REPERCUSIONES EN EL TIEMPO DE VIAJE Y LOS COSTOS DE OPERACION

Mientras que las señales de control de tráfico se instalan por lo general por su efecto sobre el flujo de tráfico, existen estudios que informan sobre la naturaleza de los beneficios de una instalación. Se puede demostrar teóricamente la repercusión que tiene en la demora de los vehículos en una señal en particular, si se pueden deducir las razones para que dichos vehículos lleguen a dicha intersección. En el caso extremo, las demoras mayores se suceden en las intersecciones sin señales. Estas demoras se reducen sustancialmente al instalar señales de control de tráfico.

En el otro extremo, se ocasionan pequeñas demoras en las intersecciones con volúmenes de tráfico reducido y ésta demora aumenta cuando se instalan señales de control. No es suficiente concluir, sin embargo, que sólomente se deben instalar señales de control en las intersecciones con alto volumen de vehículos. Los flujos de tráfico varían considerablemente durante el día. Esto es lo que conduce a la sugerencia del uso de señales intermitentes en las horas no críticas - lo cual no deja de ser una práctica bastante peligrosa. Además, las señales de tráfico se pueden justificar en intersecciones de bajo volumen de tráfico por otras razones, principalmente medidas de seguridad, aunque su instalación demore el desplazamiento de vehículos.

Para complicar aún más la evaluación de la repercusión que tendrán las señales de control de tráfico en el tiempo de viaje, estos dispositivos de control de tráfico frecuentemente se instalan en intersecciones donde el volumen de tráfico aumente rápidamente y en asociación con los trabajos que se efectúan en las vías para aumentar su capacidad, y para mejorar la geometría de las calles. Se han analizado informes, pero como lo dijimos anteriormente, no es posible generalizar sobre la repercusión que tienen las señales de tráfico en el tiempo de desplazamiento de los vehículos.

(a) Intersecciones con Señales

Los tiempos de desplazamiento y sus costos se ven afectados por muchos factores, tales como volúmen de tráfico y su composición, número de canales, previsiones para el tráfico que cruza, y lo más importante, por la interacción entre los flujos conflictivos de tráfico. Esta interacción a su vez se ve afectada por la influencia de otros renglones en el control de tráfico. Al reducir la demora en una intersección no necesariamente se reduce el tiempo de desplazamiento, ya que esta demora se puede transferir a otra intersección.

Sin embargo, en el caso de una intersección aislada, se pueden hacer los siguientes comentarios. Es posible fijar ciclos de tiempo para las luces verdes de manera que la demora en general disminuya (Miller, 1969), pero esto no necesariamente implica que la demora es menor que la que habría si las señales no existieran.

Una comparación entre las demoras ocasionadas por diferentes tipos de señales de tráfico fué elaborada por Gerlough y Wagner (1967). Los resultados indicaron que los sistemas activados por el tráfico producían un promedio menor de demora que aquéllos con tiempo fijo. La ventaja de tiempo variaba con el volúmen de tráfico, pero se encontraba en el orden de 20%. Se obtuvieron resultados similares en proporción a los vehículos que paraban en las señales de tráfico.

(b) Señales coordinadas

El objetivo principal al instalar señales de tráfico es el permitir a los vehículos desplazarse a lo largo de una calle sin que se tengan que parar con luces rojas. Conforme a este, se debe esperar una reducción en el tiempo de desplazamiento.

Los informes sobre el rendimiento de las señales progresivas coordinadas son escasos. Sin embargo, un estudio realizado en Michigan sobre la repercusión que tenían los diferentes sistemas de controles ha sido documentada. (Morrison et al, 1962). Una carretera de 4 millas con 8 intersecciones fué utilizada, y se probaron 3 sistemas de control. Estos fueron:

- (i) señales no sincronizadas
- (ii) sistema progresivo coordinado
- (iii) sistema progresivo con señales de paso indicando la velocidad en que se podían desplazar los vehículos de manera de alcanzar la proxima intersección con la luz verde.

Los efectos sobre el tiempo promedio de desplazamiento fueron los siguientes:

Sistemas	Tiempo promedio de desplazamiento	
	6:30 - 9:30 a.m.	3:00 - 5:00 p.m.
Sin sincronización	464 seg.	483 seg.
Progresivos	398 seg.	433 seg.
Programado	402 seg.	428 seg.

Fuente: Morrison et al, 1962

Se puede observar que el sistema progresivo reduce el tiempo de desplazamiento substancialmente. Es interesante observar que el sistema programado de pasos no redujo de manera significativa el tiempo de desplazamiento.

(c) Control de Tráfico por área

Igual que con los sistemas progresivos de señales, una de las razones principales para utilizar control de tráfico por áreas es reducir

el tiempo de desplazamiento. Una de las primeras aplicaciones se instaló en Toronto como sistema de experimento piloto, en 1959 (Box, 1967). Una computadora controlaba las 16 intersecciones, 9 en la calle principal y 7 en las calles de cruce. En comparación con el sistema anterior que se basaba en señales parcialmente coordinadas, el sistema de computadora redujo las demoras en un 10% en las horas de críticas de tráfico en las tardes y en un 25% durante las horas críticas de la mañana.

Después del experimento piloto se llevó una conexión a grande escala entre las señales de control de tráfico por área en Toronto. Durante un período de dos años, durante los cuales el volumen promedio de tráfico aumento en un 10%, el tiempo de desplazamiento en las arterias principales disminuyó en un 9%, y las paradas involuntarias en un 47%. (Hewton, 1969).

Se informaron sobre resultados similares en otro estudio de Toronto realizado por Cass (1967). En 9 rutas con 159 intersecciones con señales, el promedio de tiempo de desplazamiento se redujo en un 11.4%. Una sola ruta mostró un aumento en este sentido en 7.5%. Las otras 8 mostraron disminuciones que variaban entre 6.4% y 25.8%.

Un estudio posterior en el sistema de Toronto demostró que el tiempo promedio de desplazamiento en 14 secciones correspondientes de las calles disminuyeron de 5.31 minutos sin control de computadora a 3.14 minutos. El número promedio de paradas por sección cayó de 1.92 a 0.89, lo cual indica que el tráfico fluía mas rápidamente. (Cass, 1971).

Al efectuar una evaluación del tráfico en el Oeste de Londres, Williams (1969) informó que con el experimento de control de tráfico por área, se logró una disminución en el tiempo de desplazamiento en un 9.2%. Esta cifra se obtuvo al colocar un "observador de movimientos", que medía el tiempo que le tomaba a un carro desplazarse por una ruta determinada. Se midieron cinco rutas, cada una dividida en unas 40 secciones.

Las demoras totales en las intersecciones también fueron medidas por el observador que iba dentro del carro que se desplazaba. Una comparación entre las demoras "antes" y "después" indicó que el sistema de control de tráfico por area disminuía las demoras en las intersecciones en un 18,5%.

Resultado de Demoras Simuladas  
en las Intersecciones bajo el  
Sistema de Señales de Parada y  
el de Control de Señales de Tráfico

Abstractos obtenidos de:

DEMORAS EN LA INTERSECCION OBTENIDAS  
A TRAVES DE SIMULACION DE TRAFICO  
POR MEDIO DE UNA COMPUTADORA

Un estudio presentado por James H. Kell  
en la Reunión de Investigaciones de  
Autopistas  
Washington D.C. - Enero 1963

TABLA 2 - RESULTADOS DE SIMULACIONES CON TRES TIPOS DE CONTROL Y CON VOLUMENES IGUALES AL VOLUMEN MINIMO QUE JUSTIFICA LA INSTALACION DE SEÑALES DE TRAFICO

Renglón	Tipo de Control*	Canal				Calle		Total Intersecciones
		1	2	3	4	Cruce	Princ.	
Volumen	Todo	150	250	100	250	250	500	750
Demora Total	STOP	1,900	60	1,249	90	3,149	150	3,299
	FT-1	1,912	3,526	1,200	3,421	3,112	6,947	10,059
	FT-2	2,665	2,281	1,704	2,271	4,369	4,552	8,921
Demora promedio por vehículo	STOP	12.7	0.2	12.5	0.4	12.6	0.3	4.4
	FT-1	12.7	14.1	12.0	13.7	12.4	13.9	13.4
	FT-2	17.8	9.1	17.0	9.1	17.5	9.1	11.9
Demora Porcentual	STOP	51.2 <sup>#</sup>	2.8	58.3 <sup>#</sup>	4.1			20.3 <sup>#</sup>
	FT-1	63.3	68.8	61.0	66.8			65.9
	FT-2	74.0	54.8	72.0	54.4			60.9
Cola Máxima Observada	STOP	6	3	6	4	6	4	6
	FT-1	7	8	6	9	7	9	9
	FT-2	7	8	7	9	7	9	9

\* STOP = Señal de Parada  
 FT-1 = Señal de tiempo fijo (50-50 split)  
 FT-2 = Señal de tiempo fijo (split = 61 - 39)

# Al computar la demora porcentual para el modelo de la señal de PARADA, sólo se consideraron los vehículos en las calles de cruce que están sujetos a demoras adicionales debido al tiempo de parada. Si todos los vehículos en las calles alternas se consideran como demorados, la demora porcentual para el total de la intersección sería de 35.6 por ciento.

1

TABLA 3 - RESULTADOS DE SIMULACIONES PARA TRES TIPOS DE CONTROL CON EL DOBLE DE VOLUMEN DE VEHICULOS EN LAS CALLES PRINCIPALES QUE EL VOLUMEN MINIMO DE JUSTIFICACION

Renglón	Tipo de Control	Canal				Calle		Total Intersecciones
		1	2	3	4	Cruce	Princ.	
Volumen	Todo	150	500	100	500	250	1,000	1,250
Demora Total	STOP	3,544	340	2,164	321	5,708	661	6,369
	FT-1	1,914	17,716	1,211	16,606	3,125	34,322	37,447
	FT-2	4,200	3,382	2,479	3,517	6,679	6,899	13,578
Demora Promedio por vehiculo	STOP	23.6	0.7	21.6	0.6	22.8	0.7	5.1
	FT-1	12.8	35.4	12.1	33.2	12.5	34.3	30.0
	FT-2	28.0	6.8	24.8	7.0	26.7	6.9	10.9
Demora Porcentual	STOP	84.1 <sup>#</sup>	7.4	82.3 <sup>#</sup>	7.3			22.6 <sup>#</sup>
	FT-1	62.7	89.2	61.0	89.8			84.0
	FT-2	88.7	51.6	85.0	52.2			59.0
Cola Máxima Observada	STOP	9	7	7	6	9	7	9
	FT-1	8	14	12	10	12	14	14
	FT-2	11	10	7	14	11	14	14

\* STOP = Señal de Parada  
 FT-1 = Señal de tiempo fijo (50-50 aplit)  
 FT-2 = Señal de tiempo fijo (split = 74-26)

# Al computar la demora porcentual para el modelo de la señal de PARADA, sólo se consideraron los vehículos en las calles de cruce que están sujetos a demoras adicionales debido al tiempo de parada. Si todos los vehículos en las calles alternas se consideran como demorados, la demora porcentual para el total de la intersección sería de 25.9 por ciento.

TABLA 4 - RESULTADOS DE SIMULACIONES PARA TRES TIPOS DE CONTROL CON VOLUMENES EN LAS CALLES DE CRUCE EL DOBLE DEL VOLUMEN MINIMO DE JUSTIFICACION

Renglón	Tipo de Control*	Canal				Calle		Total Intersecciones
		1	2	3	4	Cruce	Princ.	
Volumen	Todo	200	250	300	250	500	500	1,000
Demora Total		2,858	93	4,539	92	7,397	185	7,582
		2,676	3,458	4,126	3,505	6,802	6,963	13,765
		2,344	3,974	3,596	4,114	5,940	8,088	14,028
Demora promedio por vehfculo	STOP	14.3	0.4	15.1	0.4	14.8	0.4	7.6
	FT-1	13.4	13.8	13.8	14.0	13.6	13.9	13.8
	FT-2	11.7	15.9	12.0	16.5	11.9	16.2	14.0
Demora Porcentual	STOP	64.4 <sup>#</sup>	4.6	70.7 <sup>#</sup>	4.6			36.4 <sup>#</sup>
	FT-1	66.5	68.0	68.7	68.8			68.0
	FT-2	62.0	72.0	63.7	74.0			68.0
Cola máxima observada	STOP	9	5	12	4	12	5	12
	FT-1	6	8	8	9	9	9	9
	FT-2	7	10	8	11	11	11	11

\* STOP = Señal de Parada  
 FT-1 = Señal de tiempo fijo (50-50 split)  
 FT-2 = Señal de tiempo fijo (split = 46-54)

# Al computar la demora porcentual para el modelo de la señal de PARADA, sólo se consideraron los vehículos en las calles de cruce que están sujetos a demoras adicionales debido al tiempo de parada. Si todos los vehículos en las calles alternas se consideran como demorados, la demora porcentual para el total de la intersección sería de 52.3 por ciento.

TABLA 5 - RESULTADOS DE SIMULACIONES PARA TRES TIPOS DE CONTROL CON TODOS LOS VOLUMENES EL DOBLE DEL VOLUMEN MINIMO JUSTIFICATIVO

Renglón	Tipo de	Canal				Calle		Total Intersecciones
		1	2	3	4	Cruce	Princip	
Volúmen	Todo	200	500	300	500	500	1,000	1,500
Demora Total	STOP	6,297	442	16,850	460	23,147	902	24,049
	FT-1	2,651	16,628	4,285	16,296	6,936	32,924	39,860
	FT-2	3,883	7,451	7,101	7,164	10,984	14,615	25,599
Demora Promedio por vehículo	STOP	31.5	0.9	56.2	0.9	46.3	0.9	16.0
	FT-1	13.3	33.3	14.3	32.6	13.9	32.9	26.6
	FT-2	19.4	14.9	23.7	14.3	22.0	14.6	17.1
Demora Porcentual	STOP	89.4 <sup>#</sup>	9.8	94.1 <sup>#</sup>	10.3			37.4 <sup>#</sup>
	FT-1	65.5	89.4	69.3	89.6			82.3
	FT-2	78.5	72.6	83.7	72.2			75.5
Cola Máxima Observada	STOP	19	8	38	8	38	8	38
	FT-1	7	30	11	25	11	30	30
	FT-2	9	16	15	19	15	19	19

\* STOP = Señal de parada  
 FT-1 = Señal de tiempo fijo (50-50 split)  
 FT-2 = Señal de tiempo fijo (split= 61-39)

# Al computar la demora porcentual para el modelo de la señal de PARADA, sólo se consideraron los vehículos en las calles de cruce que están sujetos a demoras adicionales debido al tiempo de parada. Si todos los vehículos en las calles alternas se consideran como demorados, la demora porcentual para el total de la intersección sería de 40.0 por ciento.

### EVALUACION DEL SEMINARIO

Solicitamos su cooperación en darnos una crítica sincera de este seminario. Hemos tratado de presentarles un curso actual y flexible que ha sido diseñado para darle cabida a los intereses y participación de todo el grupo en sí. Debido a la naturaleza de este programa, hemos hecho algunas innovaciones y hemos experimentado sobre algunos enfoques, aún cuando corrimos el riesgo de que el material ofrecido no estuviera totalmente pulido, lo cual sí se hace posible en series de charlas más rígidas en cuanto a su programación. Por lo tanto, nosotros solicitamos de ustedes una crítica constructiva de este programa, de manera que podamos desarrollar y fortalecer nuestros cursos futuros.

A. Sobre usted:

1. Tipo de organización

\_\_\_\_\_

2. Años de experiencia en la ingeniería de autopistas, ingeniería de tráfico y el campo de planificación de transporte \_\_\_\_\_

3. Total de años de experiencia en ingeniería \_\_\_\_\_.

4. Dónde se enteró usted sobre el curso?

5. Fué usted o su organización la que se encargó de solicitar la inscripción para este seminario?

6. A continuación de una breve descripción de su ocupación actual, incluyendo la naturaleza de su trabajo y las áreas de mayor interés y dedicación.

22

TEMA E  
INSTRUCTOR

CONTENIDO DEL TEMA

PRESENTACION DEL INSTRUCTOR

	<u>Escala</u>	
Valor del Tema		Tiempo Asignado
A - Muy beneficioso		OK - Adecuado
B - Práctico		S - Muy corto
C - De uso limitado		L - Muy largo

<u>Escala</u>
4 - Excelente
3 - Bueno
2 - Regular
1 - Malo

Uso	Tiempo	Comentarios	Calidad	Comentarios:
-----	--------	-------------	---------	--------------

Introducción a la Práctica de Señales de Tráfico  
Hutter

Fases de Señales de Tráfico  
Blaisdell

Procedimientos de Programación de las Señales de Tráfico  
Hutter

Controles pre-programados en las intersecciones  
Shangraw

Proyecto de Programación de Señales  
Hutter

Procedimientos de Programación del Sistema de Señales  
Hutter

Demonstración del Equipo Pre-programado  
Blaisdell

TEMA E  
INSTRUCTOR

Escala	
Valor del Tema	Tiempo Asignado
A - Muy beneficioso	OK - Adecuado
B - Práctico	S - Muy corto
C - De uso limitado	L - Muy largo

Escala
4 - Excelente
3 - Bueno
2 - Regular
1 - Malo

Uso	Tiempo	Comentarios	Calidad	Comentarios
Proyecto del Campo en la Programación de la Red Hutter				
Operación funcional del Sistema de Control Pre-Programado Shangrow				
Proyecto de Programación del Sistema de Señales Hutter				
Prácticas de Operación y Mantenimiento Shangrow				
Demostración del Equipo Sistemas pre-programados Blaisdell				
Control Activado del Tráfico Shangrow & Blaisdell				
Programación del Control Activado Normas y Sesión de Proyecto Hutter				

TEMA E  
INSTRUCTOR

CONTENIDO DEL TEMA

PRESENTACION DEL INSTRUCTOR

	<u>Escala</u>	
Valor del Tema		Tiempo Asignado
A - Muy beneficioso		OK - Adecuado
B - Práctico		S - Muy corto
C - De uso limitado		L - Muy largo

	<u>Escala</u>
4 - Excelente	
3 - Bueno	
2 - Regular	
1 - Malo	

Uso	Tiempo	Comentarios	Calidad	Comentarios
Demostración de Equipo Equipo activado				
Blaisdell				
Sistemas Ajustados de Control de Tráfico				
Blaisdell				
Criterio en la Selección de Señales				
Staff				

C. Administración del Curso

Sírvase evaluar la administración, planificación, programación, y sede para el curso

D. Sugerencias de Cambios ó Mejoras

Por favor enumere y explique en la manera necesaria sus recomendaciones en cuanto a cambios ó mejoras en el curso.



CONTROL PREPROGRAMADO DE SEÑALES DE TRAFICO

V. CONTROL DE SEÑALES DE TRAFICO PRE-PROGRAMADO

A. El Controlador Pre-Programado

a. El controlador pre-programado es el dispositivo de control de tráfico más común y básico que existe. El control puede ser electromecánico ó electrónico y establece un ciclo con sus intervalos con un tiempo programado ó brinda una variedad de ciclos ó intervalos con un tiempo fijo.

b. Ventajas

(1) La confiabilidad en la operación y la simplicidad en el mantenimiento de un aparato depende de la simplicidad del equipo.

(2) Puede ser programado para operar con diferentes ciclos y tiempos de intervalos en base un tiempo pre-programado. Brinda todas las operaciones necesarias para controlar las intersecciones donde el volúmen de tráfico es predecible.

(3) Puede ser coordinado de manera que se pueda mantener una velocidad continúa a lo largo de una ruta ó un sistema.

c. Desventajas

(1) No puede responder un período corto ó a las fluctuaciones impredecibles en las exigencias del tráfico.

(2) Puede ocasionar demora innecesaria a los vehfculos o peatones durante las horas críticas de tráfico.

2. Operación Funcional de un Control de Intersecciones

a. Un motor sincronizado hace girar el dial de tiempo a lo largo de unos engranajes de manera que una revolución completa del dial equivale a un ciclo. El motor está diseñado de manera que su velocidad esté gobernada por la rata del ciclo de la corriente generada, y asegurando de esta manera una velocidad constante.

4. Operación Multi-Dial - Intersecciones Aisladas

- a. Al añadir la segunda ó tercera unidad de tiempo, se puede obtener una selección de 2 ó 3 ciclos e intervalos. La transferencia del dial se logra manualmente por medio de un 'switch' selector del dial. Por lo general, la selección del dial se logra automáticamente por medio de switches de tiempo.
- b. Actualmente, el switch de tiempo excita un pestillo en el relé del dial 2 ó 3. Por ejemplo, cuando el relé 2 está excitado, transfiere dos circuitos simultáneamente:
  - (1) Transfiere los circuitos de solenoide del tambor (tambor de avance y tambor de disparo) del dial 1 al dial 2.
  - (2) Transfiere energía del motor del dial 1 al motor del dial 2.
- c. La transferencia del dial no ocurre inmediatamente, sino que ésta es diferida hasta que el tambor llegue a la posición de luz verde en la primera calle principal. Esto asegura que el dial que se está usando para cuando comience la luz verde en la posición de las 12 (en el reloj) y que el dial excitado comience desde esa misma posición. Por lo tanto, la transferencia del dial siempre ocurre al principio del intervalo de la luz verde en una calle principal. Esto garantiza que este intervalo tenga una duración normal y que el dial de tiempo así como el tambor mantengan el paso.
- d. La leva de la transferencia del dial (DT) y el contacto determina el tiempo del intervalo cuando ocurre la transferencia del dia. Esta leva normalmente se parte en el Intervalo 1, ó en la primera posición de luz verde de cada secuencia completa. En los controladores multidial, la luz verde de la calle principal se debe repetir por lo menos dos veces en el tambor de la leva. Es necesaria esta posición de repetición para asegurar que la transferencia del dial ocurre al inicio del intervalo de luz verde de la calle principal. Las posiciones de repetición también se utilizan cuando el número de intervalos en la secuencia de tiempo no se divide de manera uniforme entre el número de posiciones de tambores. El interruptor de repetición también se coloca en el dial de tiempo para que coincida con las posiciones de las levas de tambores. (Tablas 1 y 2)

B. Tiempo Progresivo y Sistemas de Control no interconectados

1. Se puede lograr un tiempo definido ó una relación entre las intersecciones en un sistema no-interconectado. Este tipo de control se puede utilizar en un sistema pequeño, al establecer una relación de tiempo entre las intersecciones, por medio de un sistema mecánico ó un reloj de tiempo. Los controles se mantendrán a la par unos con otros, mientras que cada intersección esté operando dentro del mismo ciclo y durante el mismo período y que no exista interrupción en la fuente de energía.
2. Controles Sencillos del Dial
  - a. Cuando se está programando una intersección, pare el dial de tiempo al inicio de la luz verde en la calle principal, apagando el switch del motor.
  - b. Observe la intersección anterior y ponga a funcionar el reloj de parada en cuando las luces verdes de la calle principal cambien.
  - c. Vuelva a poner en marcha el dial cuando hayan transcurrido el número de segundos deseado entre las dos intersecciones.
  - d. Se puede seguir el mismo procedimiento para programar una serie de controles de intersecciones a lo largo de una ruta ó un sistema.
3. Controles Multi-dial
  - a. Se utiliza una conexión de puente para mantener todos los diales trabajando en cada control de intersección, de manera que cada dial constantemente se mantenga a la par con los diales de las demás intersecciones que operan bajo el mismo ciclo.
  - b. El Dial 1 en cada control se coloca en la relación adecuada con el dial 1 en los otros controles de intersección controlados por medio de un reloj de parada, que se describe anteriormente.
  - c. La relación para los diales 2 y 3 se establece de la misma manera.

- d. La transferencia del dial se logra por medio de switches de tiempo y relés de leva montados en cada intersección las cuales transfieren los circuitos del tambor solenoide de un dial al otro.
- e. Debido a que cada control de intersección se ve gobernado por unos relojes de tiempo separados, la transferencia del dial no ocurre simultáneamente.

C. Programación Progresiva en el Sistema de Control Interconectado

- 1. Se puede mantener una supervisión adecuada de los controles en cada intersección, por medio de varias interconexiones, y ésta facilitará relaciones de tiempo entre las interconexiones en el sistema y una transferencia simultánea de la funciones de control.
- 2. La interconexión puede ser de diferentes tipos:
  - a. Interconexión de cables, con uno para cada función que se lleve a cabo, tal como selección del dial, selección de enlace, cierre de luces, luces intermitentes, etc.
  - b. Cables de comunicaciones, por medio del cual los cambios en las funciones se logran a través de la transmisión de una pulsación, frecuencia ó tono.
  - c. Interconexión radial, con un transmisor maestro pequeño y un receptor en cada intersección que lleva a cabo los cambios en las funciones.
- 3. Un control maestro supervisa las funciones que efectúan los controles secundarios de las demás intersecciones. El control maestro puede ser una unidad separada ó un control de una intersección que ha sido adaptado para operar como un control maestro.
  - a. El gabinete del control maestro contiene los switches de tiempo y relé necesarios para cambiar las funciones en todas las intersecciones, tales como selección de dial, selección de desplace, etc.
  - b. Debido a las características del control maestro los cambios de funciones en todas las intersecciones pueden iniciarse simultáneamente.

4. Escalonado

- a. La llave (ó llaves) de escalonado del control maestro sirve como punto de referencia en el tiempo. El tiempo de los demás controles de intersección se relacionan con la llave de referencia en el control maestro. El control maestro abrirá sus contactos maestros cada vez que la llave de tiempo en su dial llegue a la posición de las 12 (como en el reloj).
- b. El control secundario tiene los contactos normalmente abiertos y estos se cierran cuando la llave de tiempo en su dial llega a la posición de las 12 (como en el reloj). Esto excita la bobina del motor, y hace que el dial de tiempo se pare. Cuando los contactos del control maestro se abren (con la llave de escalonado en la posición de las 12), esto des-excita el circuito del motor, y así permitiendo al dial del control secundario que se encienda. Esto ubica al control local en la relación de tiempo correcta con el control maestro. Esta supervisión se lleva a efecto una vez con cada ciclo y si los controles de las intersecciones están a la par con el maestro, los diales locales continúan funcionando sin necesidad de interrupción.
- c. Se pueden colocar una o más (hasta tres) llaves de escalonado en cada dial del control de la intersección, permitiendo así hasta nueve escalones de tiempo en una relación. La colocación de estas llaves de escalonado determina el lapso de tiempo (porcentaje del largo del ciclo) en que comienza la luz verde en la intersección en relación con el punto de referencia de tiempo maestro.

5. Transferencia del dial

- a. Con el uso de tres unidades de tiempo en cada control de intersección, se pueden utilizar 3 ciclos ó 3 separaciones de ciclos.
- b. La selección del dial se logra con switches de tiempo u otros dispositivos ubicados en el control maestro,
- c. La transferencia del dial se logra de una forma similar a la descrita en la operación multi-dial en una intersección aislada.

A P E N D I C E

SEÑAL DE CONTROL DE TRAFICO PREPROGRAMADA

Marco del motor  
Platina del motor y borne

Motor

Resorte

Cambio de engranaje  
Eje del dial

Dial

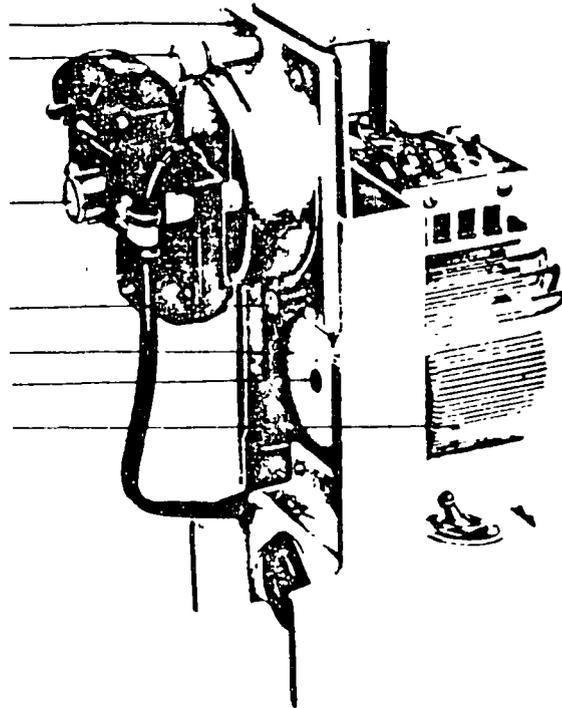


Figura 1  
Unidad del Motor

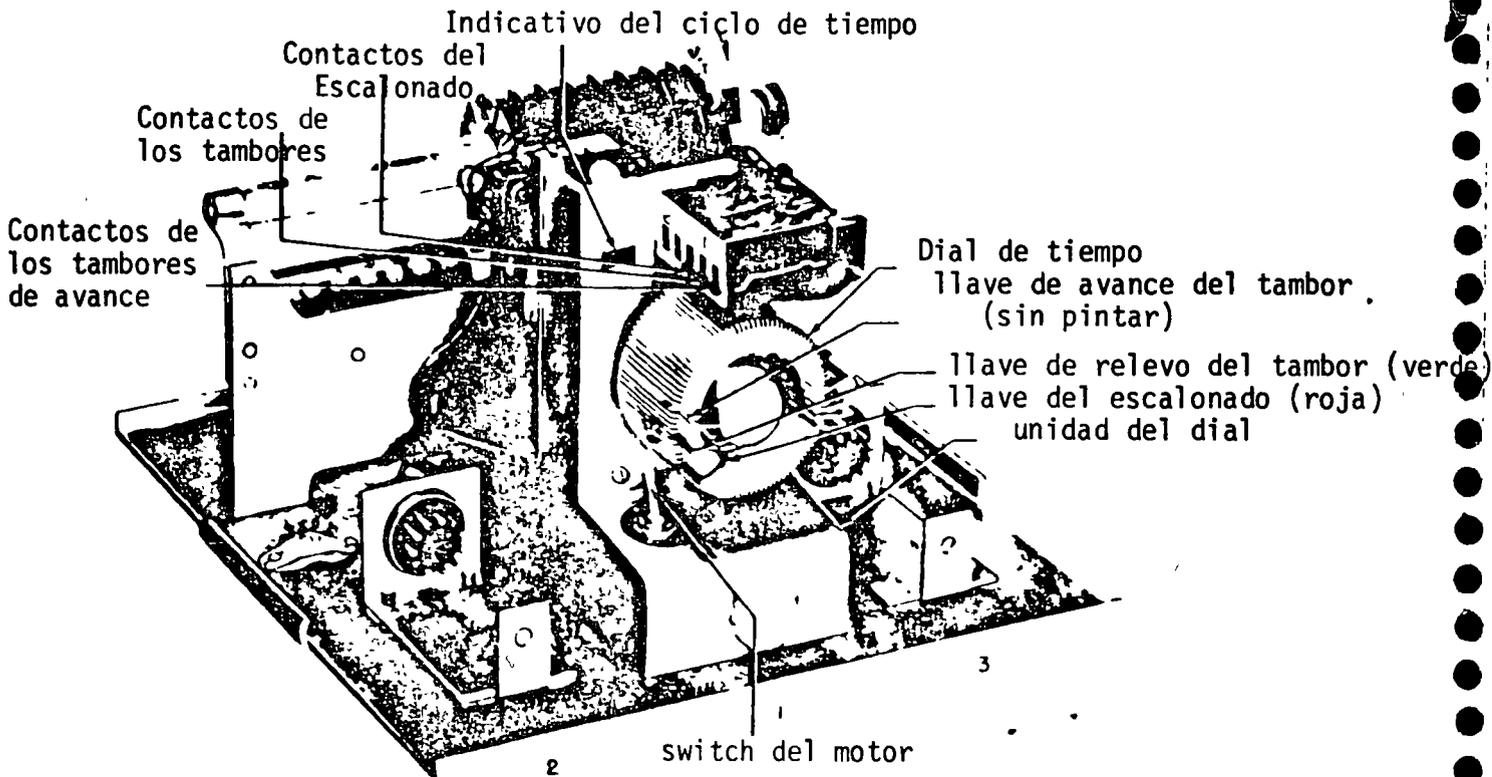


Figura 2  
Unidad de tiempo - Vista frontal

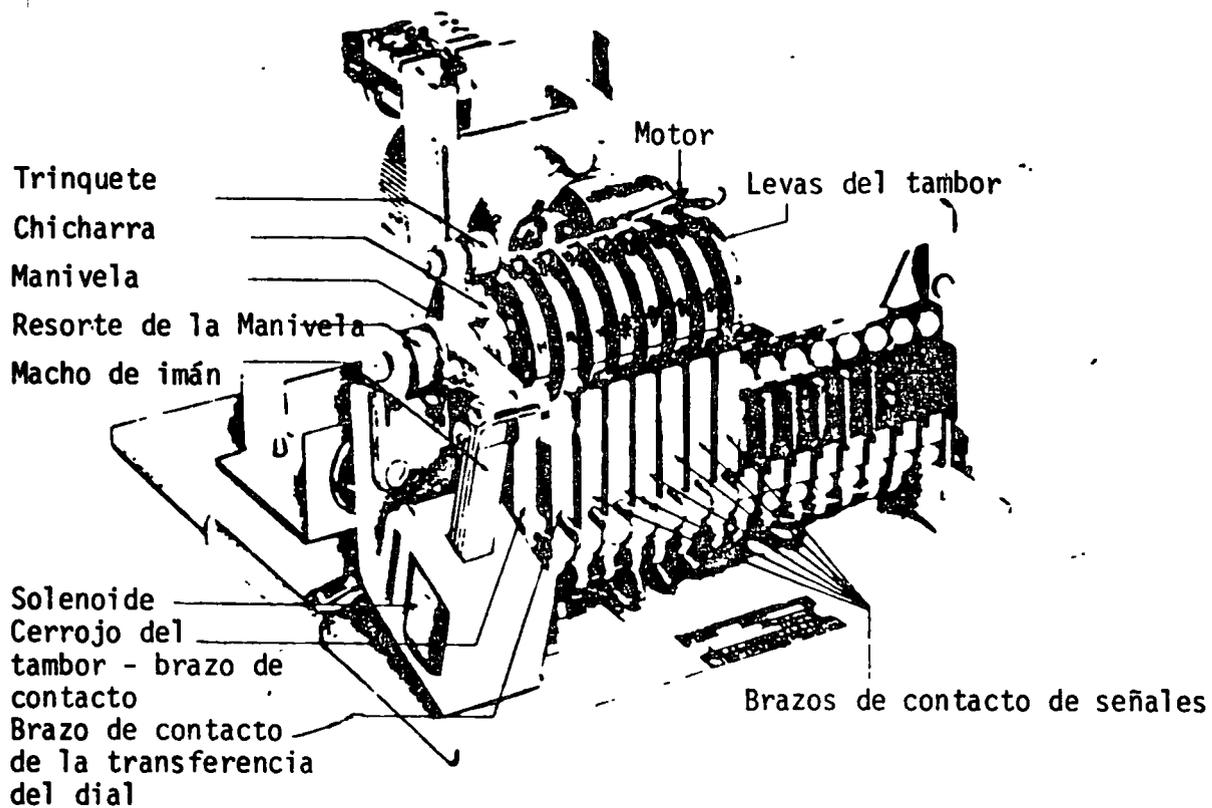


Figura 3  
Programación del tiempo, & Unidades de Ensamblaje de tambores  
Vista por detrás

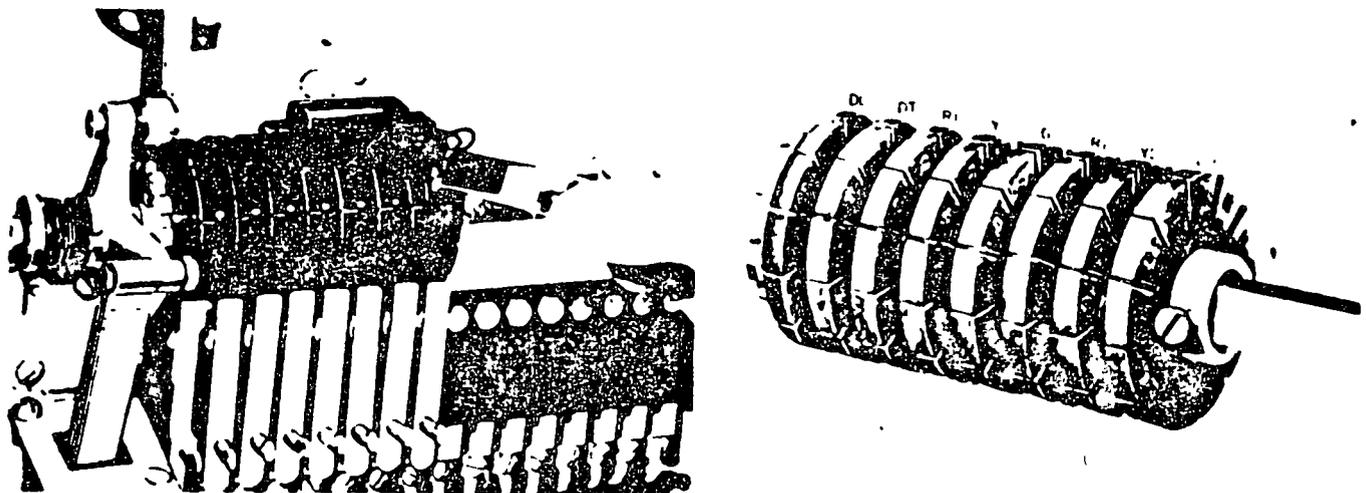


Figura 4  
Ensamblaje de una leva de tambor

Tabla 1  
TABULACION QUE INDICA UNA SECUENCIA TIPICA DE INTERVALOS CON UNA LEVA DE DESCONEXION PARA UN CONTROL EXPANSIBLE

INTERVALO	Posi- ción de la Leva	Calle Prin- cipal	Calle de cruce	LEVAS							
				DL	DT	R1	Y1	G1	R2	Y2	G2
1	1	G1	R2	X	X			X	X		
	2	G1	R2	X				X	X		
	3	G1	R2					X	X		
2	4	Y1	R2	X			X		X		
3	5	R1	G2	X		X					X
4	6	R1	Y2	X		X				X	
1	7	G1	R2	X	X			X	X		
	8	G1	R2	X				X	X		
	9	G1	R2					X	X		
2	10	Y1	R2	X			X		X		
3	11	R1	G2	X		X					X
4	12	R1	Y2	X		X				X	

G - Verde Y-Amarilla R-Roja DL- Cerrojo de la Leva  
DT Transferencia del dial X- Leva desconectada; ó sea, circuito cerrado

Tabla 2

EJEMPLO DE LA DISPOSICION DE LA LLAVE DE PROGRAMACION DE INTERVALOS PARA UN CICLO de 60 SEGUNDOS PARA UN CONTROL EXPANSIBLE

Movimiento de Trpafico		Inter- valo	Posición del tambor	Se- gundos	Porcen- taje	Dispo- ción de las llaves	Color de las Llaves
Calle Princ.	Calle cruce						
Green	Red	1*	1	30*	50*	0	Sin pintar (1)
Green	Red		2			2	Sin pintar
Green	Red		3			3	Sin pintar
Yellow	Red	2	4	3	5	50	Verde (2)
Red	Green	3	5	24	40	55	Sin pintar
Red	Yellow	4	6	3	5	95	Sin pintar

- (1) Sin pintar - llave de avance del tambor  
(2) Verde - Llave de relevo del tambor

## CONTROL DE TRAFICO PREPROGRAMADO

### EJEMPLOS DE LEVAS DESCONECTADORAS Y FIJACION DEL DIAL

#### Notas:

1. Los tambores de levas se suplen con posiciones de 12 ó 16. Los tambores para la posición 12 se presumen en estos ejemplos.
2. Cuando el número de intervalos en la secuencia de intervalos no se puede dividir entre el número de posiciones de los tambores, son necesarias las posiciones de repetición. Las posiciones de repetición usualmente se colocan en la fase de luz verde de la calle principal.
3. La leva de cierre del tambor "DL" se debe desconectar en todas las posiciones excepto en la posición G1 (luz verde en la calle principal) de cada secuencia completa. Por lo tanto, si el tambor no esta a la par con el dial, el tambor se parará en la posición de luz verde en la calle principal hasta tanto se vuelva a sincronizar con el dial.
4. La transferencia de la leva del dial "DT" solo se usa cuando el control tiene más de un dial en la unidad. La leva "DT" se debe desconectar en su primera posición G1 (luz verde en la calle principal) de cada secuencia completa. Esto asegura que la transferencia del dial siempre sea en el inicio del intervalo de la luz verde en la calle principal.

LEVAS DESCONECTADORAS Y FIJACION DEL DIAL - CONTROL NO EXPANSIBLE

Inter- valo	LEVA Posición	Calle Princip. 1 + 3	Calle de Cruce 2 + 4	LEVAS										DIAL			
				DL	DT	R1	Y1	G1	R2	Y2	G2	S1	S2	Seg.	%	Fijación	
1	1	G1	R2											25	50	0	
2	2	Y1	R2											3	6	50	
3	3	R1	G2											19	38	56	
4	4	R1	Y2											3	6	94	
1	5	G1	R2														0
2	6	Y1	R2														50
3	7	R1	G2														56
4	8	R1	Y2														94
1	9	G1	R2														0
2	10	Y1	R2														50
3	11	R1	G2														56
4	12	R1	Y2														94

LEVAS DESCONECTADORAS Y FIJACION DEL DIAL - CONTROL EXPANSIBLE

Intervalo	LEVAS Posición	Calle Princip.	Calle de cruce	LEVAS										DIAL		
				DL	DT	R1	Y1	G1	R2	Y2	G2	S1	S2		%	
1	1	G1	R2											25	50	0
	2	G1	R2													2
	3	G1	R2													5
2	4	Y1	R2											3	6	50
3	5	R1	G2											19	38	56
4	6	R1	Y2											3	6	94
1	7	G1	R2											25	50	0
	8	G1	R2													2
	9	G1	R2													5
2	10	Y1	R2											3	6	50
3	11	R1	G2											19	38	56
4	12	R1	Y2											3	6	94

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

## PRINCIPIOS EN EL TIEMPO DE LAS SEÑALES

### A. Introducción

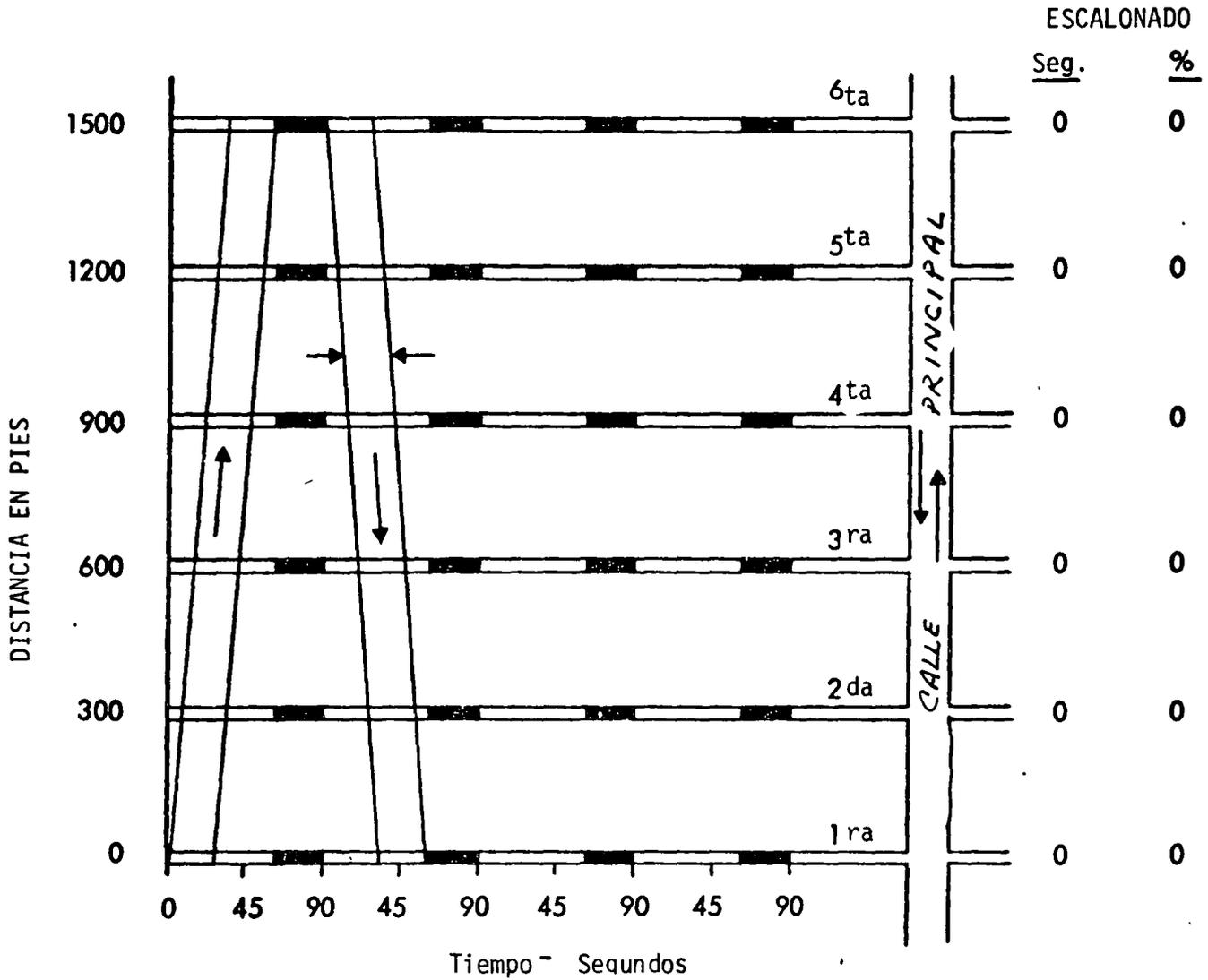
1. Un sistema de señales consiste de dos o más intersecciones con señales individuales que operan bajo coordinación; i.e. una relación definitiva de tiempo entre el inicio de la luz verde y las señales adyacentes.
2. El sistema será progresivo cuando la relación de tiempo entre las señales adyacentes permiten una operación continua de los vehículos dentro de una velocidad planificada.
3. Para mantener una relación de tiempo entre las señales adyacentes, la duración total del ciclo en todas las instalaciones deberá ser igual durante un tiempo determinado.
4. Un sistema progresivo ofrece las siguientes ventajas:
  - a. Mueve el tráfico en grupos, con espacios claros, los cuales pueden ser utilizados para el cruce de peatones o cruces de vehículos en aquellas ubicaciones entre los puntos de señales.
  - b. Permite un movimiento ordenado y continuo a través de las intersecciones de la ruta:
    - (1) Puede reducir la demora general.
    - (2) Puede aumentar la capacidad de la intersección.
5. Si las intersecciones con señales están a 2.500 pies una de la otra, se puede considerar un sistema coordinado.

### B' Relaciones Básicas de Tiempo

1. Simultánea (Figura 1)
  - a. Un sistema de señales en el cual todas las señales a lo largo de una ruta determinada, comienzan con el intervalo de luz verde al mismo instante. Por lo tanto la relación de tiempo escalonado entre las intersecciones adyacentes es igual a cero ó la duración del ciclo.
  - b. Da mejores resultados cuando la distancia entre las señales es muy corta (300 a 500 pies). Se logra una operación eficiente cuando los volúmenes en las calles de cruce son livianos y a la calle principal se le puede asignar mayor tiempo con luz verde.

CICLO: 90 segundos  
SPLIT: 70/30 por ciento  
63/27 segundos  
ESPACIO: 300 pies

VELOCIDAD PROGRESIVA  
 $1500/36 = 42 \text{ '}/\text{seg.} = 28 \text{ MPH}$   
ANCHO DE LA BANDA:  
27 = 30%



SISTEMA SIMULTANEO  
escalonado 0

Figura 1

- c. También puede ser útil en las redes del centro de la ciudad, durante las horas críticas de tráfico y los bloques están saturados, ó cuando hay mal tiempo.
- d. Cuando las distancias entre las intersecciones con señales son lo suficientemente largas, un sistema simultáneo puede ser eficiente, ya que su velocidad progresiva en ambas direcciones es

$$V = \frac{D}{C} \quad \text{y} \quad S = \frac{V}{1.47}$$

donde: V = velocidad en pies por segundo

D = distancia entre las señales en pies

C = largo del ciclo en segundos

S = velocidad en MPH

Ejemplo: D = 2400 pies

C = 60 segundos

V = 40 pies/segundo

S = 40/1.47 = 27 mph

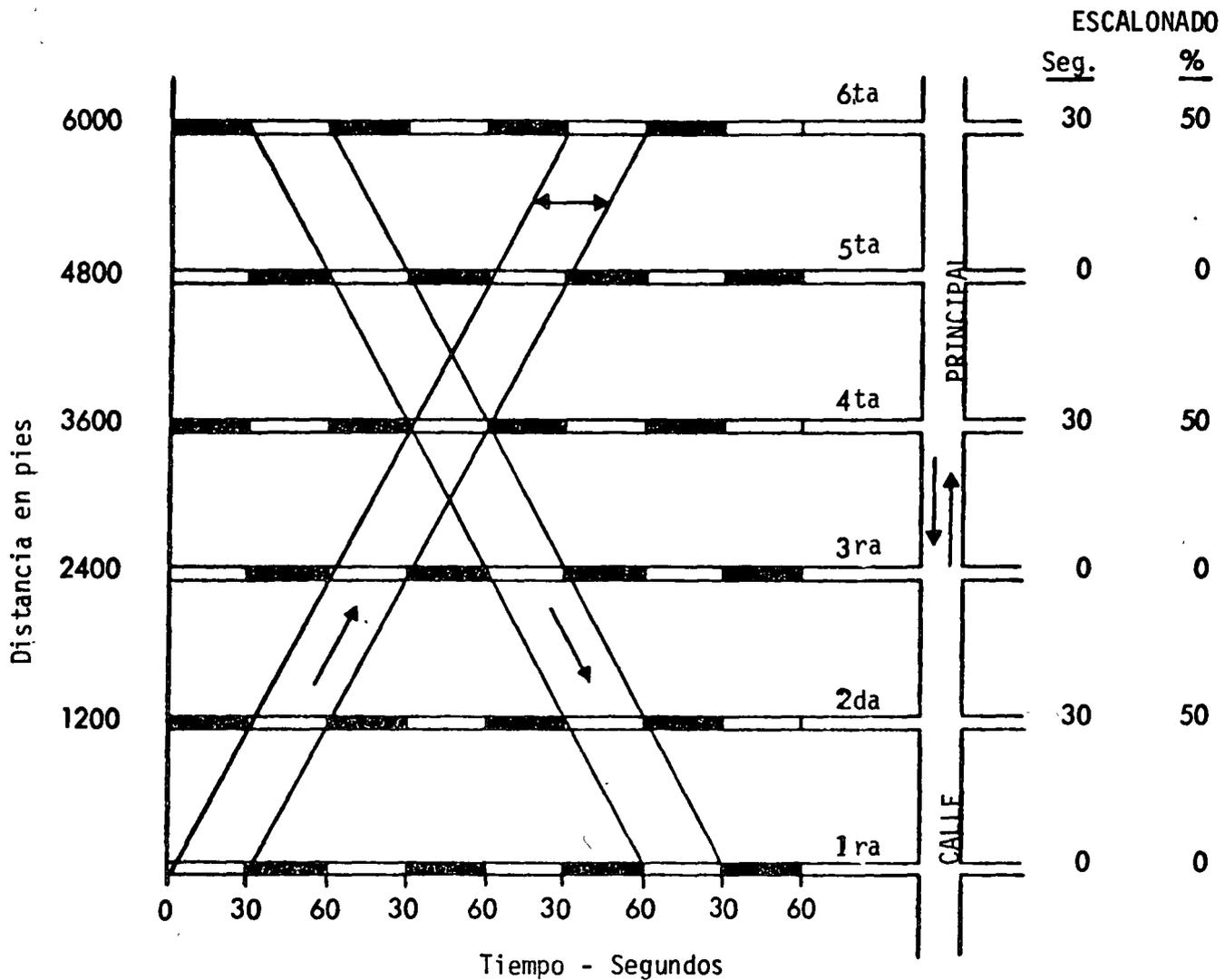
## 2. Alternativa Sencilla (Figura 2)

- a. Un sistema de señales donde señales alternas dan indicaciones contrarias a una ruta al mismo tiempo. Más específicamente, las relaciones de tiempo entre las intersecciones adyacentes es igual a la mitad de un ciclo.
- b. Facilita una progresión excelente si hay un espaciado regular entre ambas señales.
- c. El espacio ideal es un cuarto de milla (1320 pies) pero también es apropiado para rutas cuyos puntos de señales se encuentran en una escala de 1000 a 2000 pies.

CICLO 60 segundos  
 SPLIT 50/50 por ciento  
 30/30 segundos  
 1200

VELOCIDAD PROGRESIVA  
 $1200/30 = 40 \text{ '}/\text{seg.} = 27 \text{ MPH}$

ANCHO DE LA BANDA:  
 30 = 50%



SISTEMA DE ALTERNATIVA SENCILLA  
 ESCALONADO DE MEDIO CICLO

FIGURA 2

- d. Con un escalonado de medio ciclo entre las intersecciones adyacentes, la velocidad progresiva en ambas direcciones es:

$$V = \frac{2D}{C} \quad \text{y} \quad S = \frac{V}{1.47}$$

donde:  $V$  = velocidad progresiva en pies por segundo

$D$  = espacio entre señales en pies

$C$  = largo del ciclo en segundos

$S$  = velocidad en MPH

Ejemplo:  $D = 1320$  pies (un cuarto de milla)

$C = 60$  segundos

Entonces  $V = 44$  pies/segundo

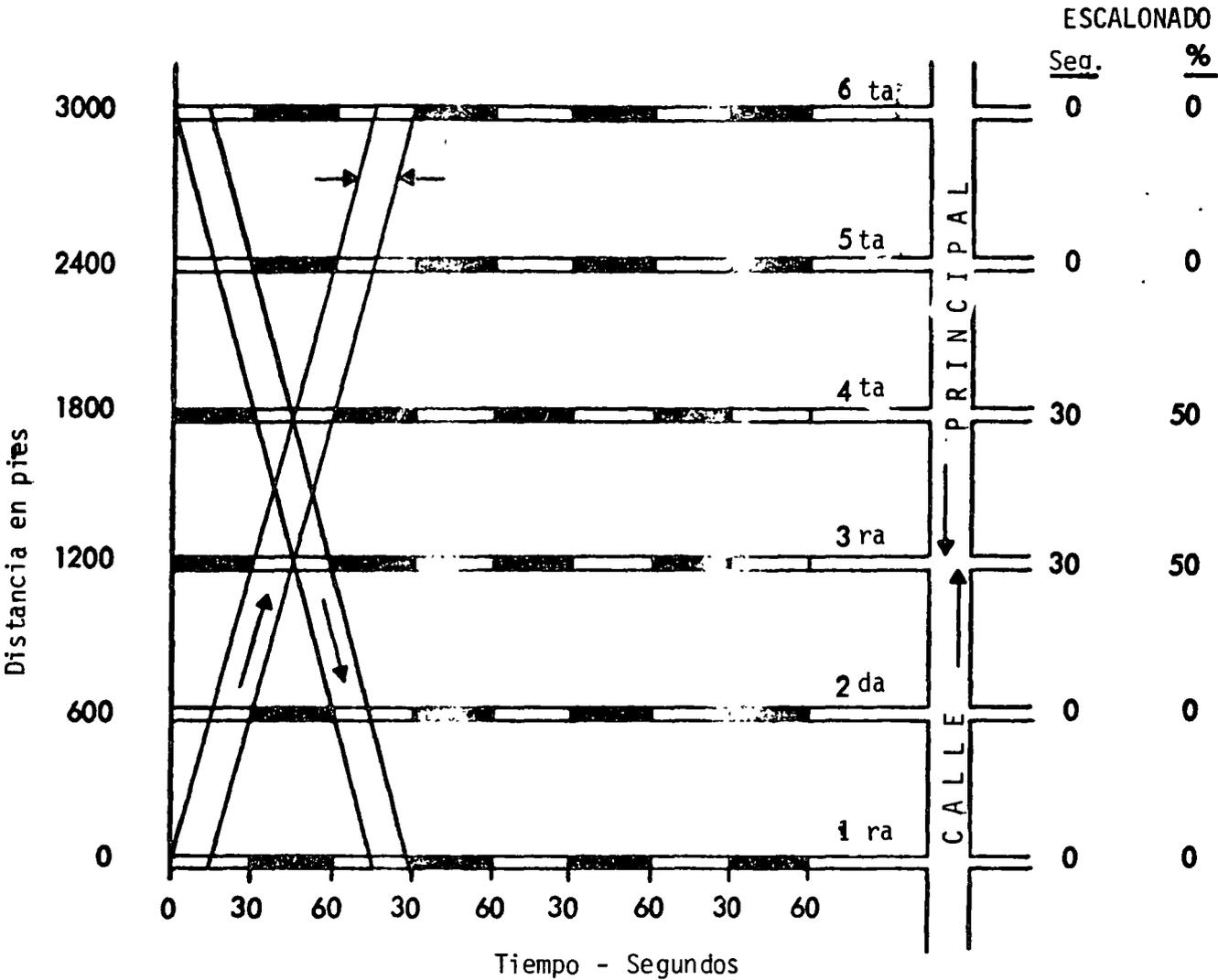
y  $S = 44/1.47 = 30$  MPH

### 3. Alternativa Doble (Figura 3)

- a. Una señal de sistemas en la cual los pares de señales alternan con los pares adyacentes. Mas específicamente las señales (ó pares) operan simultáneamente (sin escalonar) con un escalonado de medio ciclo ó relación de tiempo entre el próximo par.
- b. Da mejores resultados donde las ubicaciones son relativamente cortas (500 a 1000 pies).
- c. La eficiencia ó banda de progresión se reduce en un 50 por ciento.

CICLO 60 segundos  
 SPLIT 50/50 por ciento  
 30/30 segundos  
 ESPACIO 600 pies

VELOCIDAD PROGRESIVA  
 $1200/30 = 40 \text{ '}/\text{seg.} = 27 \text{ MPH}$   
 ANCHO DE LA BANDA:  
 $15 \text{ seg.} = 25\%$



SISTEMA DE ALTERNATIVA DOBLE

Figura 3

- d. Para lograr un movimiento contínuo en ambas direcciones la fórmula para la alternativa doble es;

$$V = \frac{4D}{C} \quad \text{y} \quad S = \frac{V}{1.47}$$

donde:

V = velocidad progresiva en pies por segundo

D = distancia ó espacios entre señales en pies

C = largo del ciclo en segundos

S = velocidad en MPH

#### 4. Ciclo de Un Cuarto (Figura 4)

- a. Un sistema de señales en el cual el escalonado ó relación de tiempo entre las intersecciones adyacentes a lo largo de una ruta es igual a un cuarto del largo de un ciclo.
- b. Normalmente se usa como el plan básico de programación en un área del centro de la ciudad con patrones de una sólo vía.

### C. Tipos de Sistemas Progresivos

#### 1. Sistema Sencillo Progresivo

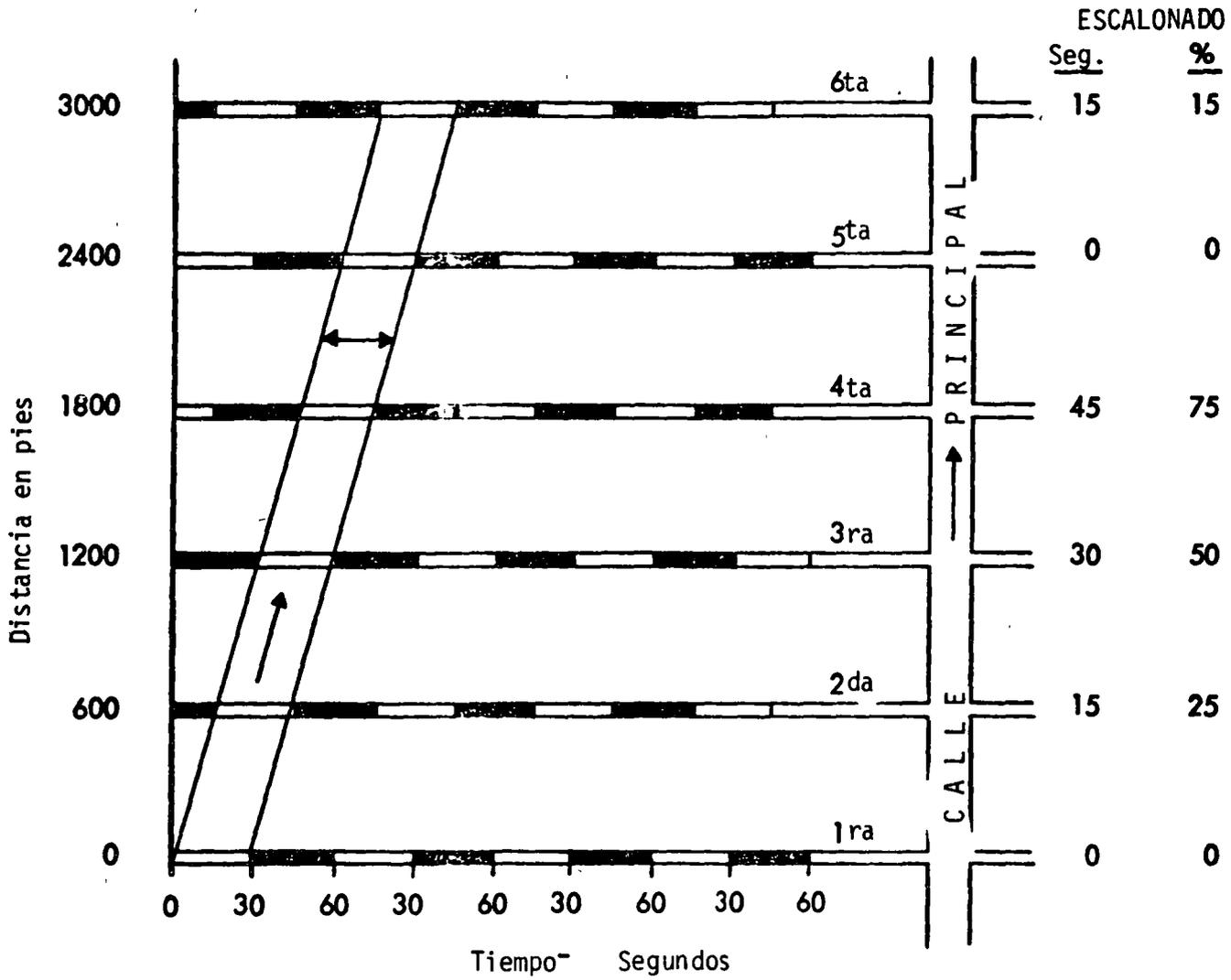
- a. Un sistema de señales que utiliza un largo de ciclo común y un plan de tiempo fijo, para facilitar la progresión a lo largo de una ruta a una velocidad fija (normalmente una progresión balanceada en una calle doble vía).
- b. Debido a que los largos de ciclos y las relaciones de tiempo han sido fijadas, éstas no pueden ser ajustadas para acomodar las variantes en las exigencias del tráfico en relación a su magnitud ó dirección.

#### Sistema Progresivo Flexible

- a. Un sistema de señales que utiliza una serie de duraciones variables de ciclos y un plan de tiempo flexible que permite una selección de programas progresivos a lo largo de una ruta con una velocidad predeterminada.

CICLO 60 segundos  
 SPLIT 50/50 por ciento  
 30/30 segundos  
 ESPACIO 600 pies

VELOCIDAD PROGRESIVA  
 $600/15 = 40' / \text{seg.} = 27 \text{ MPH}$   
 ANCHO DE LA BANDA:  
 30 seg. = 50%



SISTEMA DE UN CUARTO DE CICLO

Figura 4

b. La duración de los ciclos, los intervalos y los cambios escalonados pueden variar en períodos preestablecidos.

(1) La duración de un ciclo puede aumentarse ó disminuirse de acuerdo con el volúmen del tráfico.

(2) Los intervalos de luz verde pueden se ajustados para ayudar en la progresión del tráfico a lo largo de una ruta principal ó asignar más tiempo de luz verde en proporción al volúmen de tráfico en la arteria principal vs. las calles de cruce.

(3) Los cambios escalonados y la duración de los ciclos pueden ser ajustados de acuerdo con la velocidad progresiva y/ó dar preferencia a un sentido del tráfico .

3. Sistema que Responde a las Necesidades del Tráfico

a. Un sistema de señales, parecido al sistema Flexible Progresivo, pero que facilita una característica importante adicional.

b. Los programas de tiempo los cambios en base a los patrones de tráfico actuales, y no en base a períodos preestablecidos de tiempo. La selección del programa puede ser de estos dos tipos básicos.

(1) Selección por computadora de un programa óptimo de tiempo de entre una serie de programas que se basa en pruebas de las exigencias del tráfico durante períodos que oscilan entre 5 y 15 minutos.

(2) En la generación de programas de tiempo (en base a las intersecciones en sí ó grupos de intersecciones dentro del sistema) que se basan en el cambio de los patrones de tráfico ciclo por ciclo.

D. Plan de Programación del Tiempo

1. Uso de diagramas de espacio y tiempo

a. Un diagrama de espacio y tiempo da una presentación visual del tiempo en las señales (duración del ciclo y cambio), el cambio escalonado ó la relación de tiempo entre las intersecciones, los espacios entre las intersecciones, la velocidad progresiva, y el ancho del flujo de tráfico.

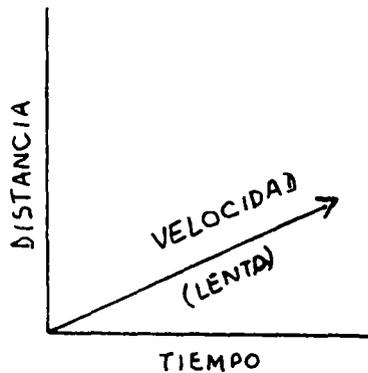
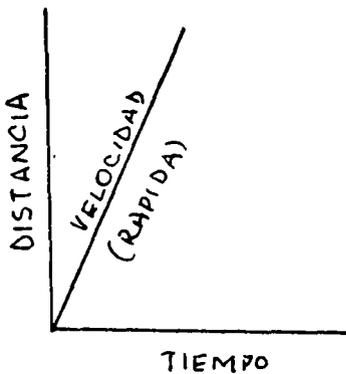
2. Características de los diagramas de espacio y tiempo:

- a. La misma duración del ciclo ó múltiplo en cada señal del sistema.
- b. La distancia (espacio entre los puntos de señales) se mide contra el tiempo (escalonado ó relación de tiempo entre el inicio de los intervalos de luz verde en segundos).
- c. La curva de la línea representa la velocidad progresiva del flujo del tráfico.

$$\text{Velocidad } \frac{\text{pies}}{\text{seg.}} = \frac{\text{distancia (pies)}}{\text{tiempo (escalonado en seg.)}}$$

Y:

$$\text{Velocidad (MPH)} = \frac{\text{velocidad (pies/seg.)}}{1.47}$$



- d. Para velocidades iguales de progresión en ambas direcciones (progresión balanceada) en una calle doble vía, los cambios escalonados en ambas direcciones deben ser iguales (zero o la mitad de un ciclo).
- e. El ancho de la banda es la medida de eficiencia del plan de tiempo:

$$\text{Eficiencia (por ciento)} = \frac{\text{ancho de la banda (seg.)} \times 100}{\text{duración del ciclo (seg.)}}$$

- f. No es siempre necesario que se de una progresión balanceada. Se le puede dar preferencia a una dirección en términos de velocidad progresiva y/ó ancho de la banda.
- g. Las velocidades progresivas en secciones a lo largo de una ruta pueden ser variadas si la velocidad seleccionada es consistente con las condiciones del tráfico en cada sección de la ruta.
- h. La intersección que requiere el intervalo mas largo de luz verde para la calle de cruce es la intersección crítica desde el punto de vista del ancho de banda y capacidad.
- f. Las señales que no han sido dispuestas de forma uniforme, reducirán la eficiencia de los sistemas en calles de doble vía.

3. Preparación de los diagramas de espacio y tiempo

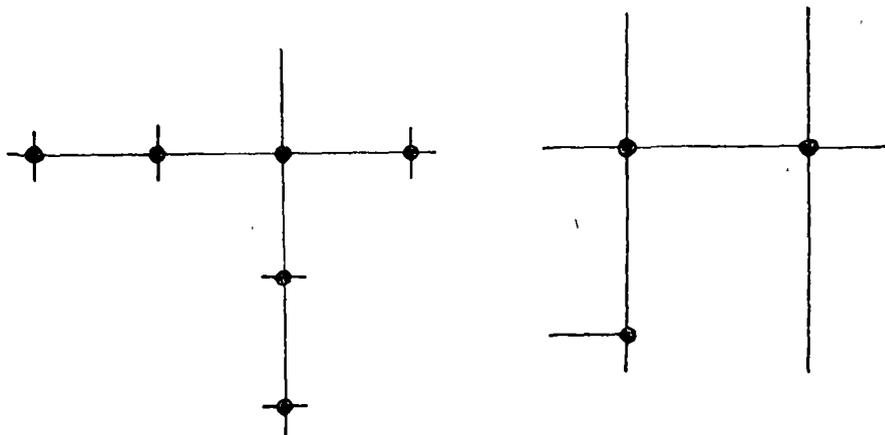
- a. La duración óptima de un ciclo se selecciona en base a la velocidad progresiva deseada y el espacio promedio entre las secciones. La duración del ciclo seleccionada no debe ser menor que la señalada ó calculada para acomodar los volúmenes críticos que provienen de las intersecciones individuales.
- b. Se debe preparar un diagrama de espacio y tiempo por separado para cada período de tiempo en el día ( cuando se utilizan ciclos ó relaciones de tiempo diferentes).
- c. La división en cada intersección se presume que es 50-50%. Esto puede ser corregido posteriormente para:
  - (1) Aligerar la progresión en las rutas principales
  - (2) Dar cabida a los volúmenes de tráfico que provienen de las demás intersecciones.
- d. Las líneas de curva muestran la velocidad progresiva deseada en ambos sentidos de la ruta.
- e. Se utilizan fajas de tiempo temporales (que muestran la duración del ciclo y las divisiones) para hacer ajustes en la relación de tiempo (escalonado) entre las intersecciones para determinar la progresión óptima. En este proceso de pruebas, los ajustes pueden hacerse en cuanto a las velocidades progresivas, duración de los ciclos y las divisiones, ó las relaciones de tiempo para determinar cual es el tiempo óptimo en la programación.

- f. Se deberá preparar un diagrama por separado para cada período del día, para que sea examinado.
- g. El Manual de Ingeniería de Tráfico describe de forma gráfica el método para lograr el tiempo óptimo (1)

E. Redes de Señales

1. Red Abierta

- a. El requerimiento básico en la coordinación de sistemas de señales es que se debe utilizar un ciclo básico común. Una red abierta de señales de forma con dos o más sistemas de señales de intersecciones que no crean una red cerrada, tal como se demuestra en el diagrama siguiente:



REDES ABIERTAS

- b. Los diagramas de tiempo y espacio deben ser desarrollados por separado en cada caso, para determinar los escalones deseados en cada intersección a lo largo de cada calle.
- c. Debido a que existen más de una intersecciones comunes en el sistema, el plan de tiempo de una calle pudiera requerir ajustes para que corresponda con el plan de tiempo de la otra calle.

(1) Manual de Ingeniería de Tráfico, Institute of Traffic Engineers, 1965 pags. 424-429

d. Los tiempos pueden ser programados gramaticálmente. Entre las intersecciones adyacentes existe una relación directa entre el comienzo de la luz verde en una dirección y el comienzo de otra en la dirección contraria.

(1) Para una operación de dos fases la relación es:

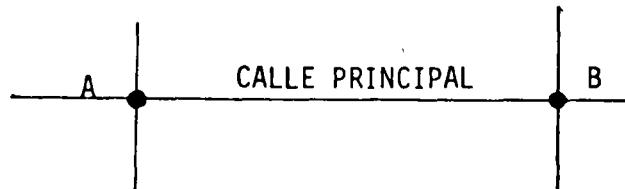
$$O_{B-A} = C - O_{A-B}$$

Donde:

$O_{B-A}$  = Desplaza desde B hasta A o comienzo de la luz verde en la intersección A después de la B en la calle principal

$O_{A-B}$  = Desplaza desde A hasta B o comienzo de la luz verde en la intersección B después de la A en la calle principal

C = Duración del ciclo en el sistema



(2) Ejemplo:

$$C = 50 \text{ segundos}$$

$$O_{A-B} = 20 \text{ segundos}$$

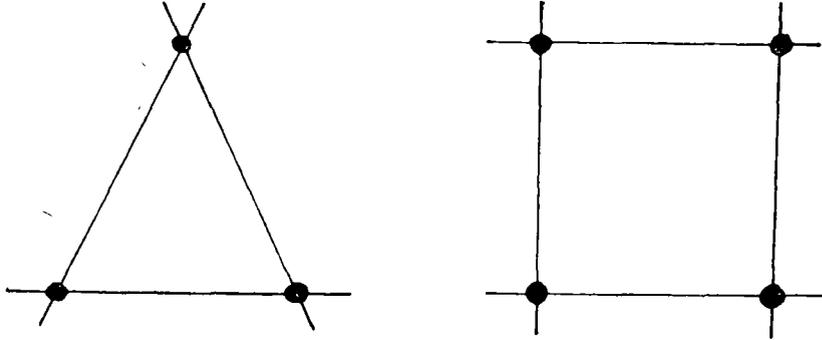
entonces:

$$O_{B-A} = C - O_{A-B}$$

$$O_{B-A} = 50 - 20 = 30 \text{ segundos}$$

## 2. Red Cerrada

- a. Una red cerrada se forma con tres o más sistemas de señales, cada uno de ellos tendrá en común una de las señales conjuntamente con los otros dos sistemas, como lo ilustra el diagrama.



REDES CERRADAS

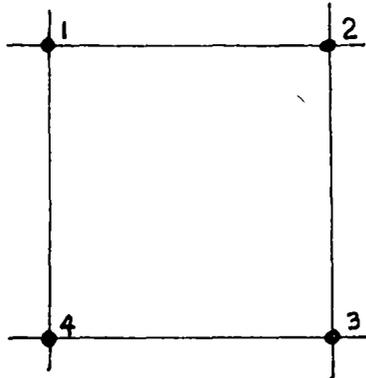
- b. Los desplazamientos de las intersecciones con red cerrada deben estar balanceados para corresponder a la condición de "cerramiento" que se indica en la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^n O_i + \sum_{i=1}^n GA_i = XC$$

donde:

- $O_i$  = El desplazamiento en la intersección  $i$  en relación con la intersección anterior del sistema.
- $GA_i$  = LA duración de las fases de luz verde y amarilla en la intersección  $i$  (segundos o porcentaje).
- $C$  = La duración del ciclo del sistema (segundos ó porcentaje)
- $X$  = entero

c. Detalle de la red cerrada:



$$O_{1-2} + GA_{EW2} + O_{2-3} + GA_{NS3} = XC$$

$$O_{3-4} + GA_{EW4} + O_{4-1} + GA_{NS1}$$

cuando:

$O_{1-2}$  = Desplazamiento entre la intersección 1 y 2 ó la diferencia de tiempo entre el comienzo de la luz verde en la intersección 2 (este-oeste), después del comienzo de la luz verde en la sección 1 (este-oeste).

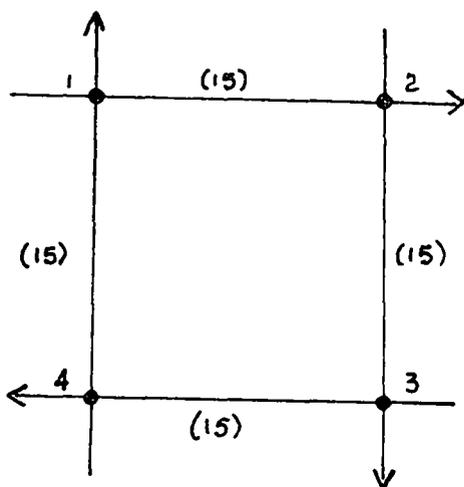
$GA_{EW2}$  = Duración de la fase de luz verde y amarilla en la intersección 2 en el sentido este-oeste.

d. Ejemplo del tiempo de una red cerrada:

(1) Dado:

- (a) sistema de una s3la vfa como se ilustra en el diagrama
- (b) Duraci3n de ciclo - 60 segundos
- (c) Operaci3n de dos fases con un split 50/50 en todas las intersecciones:  
30 seg. verde y amarilla, norte y sur  
30 seg. verde y amarilla, este y oeste
- (d) Utilice un desplazamiento de 1/4 de ciclo (15 seg.)

(2) Diagrama:

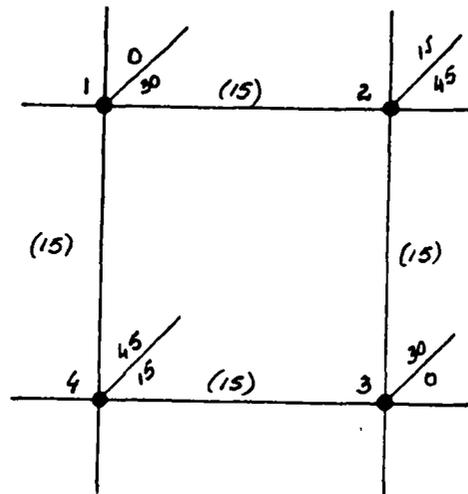


(3) C3lculo:

$$O_{1-2} + GA_{EW2} + O_{2-3} + GA_{NS3} + \\ 15 + 30 + 15 + 30 = XC$$

$$O_{3-4} + GA_{EW4} + O_{4-1} + GA_{NS1} \\ 15 + 30 + 15 + 30 = 3 \times 60$$

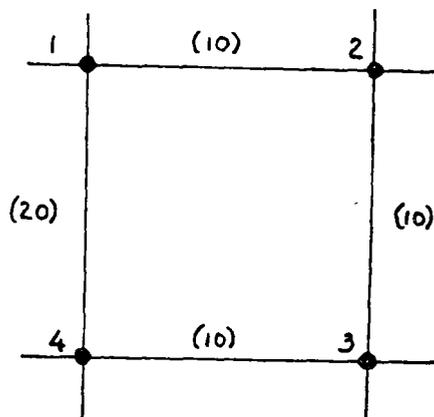
4. Diagrama completo de la red



- a. comience en la intersección 1 y presuma que el inicio de la luz verde norte-sur es la referencia de tiempo 0.
- b. comienzo de la luz verde este-oeste en la intersección 1 es 0 más luz verde y amarilla norte-sur, ó  $0 + 30 = 30$ .
- c. por lo tanto, 
$$\frac{0}{30} = \frac{\text{comienzo de luz verde norte-sur (seg.)}}{\text{comienzo de la luz verde este-oeste (seg.)}}$$
- d. Comienzo de la luz verde este-oeste en la intersección 2 debe cubrir 1/4 de ciclo (15 seg.) después del comienzo de la luz verde este-oeste en la intersección 1, lo cual da  $30 + 15 = 45$  seg.
- e. Entonces determine el comienzo de la luz verde norte-sur en la intersección 2, lo cual es el comienzo de la luz verde este-oeste más la verde y amarilla este-oeste, lo cual da  $45 + 30 = 75$  ó 15 (réstele 1 ciclo).
- f. Comienzo de la luz verde norte-sur en la intersección 3 debe ser 1/4 de ciclo (15 seg.) después del comienzo de la luz verde norte-sur en la intersección 2, lo cual da  $15 + 15 = 30$  seg.
- g. Continúe con el mismo procedimiento a lo largo de las intersecciones 3 y 4 y cierre con la intersección 1.

5. Cierre de la Red

- a. En una red cerrada, sin tomar en cuenta la duración del ciclo, los splits del ciclo y los escalonados seleccionados, ésta debe "cerrar" matemáticamente. Esto significa, que la suma de los escalonados entre las señales adyacentes en todas las uniones de la red van en función de la duración del ciclo.
- b. En una red de cuatro lados, si la velocidad progresiva y los desplazamientos son determinados para tres de las calles ó uniones de la red, esto determina con anticipación los desplazamientos y la velocidad progresiva de la última unión, ó la del cierre.
- c. Ejemplo: Sistema de una calle con una sola vía; ciclo de 50 segundos; 50/50 split; desplazamientos de 10 seg. (como se indica):



- (1) Si los desplazamientos en las uniones 1-2, 2-3, y 3-4 son seleccionados para que funcionen con 10 segundos cada uno, entonces la unión 4-1 tiene un desplazamiento fijo de 20 segundos.
- (2) 
$$C - O_{1-2} + O_{2-3} + O_{3-4} = O_{4-1}$$
$$50 - (10 + 10 + 10) = 20$$
- (3) Si el desplazamiento  $O_{4-1}$  de 20 segundos no es satisfactorio, entonces se deberán hacer ajustes en el desplazamiento de una o más uniones de manera que la suma de los desplazamientos es igual al ciclo (50 segundos), ó se puede cambiar la duración del ciclo.

EVALUACION DE MOVIMIENTOS CRITICOS EN LOS CANALES

## EVALUACION DE MOVIMIENTOS CRITICOS EN LOS CANALES

### 1. INTRODUCCION

- A. Los ingenieros encargados de la planificación, diseño u operaciones frecuentemente deben evaluar el impacto que tendrán sobre el tráfico las calles existentes ó las que se planifican para el futuro.
  - 1. Se debe determinar la capacidad en las intersecciones, ya que la condición de la intersección determinará la capacidad del sistema.
  - 2. Se pueden efectuar pruebas para determinar los esquemas de señales y la capacidad de la intersección.
    - a. Giro a la izquierda conflictivo contra el movimiento contrario.
    - b. El total de movimientos críticos en el canal.
- B. Esta revisión de los dos tipos de movimientos críticos en una intersección de señales fue desarrollada no como reemplazo de la técnica de análisis del Manual de Capacidad de Autopistas, sino para satisfacer la necesidad de proveer una evaluación rápida de como operará una intersección.
  - 1. Con esta técnica es posible analizar los cruces a la izquierda y los movimientos en sentido directo y así determinar los esquemas posibles de las fases y las mejoras que se pueden lograr en las intersecciones a fin de aumentar la capacidad.
  - 2. El nivel aproximado de servicio se puede determinar con esta técnica.
  - 3. Finalmente, esta técnica puede ser aplicada en una intersección congestionada para determinar lo que se puede hacer para que opere eficientemente.

### II MOVIMIENTOS CRITICOS

- a. Primero, se deben chequear los cruces a la izquierda contra el tráfico en el sentido contrario. Esto determinará si el tráfico contrario puede impedir los cruces a la izquierda contrarios.

1. El valor limitador de los cruces a la izquierda contra el tráfico contrario en la intersección es de 1.200 carros de pasajeros por hora de luz verde.
2. Si los cruces a la izquierda vs. el tráfico contrario exceden 1200 vehículos, entonces se requerirán fases separadas para los cruces.
3. Pero el número máximo de carros con cruce a la izquierda por fase se reduciría a 1.6 carros.
4. Esto se puede demostrar así:

$$V_L = 1.200 - V_o \text{ carros por hora de luz verde}$$

Donde:

$$V_L = \text{Capacidad máxima de cruces a la izquierda}$$

$$V_o = \text{Volumen del tráfico contrario por hora de luz verde, total de los canales}$$

$$V_L \geq 1.6 \text{ carros por fase por ciclo.}$$

5. En una intersección donde una calle de dos canales se cruza con una calle de una sola vía, la ecuación sería la siguiente:

$$V_L = \left[ 1200 \left( \frac{V_A}{V_A + V_B} \right) \right] - V_o$$

donde  $V_A$  y  $V_B$  son los canales con volúmenes críticos para las dos entradas críticas ( $V_A$  es para la calle de dos vías,  $V_B$  para la de una sola vía).

6. En una intersección donde una calle de doble vía se cruza con otra de dos vías, y tiene una señal de tres fases y quiere determinar si es necesaria una cuarta fase, entonces la ecuación sería la siguiente:

$$V_L = \left[ 1200 \frac{V_A}{V_A + V_B + V_C} - V_o \right]$$

donde  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  son los volúmenes críticos para cada fase.

- B. Segundo, después de determinar las fases óptimas para la intersección, es deseable determinar a qué nivel aproximado de servicio operará. La técnica para determinar el nivel de servicio en una intersección se llama "volumen crítico del canal".
1. El Volumen crítico del canal se define como el volú-<sup>o</sup>men por encima del cual una intersección fallará a menos que se le agreguen canales.
  2. En una intersección con señales y una operación de dos fases, el volumen crítico de canal son el total máximo del tráfico directo más el tráfico con cruce a la izquierda por hora. Este total determina el tiempo de luz verde requerido para esa dirección.
    - a. Cada intersección con dos calles doble vía deben tener un volumen crítico del canal (una por cada fase) y después éstas se suman juntas.
    - b. Para un esquema multifacético, añada el volumen crítico por cada fase.
  3. La suma de los volúmenes críticos se comparan contra los datos empíricos observados para determinar el ni-  
vel de servicio.
    - a. Los valores promedios a continuación se basan en datos empíricos:
      - (1) El valor promedio para el nivel de servicio C es de unos 1200 carros por hora.
      - (2) El valor promedio para el nivel de servicio E es de unos 1500 carros por hora.
    - b. Estos valores se basan en una hora completa de movimiento en la intersección, presumiendo que la luz amarilla también cuenta como la luz verde.
  4. Reglas Generales para determinar el nivel de servicio por medio del volumen crítico de canales.
    - a. Determine el volumen del tráfico que sigue directo

- b. Compute el volúmen de tráfico por canal para los que siguen directo en cada entrada.
  - c. Determine los cruces a la izquierda en cada entrada.
  - d. Para cada calle determine los movimientos críticos, ó sea cual es el volúmen crítico del canal para tráfico que sigue directo vs. el volúmen contrario que cruza a la izquierda.
    - (1) Por cada calle doble vía habrá dos movimientos críticos, solo el de mayor volúmen se tomará en cuenta.
  - e. Ahora sume el movimiento crítico mayor por cada calle y compare las normas del nivel de servicio.
5. Las reglas generales en los procedimientos para los movimientos críticos determina aproximadamente el nivel de servicio. (Ver apéndice)
- a. Canales separados para cruces - no fases separadas
  - b. Canales no separados para cruces - cruces a la izquierda - livianos
  - c. Canales no separados para cruces - cruces a la izquierda - pesados
  - d. Fases por separado para movimientos de conflicto
  - e. Entradas por un canal.
6. Finalmente, se hace un chequeo para determinar si las fases requeridas a lo largo de la disposición geométrica puede ser acomodada para aceptar el volúmen crítico.
- a. Los vehículos que continúan directo tienen un valor de 2.5 segundos
  - b. Los vehículos que cruzan a la izquierda con una fase separada tienen un valor de 2.5. segundos.
  - c. Un vehículo que cruza a la izquierda con tráfico contrario tienen un valor de 3.6 segundos.
  - d. Los vehículos que cruzan a la derecha se consideran como vehículos que siguen directo, a menos que el radio de la esquina restrinja su movimiento, entonces será igual a 3.0 segundos.

- e. Utilizando este chequeo no se toma en cuenta el tiempo de luz amarilla y por lo tanto es posible que se tenga que considerar de nuevo.
- f. Si el total de los movimientos del tráfico crítico es mayor de 3600 segundos, las fases establecidas dentro de la geométrica no funciona.

### III RESUMEN

A. Cheque los movimientos de cruce a la izquierda contra el tráfico contrario - esto determinará si es necesario poner un sistema de dos fases.

- 1. Los valores de límite para dos calles de doble vía que se crucen son:

$$V_L = 1200 - V_o \text{ veh\`uculos por hora de luz verde } \delta \\ 1.6 \text{ veh\`uculos por fase por ciclo.}$$

- 2. Los valores de límite para una calle de doble vía que se cruce con una de una sólo vía son:

$$V_L = 1200 \frac{V_A}{V_A + V_B} - V_o \text{ veh\`uculos}$$

por hora de luz verde o 1.6 carros por fase por ciclo.

B. Una vez que se hayan determinado el número de fases que requiere una intersección, chequee el total del volúmen crítico por canal para las entradas principales para determinar el "nivel aproximado" de servicio en que opera la intersección. Compare esto contra los siguientes valores:

Nivel de Servicio C alrededor de 1200 carros por hora de luz verde  
Nivel de Servicio E alrededor de 1500 carros por hora de luz verde.

C. El chequeo final determinará si las fases requeridas para un nivel determinado de servicio y geométrica puede acomodar el volúmen total de la intersección por hora de luz verde.

- 1. Tráfico que sigue directo igual a 2.5 segundos
- 2. Un vehículo que cruce a la izquierda con una fase separada para cruces a la izquierda es igual a 2.5 segundos.

3. La falta de una fase separada para cruces a la izquierda y con tráfico directo en contra es igual a 3.6 segundos.
4. Los vehículos que cruzan a la derecha se consideran como tráfico que sigue directo, a menos que el radio de la esquina le restrinja los movimientos, entonces es igual a 3.0 segundos.

Si el tiempo máximo de tiempo es mayor que 3600 segundos, las fases deseadas no funcionan con la geométrica establecida.

#### REFERENCIAS:

1. Manual de Capacidad de Autopistas, Washington, D.F. Highway Research Board, Special Report 87, 1965.
2. McInerney, H.B., and Petersen, S.G. "Medición de la Capacidad de una Intersección a través de las Sumas de los Movimientos Críticos: Una herramienta en la planificación" Ingeniería de Tráfico, Enero 1971 (Vol. 41, No. 4).
3. Drew, D.R., Control y Teoría del Flujo de Tráfico; McGraw Hill, New York, N.Y. 1968.

PROBLEMA DE EJEMPLO

Dado:

Una calle en Chicago con 64 pies de anchura, con cuatro canales de 12 pies y un mediano de 16 pies con un canal de 12 pies para cruces a la izquierda. No se permite estacionar en esta Calle en Chicago. La Calle Davis también tiene 64 pies de ancho con dos canales de estacionamiento de 8 pies y cuatro canales de tráfico de 12 pies.

Volúmenes en las horas críticas:

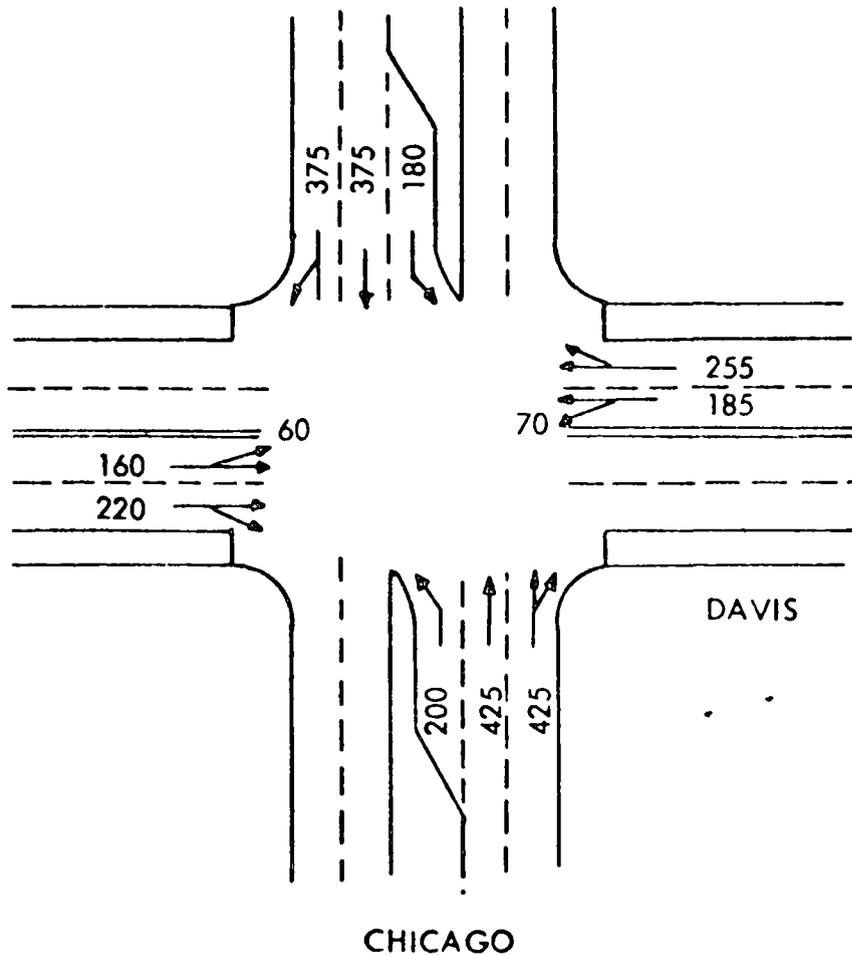
	<u>Chicago S.B.</u>	<u>Chicago E.B.</u>	<u>Davis E.B.</u>	<u>Davis N.B.</u>
Directo	700	750	300	350
Izquierda	180	200	60	70
Derecha	50	100	80	90
	<u>930</u>	<u>1050</u>	<u>440</u>	<u>510</u>

Deduzca:

Por medio de chequeos sobre los movimientos críticos, determine las fases y el nivel de servicio de esta intersección.

Solución:

- Haga un bosquejo de la intersección y con los volúmenes anteriores.



2. Examine si se requiere una operación con más de dos fases.

a. El total de las entradas críticas con cruces a la izquierda vs. el total del volumen contrario no puede exceder 1200 vehículos por hora de luz verde.

(1) Chequee las entradas norte-sur

Directo y a la derecha	850	750
Izquierda	180	200
	1030	950

(2) Chequee las entradas este-oeste

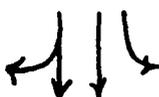
Directo y a la derecha	440	380
Izquierda	60	70
	500	450

El total de estas dos entradas críticas es  $1030 + 500 = 1500$  vehículos por hora de luz verde.

Ya que 1500 es mayor que 1200 esta intersección requiere una operación de varias fases.

3. Pruebe con la siguiente fase:

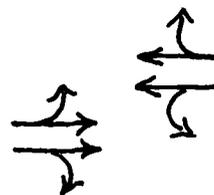
Fase 1



Fase 2



Fase 3



Ahora chequee los movimientos del "canal crítico" para determinar el nivel aproximado de servicio.

Recuerde: 1200 vph = LØS C  
1500 vph = LØS E

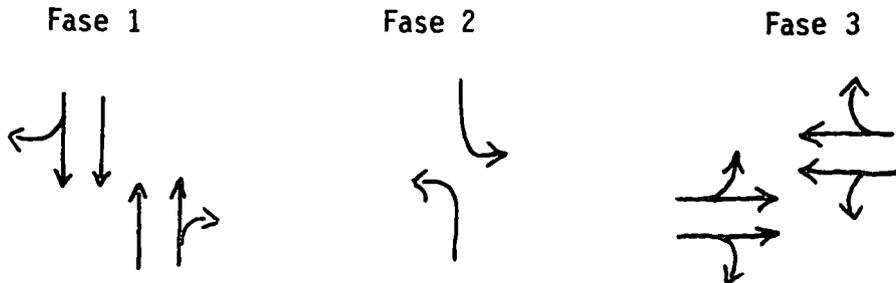
$$V_1 = 425$$

$$V_2 = 375$$

$$V_3 = \underline{315}$$

$$\Sigma V = 1115 \text{ vph} \approx 1200 \text{ igual a LØS C}$$

Pero esta puede que no sea el esquema de fases más eficiente. Pruebe con la siguiente operación consistente de tres fases.



Chequee los movimientos del canal crítico para los LØS

$$V_1 = 425$$

$$V_2 = 200$$

$$V_3 = \underline{315}$$

$$\Sigma V \quad 940 < 1200 \text{ en LØS } A$$

El segundo esquema de fases es más eficiente que el primero.

4. Chequee la operación de tres fases, para determinar si el cruce a la izquierda en la calle este-oeste puede cruzar.

Utililice la siguiente ecuación:

$$V_L = 1200 \left( \frac{V_{3T}}{V_1 + V_2 + V_{3T}} \right) - V_o$$

$$V_L = 1200 \left( \frac{255}{425 + 200 + 225} \right) - 440$$

$$V_L = 344 - 440 = 96 \text{ vph/luz verde (No sirve)}$$

Pero  $V_L$  nunca puede ser menos de 1.6 vehículos por fase debido a la luz amarilla.

Un esquema de tres fases usualmente tendrá un ciclo de 60 - 90 segundos de duración lo cual permite a unos 64 a 96 vehículos cruzar con la luz amarilla.

Por lo tanto, un esquema de tres fases funcionará.

5. Lleve a cabo una revisión para determinar si con estas fases y geométrica el volúmen crítico del canal podrá ser acomodado con una hora de luz verde.

Al utilizar la operación 3 Ø.

$$\emptyset 1 = 425 \text{ vph} \times 2.5 \text{ seg.} = 1060 \text{ segundos}$$

$$\emptyset 2 = 200 \text{ vph} \times 2.5 \text{ seg.} = 500 \text{ segundos}$$

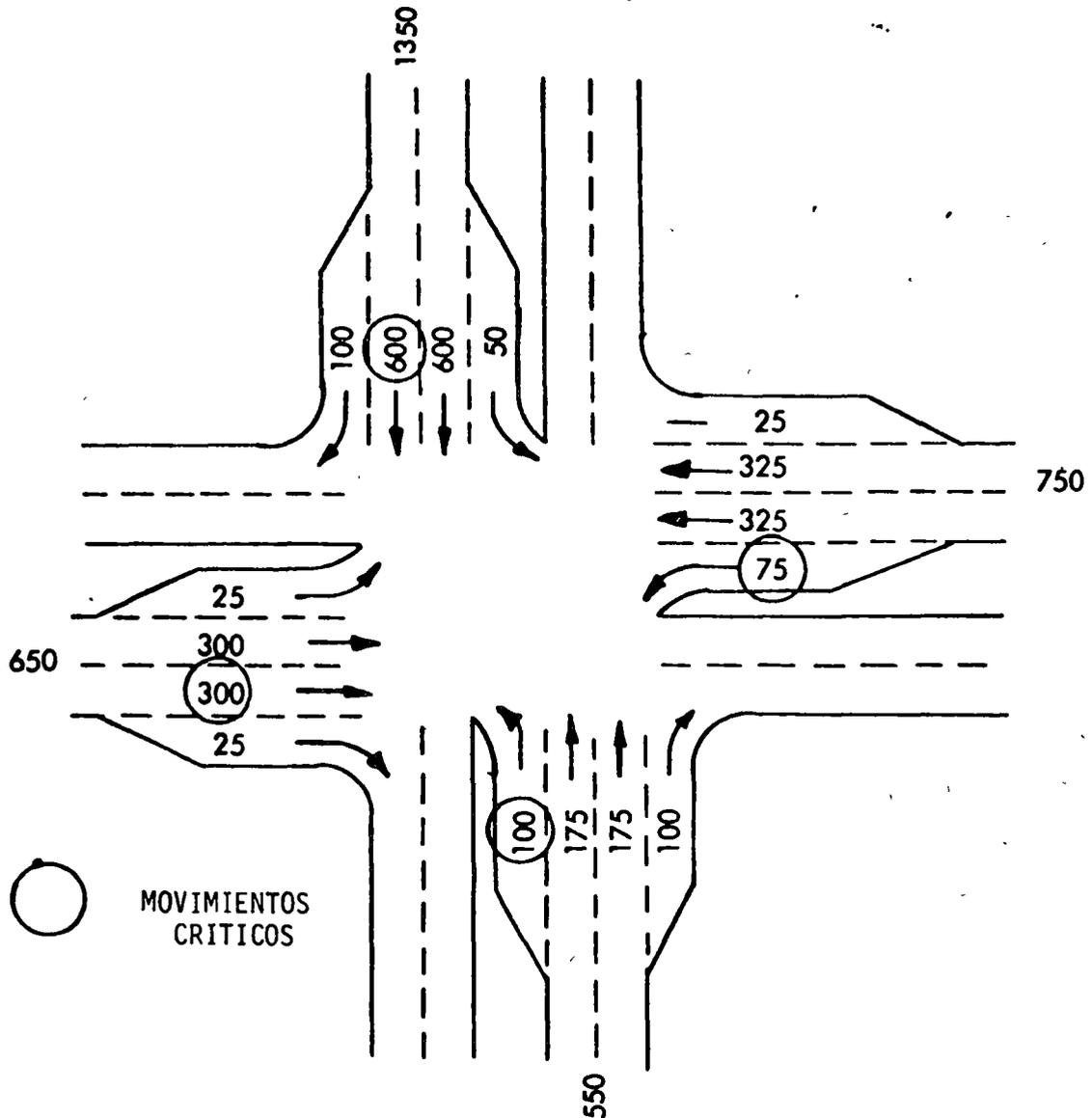
$$\emptyset 3T = 255 \text{ vph} \times 2.5 \text{ seg.} = 638 \text{ segundos}$$

$$\emptyset 3L = 70 \text{ vph} \times 3.6 \text{ seg.} = \frac{252 \text{ segundos}}{2450 \text{ segundos}} < 3600 \text{ segundos}$$

Funcionará.

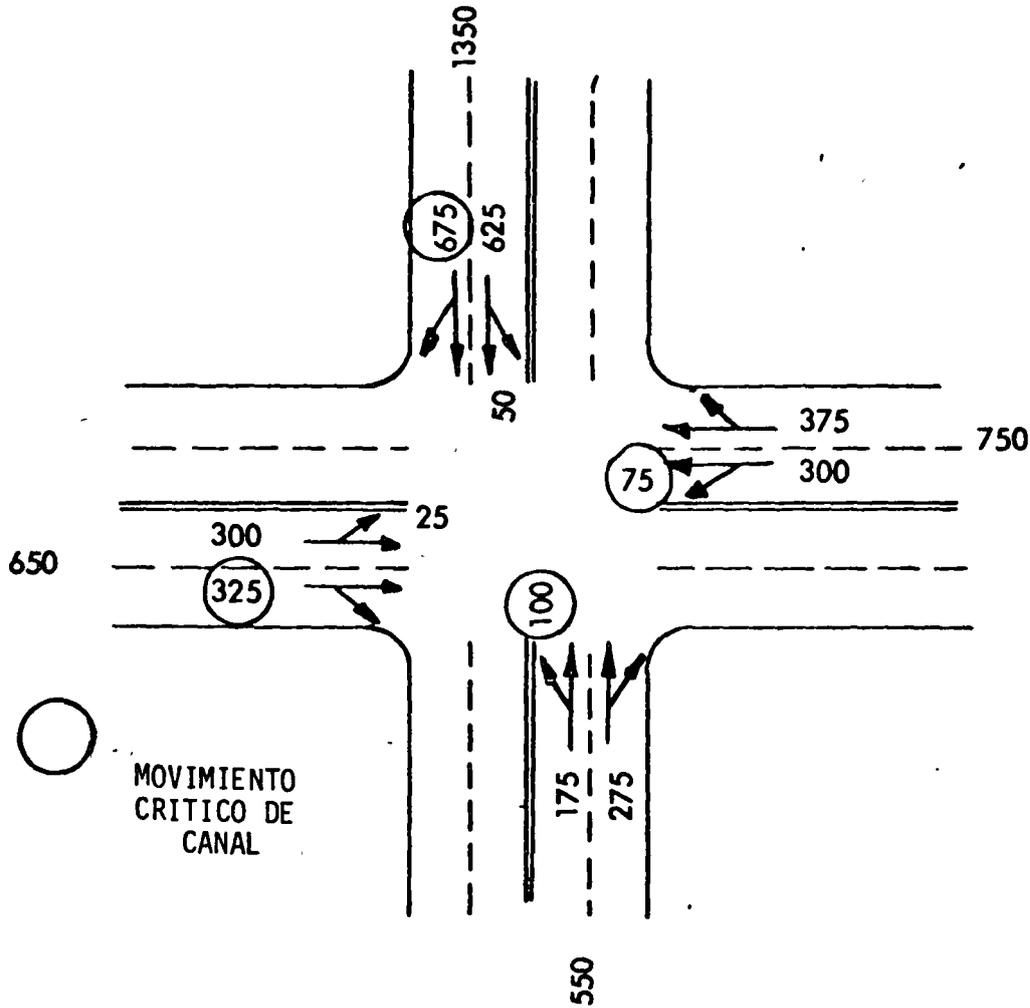
A P E N D I C E

1. Ejemplo de un movimiento crítico en una intersección con canales separados para los cruces pero sin fases separadas para ellos.



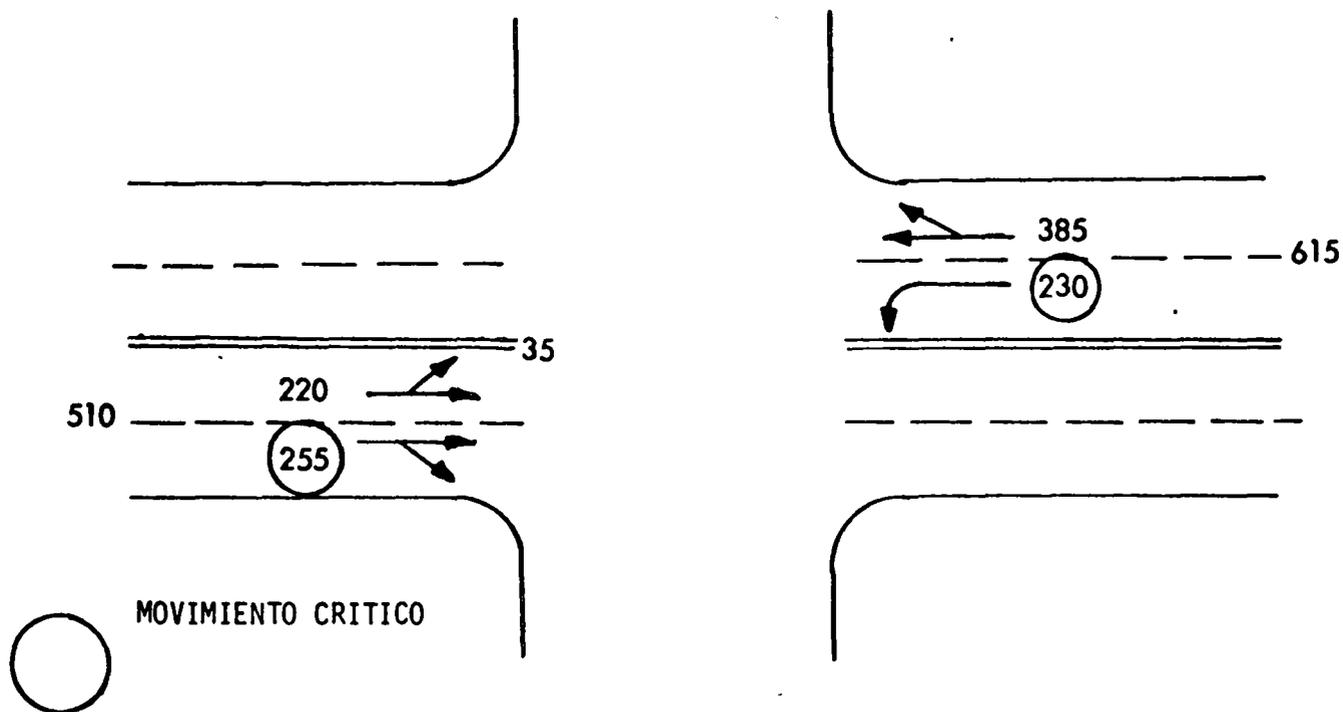
- Determinar el volúmen del tráfico que sigue directo en todas las aproximaciones.
- Determinar el volúmen por canal del tráfico que sigue directo en cada aproximación.
- Determinar el volúmen que cruza en cada canal de cruce en cada aproximación.
- Ahora determine los movimientos críticos de la intersección.

2. Ejemplo de movimiento crítico en una intersección sin canales separados para cruces, con un volúmen liviano de cruces y sin fases separadas para cruces.



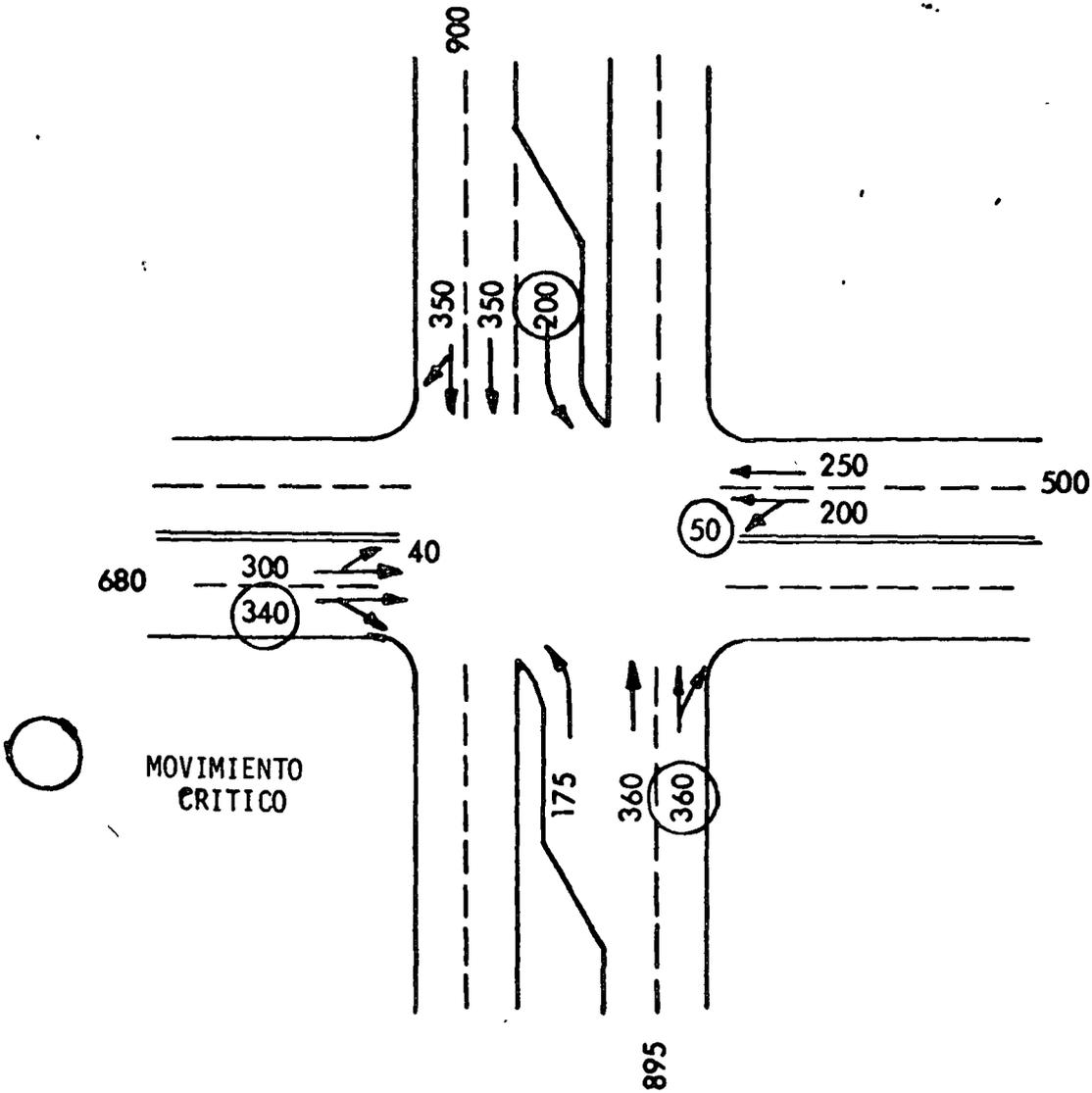
- a. Donde el volúmen de cruces es liviano, el volúmen total de aproximaciones se divide entre el número de canales en cada aproximación.
- b. Los volúmenes de cruces a la izquierda deben señalarse para determinar los movimientos críticos.
- c. Proceda a determinar los movimientos críticos.

3. Ejemplo de movimiento crítico para una intersección con un volúmen pesado de cruces a la izquierda en aproximaciones de muchos canales sin canales de cruce.



- a. Si el volúmen de tráfico que cruza es muy alto, se debe considerar ese canal como un canal de cruce a la izquierda (como se muestra en la aproximación al este)

4. Ejemplo de un movimiento crítico en una intersección con fases separadas para movimientos de conflicto.



a. Se ha determinado que esta intersección operará con tres fases

(i) Tiene dos alternativas en los esquemas de fases



El total de los movimientos críticos es:

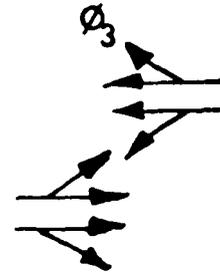
$$\phi_1 = 360$$

$$\phi_2 = 200$$

$$\phi_3 = 340 + 50 = 390$$

$$\text{Total} = 950$$

(2) También se pudiera operar en las siguientes fases



El total de los movimientos críticos es:

$$\phi_1 = 350$$

$$\phi_2 = 360$$

$$\phi_3 = 340 + 50 = 390$$

$$\text{Total} = 1100$$

Por lo tanto, el esquema de tres fases es el más eficiente.

5. Evaluación de una aproximación con un sólo canal para un movimiento crítico.
  - a. En las calles donde el cruce a la izquierda se puede pasar al utilizar el "hombrillo" ó parada de bus, evalúe (directo más cruce a la derecha) + (izquierda en el sentido contrario) y seleccione el par de flujos que den el total más alto.
  - b. Para calles donde no se pueden pasar los cruces a la izquierda, evalúe (directo más cruce a la derecha, más cruce a la izquierda) + (cruce a la derecha en el sentido contrario).

## PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES - RED ABIERTA

Anexo se encuentra un proyecto que ilustra la diferencia de tiempo y las relaciones de escalonamiento (tiempo - distancia - velocidad) entre una serie de intersecciones a lo largo de una ruta ó red abierta.

A. Estudios de Campo:

Los equipos llevarán a cabo los siguientes estudios:

1. Registro de las diferencias de tiempo entre el inicio de las luces verdes (para el tráfico que se dirige al sur) en las intersecciones adyacentes a lo largo de la Avenida Chicago entre la Calle Clark y la Calle Grove. (Forma 3542 - A)

Equipo \_\_\_\_\_

2. Registro de las diferencias de tiempo entre el inicio de las luces verdes (para el tráfico que se dirige al norte) en las intersecciones adyacentes a lo largo de la Avenida Chicago entre la Calle Grove y la Calle Clark. (Forma 3542-A)

Equipo \_\_\_\_\_

3. Determinar la secuencia de operación (fases) y el tiempo de las fases (verde y amarilla) para el movimiento de vehículos en cada una de las cuatro intersecciones (Clark, Church, Davis, Grove) a lo largo de la Avenida Chicago. Registrar el vehículo que se dirige al norte como la primera fase. (Utilizar la forma 3542-B)

Equipo \_\_\_\_\_

B. Proyecto de Laboratorio:

Cada individuo debe completar los siguientes proyectos:

1. Tabular los datos que existen sobre tiempo de señales y los escalonados que se requiere para preparar el diagrama de tiempo y espacio (Forma 3542-B)
2. Prepare un diagrama de tiempo y espacio en base a las señales existentes de tiempo. (Forma 3542-C)
3. Prepare un diagrama de tiempo y espacio para que se revise el programa de tiempo en base a los datos suministrados (3542-D)

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

CADENA ABIERTA

AVENIDA CHICAGO



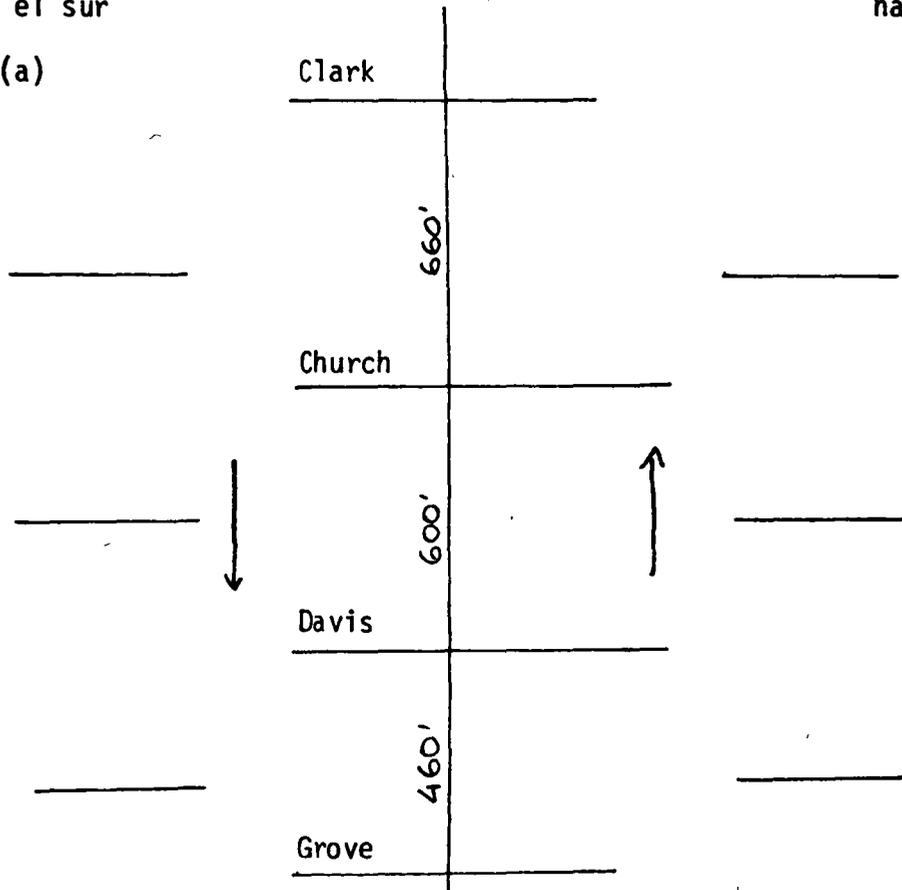
Forma del Campo

Diferencia de tiempo, Tráfico hacia el sur

Diferencia de Tiempo, Tráfico hacia el norte

(a)

(b)



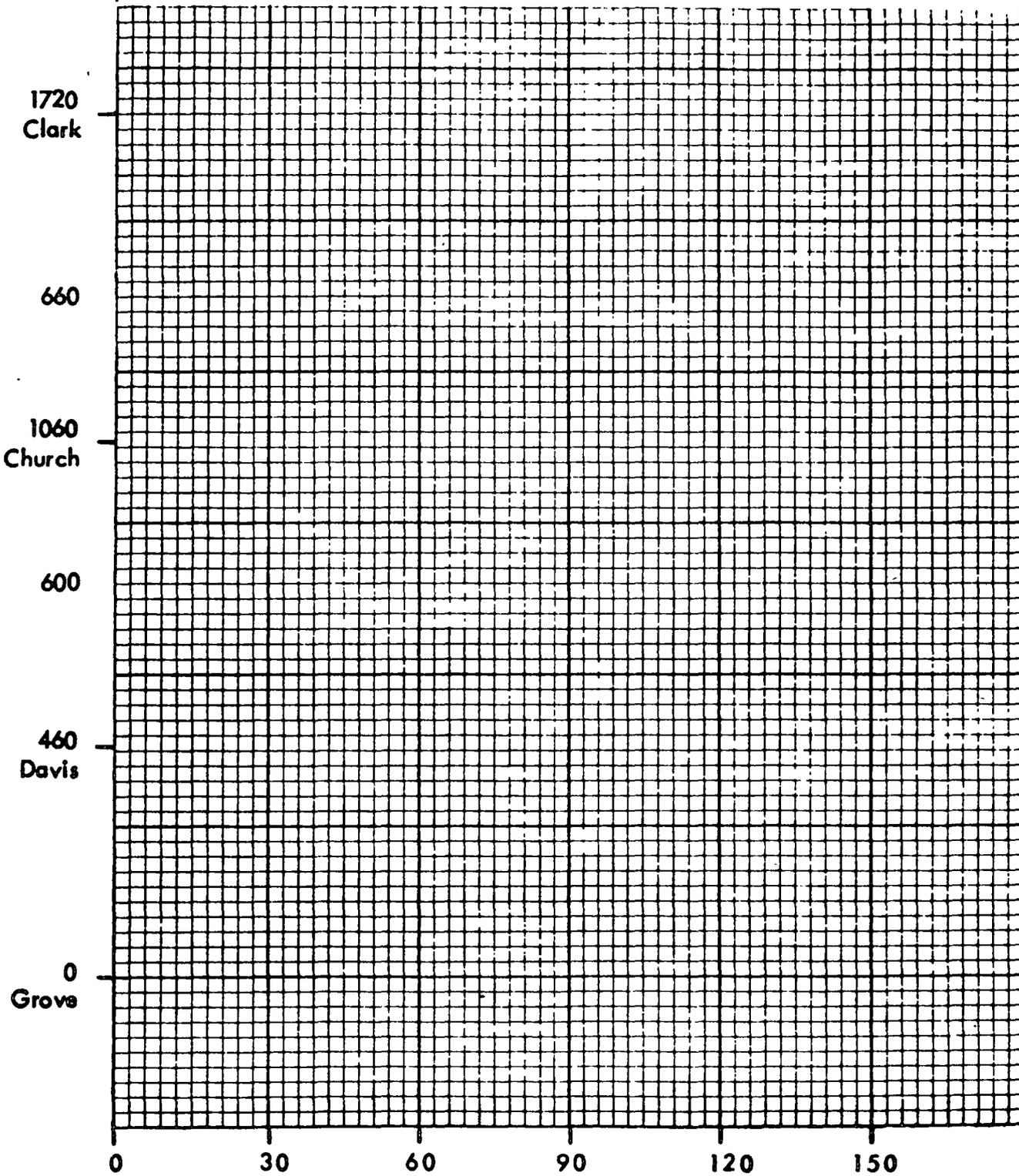
- (a) La Diferencia de Tiempo se mide como la diferencia entre el tiempo de inicio de las luces verdes para el tráfico hacia el sur, ó los escalonados entre las intersecciones adyacentes.
- (b) La Diferencia de Tiempo se mide como la diferencia entre el tiempo de inicio de las luces verdes para el tráfico hacia el norte, ó los escalonados entre las intersecciones adyacentes.

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

AVENIDA CHICAGO

Forma del Campo

Progresión \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Pies/Seg \_\_\_\_\_ MPH



TIEMPO EN SEGUNDOS

3542-C



PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

AVENIDA CHICAGO

Forma de Campo

Ubicación (Fases y Escalonados) (1)	Movimientos (Fases)	Tiempo de Fase	Tiempo del Intervalo Referencia (3)
Calle Clark	N.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>50 - 10</u>
Escalonado <u>50</u>	S.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>10 - 30</u>
Fases <u>3 Ø</u>	E.B. & W.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>30 - 50</u>
Calle Church	N.B. & S.B. (G+A)	<u>35</u>	<u>30 - 05</u>
Escalonado <u>30</u>	E.B. (G+A)	<u>25</u>	<u>05 - 30</u>
Fases <u>2 Ø</u>			
Calle Davis	N.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>10 - 30</u>
Escalonado <u>10</u>	W.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>30 - 50</u>
Fases <u>3 Ø</u>	S.B. (G+A)	<u>20</u>	<u>50 - 10</u>
Calle Grove	N.B. & S.B. (G+A)	<u>35</u>	<u>0 - 35</u>
Escalonado <u>0</u>	E.B. & W.B. (G+A)	<u>25</u>	<u>35 - 60</u>
Fases <u>2 Ø</u>			
Duración del ciclo = <u>60</u>	Segundos		

- (1) El inicio de la luz verde N.B. en la Calle Grove es la referencia de tiempo 0 para el escalonamiento  
 (2) Tiempo de Fase - Verde + Amarilla en Segundos  
 (3) Presumase que la luz verde N.B. en Cada intersección comienza en el tiempo escalonado

Equipo No \_\_\_\_\_

N.B. - hacia el norte  
 S.B. - hacia el sur  
 E.B. - hacia el este  
 W.B. - hacia el oeste  
 A luz amarilla  
 G luz verde

3542-D

PROGRAMACION DEL TIEMPO EN LAS SEÑALES - RED CERRADA

Anexo se encuentra un proyecto que ilustra la diferencia de tiempo (escalonado) y su relación (tiempo - distancia - velocidad) entre un grupo de intersección en una red cerrada.

A. Estudios en el Campo

Los equipos llevarán a cabo los siguientes estudios:

1. Registrar el tiempo de diferencia (escalonado) entre el comienzo de las luces verdes para el tráfico con sentido este en las intersecciones adyacentes (Ridge, Oak, Maple y Benson) a lo largo de la Calle Church. (Utilizar Forma 3543-A)

Equipo \_\_\_\_\_

2. Registrar el tiempo de diferencia (escalonado) entre el comienzo de las luces verdes para el tráfico con sentido sur entre Church y Davis, a lo largo de Ridge, Oak y Benson. (Utilizar forma 3543-A)

Equipo \_\_\_\_\_

3. Registrar el tiempo de diferencia (escalonado) entre el comienzo de las luces verdes para el tráfico con sentido oeste en las intersecciones adyacentes (Benson, Maple, Oak y Ridge) a lo largo de la Calle Davis. (Utilizar forma 3543-A)

Equipo \_\_\_\_\_

4. Registrar el tiempo de diferencia (escalonado) entre el comienzo de las luces verdes entre las Calles Davis y Church sobre Benson, Oak y Ridge. (Utilizar forma 3543-A)

Equipo \_\_\_\_\_

5. Registrar las fases de tiempo (verde y amarilla) para cada una de las intersecciones de Church con Ridge, Oak, Maple y Benson (Utilizar forma 3543-B)

Equipo \_\_\_\_\_

6. Registrar las fases de tiempo (verde y amarilla) para cada una de las intersecciones de Davis con Benson, Maple, Oak y Ridge. Utilizar forma 3543-C)

Equipo \_\_\_\_\_

B. Proyecto de Laboratorio:

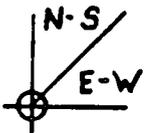
Cada individuo completará los siguientes proyectos con la asistencia del instructor.

1. Registre las fases de tiempo para todas las intersecciones y la diferencia de tiempo (escalonado) de todas las uniones en la red. (Utilizar la forma 3543-A)
2. Chequear a fin de determinar si existe un "cierre" en la red.
3. Determinar y registrar las fijaciones de los escalonados para todas las intersecciones en relación al comienzo de la luz verde para el tráfico con sentido norte en Ridge y Church; como la referencia 0. (Utilizar forma 3543-D)

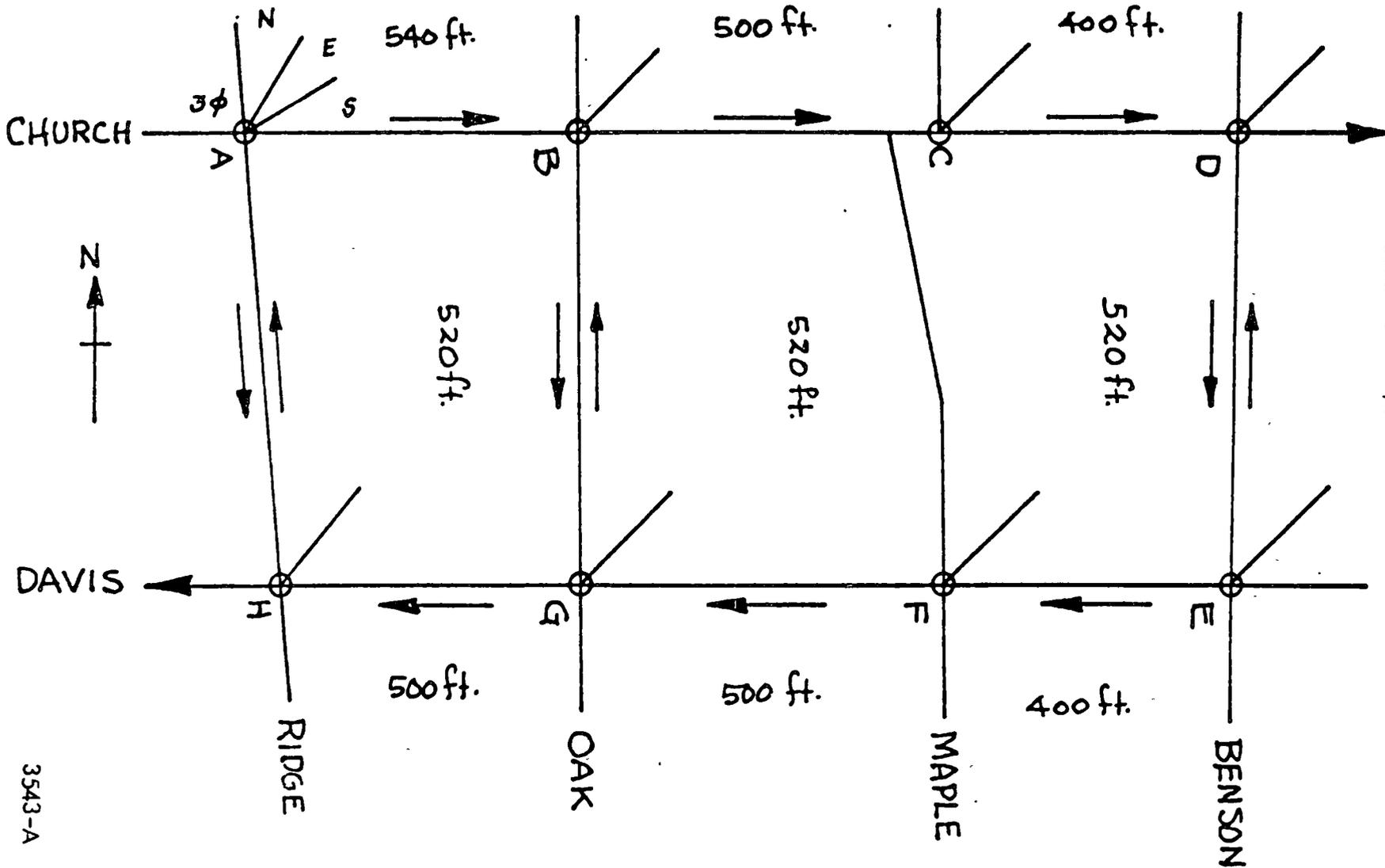
Leyenda:



Registrar diferencia de tiempo al comienzo de las luces verdes entre las intersecciones adyacentes



Registrar el tiempo de la Fase (Verde + Amarilla) en segundos para los movimientos Norte-Sur y Este-Oeste



PROGRAMACION DE UNA RED CERRADA

3543-A

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

TIEMPO DE FASES

Forma del Campo

<u>INTERSECCION</u>	<u>FASES</u>	<u>TIEMPO DE FASE (1)</u>
Church y Rdige 3 Ø	N.B. (G+A)	_____
	E.B. (G+A)	_____
	S.B. (G+A)	_____
Church y Oak 2 Ø	N.B. & S.B. (G+A)	_____
	E.B. (G+A)	_____
Church y Maple 2 Ø	S.B. (G+A)	_____
	E.B. (G+A)	_____
Church y Benson	N.B. & S.B. (G+A)	_____
	E.B. (G+A)	_____

(1) Tiempo en segundos

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE SEÑALES

FORMA DE FASES

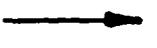
Forma del Campo

<u>INTERSECCION</u>	<u>FASES</u>	<u>TIEMPO DE FASE</u>
Davis y Benson 2 Ø	S.B. (G+A)	_____
	W.B. (G+A)	_____
Davis y Maple 2 Ø	N.B. & S.B. (G+A)	_____
	W.B. (G+A)	_____
Davis y Oak	N.B. & S.B. (G+A)	_____
	W.B. (G+A)	_____
Davis y Ridge	N.B. & S.B. (G+A)	_____
	W.B. (G+A)	_____

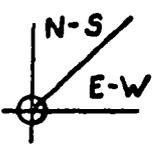
(1) Tiempo en Segundos

127

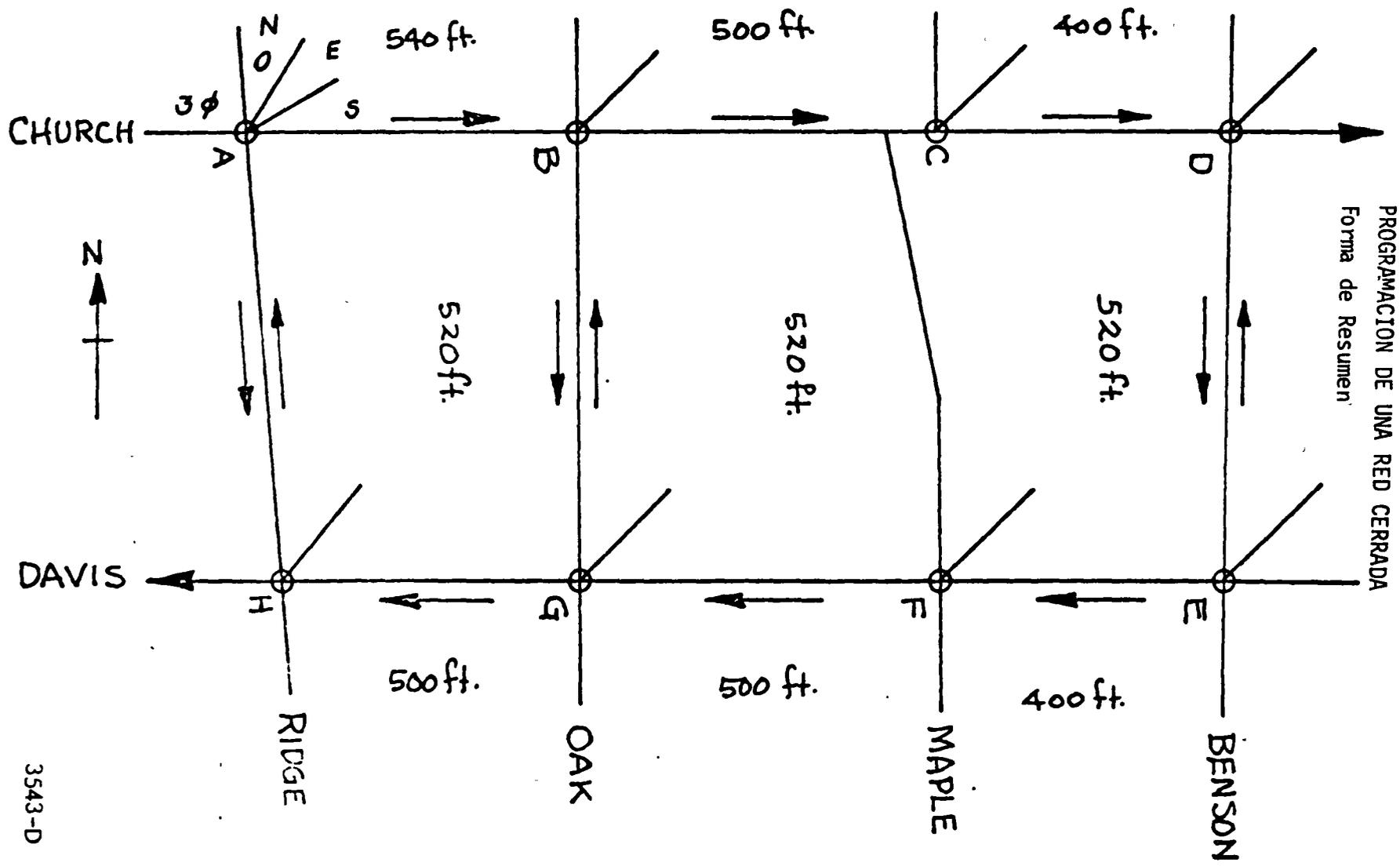
Legenda:



Registrar tiempo de diferencia del comienzo de las luces verdes entre las intersecciones adyacentes



Registrar el comienzo de la Fase de luz verde como Referencia de tiempo Escalonado con la Referencia de tiempo 0



PROGRAMACION DE UNA RED CERRADA  
Forma de Resumen

3543-D

## RED DE SEÑALES - EXPOSICION DE PROBLEMAS

Anexo se presentan una serie de problemas de trabajo los cuales servirán para ilustrar los métodos que se utilizan para determinar las relaciones de escalonados en red de señales cerradas y abiertas.



PROBLEMA 1 - ESCALONADOS DE RUTAS DE DOBLE VIA

Dado:

- A. La Calle Principal tiene señales en cinco calles de cruce con el siguiente espacio:

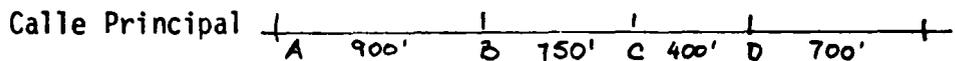
A-B 900 pies  
 B-C 750 pies  
 C-D 400 pies  
 D-E 700 pies

- B. La duración del ciclo en la Calle Principal se establecido en 50 segundos con un split de 50-50 en cada intersección.

Resuelva:

- A. Determinar la diferencia de tiempo entre el comienzo de los intervalos de luz verde en las intersecciones individuales midiendolos en el sentido este desde la Calle A hasta la Calle E para dar con una velocidad progresiva de 25 mph (37 pies/seg.)
- B. Registrar los escalonados requeridos (en segundos) de las intersecciones individuales para obtener una progresión en la Calle Principal en la dirección este, comenzando desde la Calle A con un tiempo de referencia 0.
- C. Determinar la diferencia de tiempo entre el comienzo de los intervalos de luz verde en las intersecciones individuales midiendolos en el sentido oeste desde la Calle E hasta la Calle A.
- D. Se ha logrado una progresión adecuada para el tráfico con sentido oeste? De no ser así, como se puede establecer una progresión de doble vía adecuada?

Escalonados



Diferencia de Tiempo  
 hacia el Este

\_\_\_\_\_

Diferencia de Tiempo  
 hacia el Oeste

\_\_\_\_\_

PROBLEMA 2 - SISTEMA ESCALONADO EN CALLES DE UNA VIA

Dado:

- A. duración del ciclo - 60 segundos
- B. Split del ciclo 50-50
- C. Distancia entre las intersecciones --- 400 pies
- D. Una red para una calle de una sola vía como se señala en la siguiente página
- E. Referencia de tiempo en la intersección P-1 es:

$$0/50 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S} - \text{porciento}}{\text{comienzo de la luz verde E-O} - \text{porciento}}$$

Resuelva: (Señale las respuestas en la siguiente página)

- A.Cuál de los sistemas de escalonado escogería usted para esta red de señales en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- B. Bajo el sistema que usted ha elegido, cuáles son las velocidades progresivas en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- C. Señale las relaciones de escalonado para cada intersección como porcentaje del ciclo total, como sigue:

$$25/75 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S}}{\text{comienzo de la luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 2 - SISTEMA ESCALONADO EN CALLES DE UNA VÍA

Respuestas:

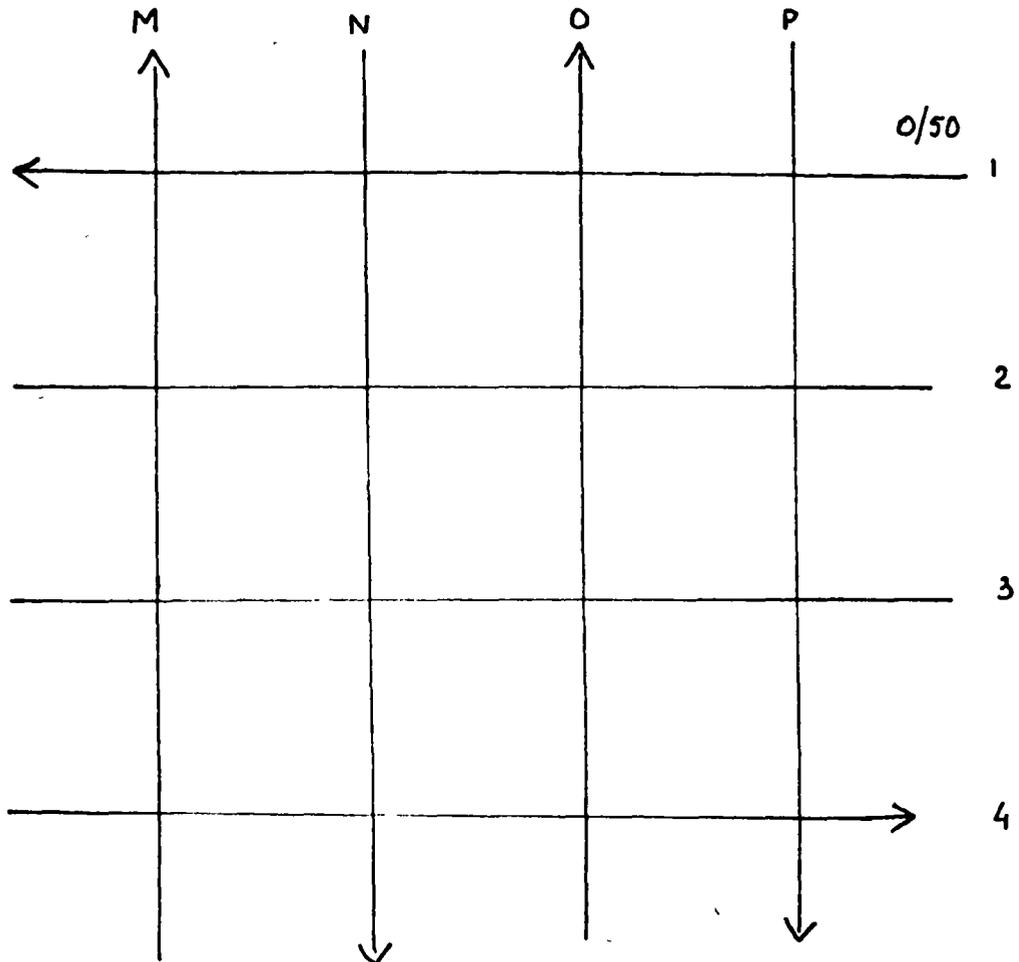
A. Sistema de escalonado seleccionado

- 1. Calles norte-sur \_\_\_\_\_
- 2. Calles este-oeste \_\_\_\_\_

B. Velocidades progresivas

- 1. Calles norte-sur \_\_\_\_\_
- 2. Calles este-oeste \_\_\_\_\_

C. Señale las relaciones de escalonado para cada intersección en el bosquejo.



PROBLEMA 3 - SISTEMA ESCALONADO PARA UNA CALLE DOBLE VIA

Dado:

- A. La red de la calle tal como se muestra en la siguiente página, calles norte - sur doble vía, y calles este-oeste una vía.
- B. duración del ciclo - 65 segundos
- C. Split del ciclo=
  - norte-sur verde y amarilla - 55%
  - este-oeste verde y amarilla - 45%
- D. Distancia entre las intersecciones
  - distancia norte-sur - 440 pies
  - distancia este-oeste - 330 pies
- E. Referencia de tiempo en la intersección D-1 =  
$$55/10 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S - por ciento}}{\text{comienzo de la luz verde E-W - por ciento}}$$

Resuelva: (Señale las respuestas en la siguiente página)

- A. Cual sistema de escalonado elegiría usted para esta red de señales en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- B. Bajo el sistema que usted ha seleccionado cuales son las velocidades progresivas en las calles norte-sur y este-oeste?
- C. Señale las relaciones de escalonado para cada intersección como un porcentaje del ciclo total, como sigue:

$$05/60 = \frac{\text{comienzo de luz verde N-S}}{\text{comienzo de luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 3 - SISTEMA ESCALONADO PARA UNA CALLE DOBLE VIA

Respuestas:

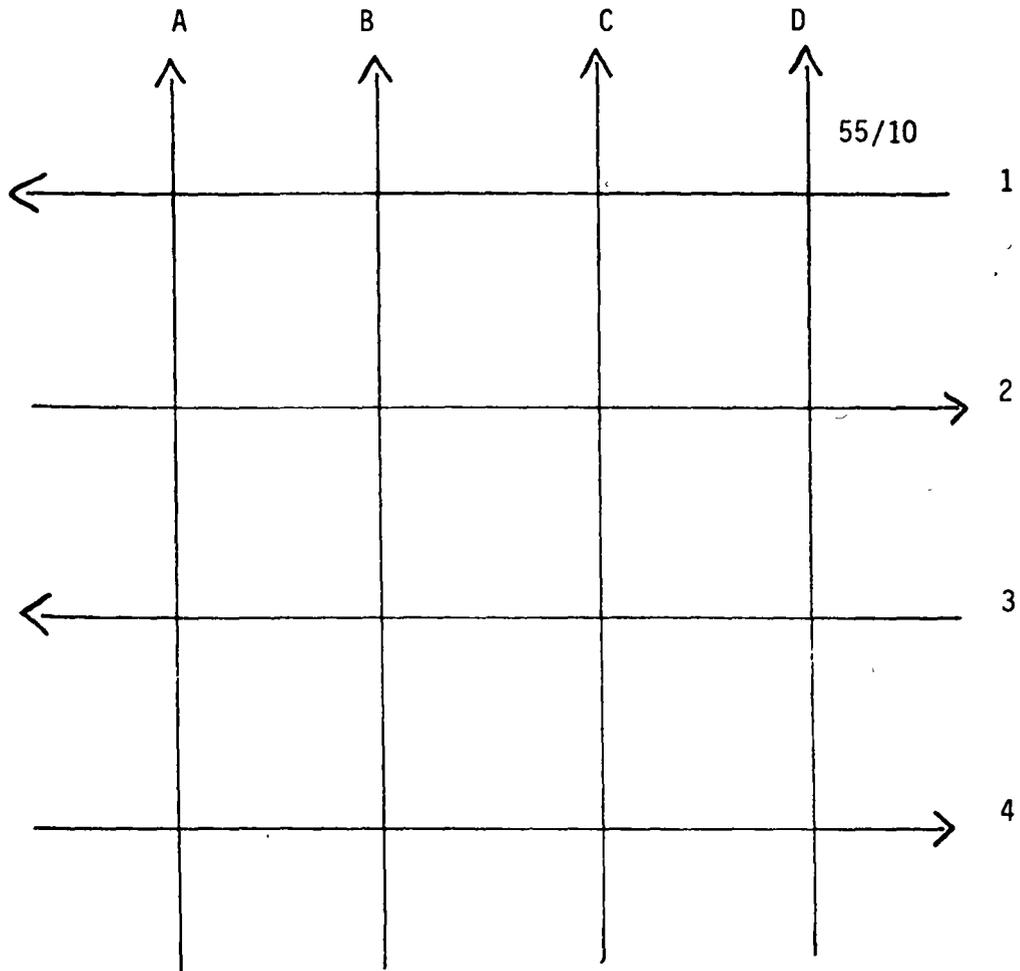
A. Sistema de escalonado seleccionado

- 1. Calles norte-sur \_\_\_\_\_
- 2. Calles este-oeste \_\_\_\_\_

B. Velocidades progresivas

- 1. Calles norte-sur \_\_\_\_\_
- 2. Calles este-oeste \_\_\_\_\_

C. Señale la relación de los escalonados para cada intersección en el bosquejo (porcentaje).



PROBLEMA 4 - SISTEMA ESCALONADO DE UNA CALLE DOBLE VIA

Dado:

- A. Red de señales, distancia entre las intersecciones y la progresión deseada. Las velocidades se señalan en el bosquejo.
- B. Duración del ciclo - 50 segundos
- C. Split del ciclo 50-50.
- D. Punto de referencia de tiempo en la intersección G-2, en segundos:

$$\frac{0}{25} = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S}}{\text{comienzo de la luz verde E-W}}$$

- E. Las velocidades progresivas deben establecerse con las siguientes prioridades:

- 1. 2da Calle entre Calle G y Calle C (WB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 2. 2da Calle entre Calle C y Calle A (WB) 17 mph (25 pies por segundo)
- 3. 4ta Calle entre Calle C y Calle G (EB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 4. 4ta Calle entre Calle A y Calle C (EB) 17 mph (25 pies por segundo)
- 5. Calle F - largo completo (SB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 6. Calle G - largo completo (NB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 7. Calle C - largo completo (DV) 15 mph (22 pies por segundo)
- 8. Calle A - largo completo (SB) 15 mph (22 pies por segundo)
- 9. Calle B - largo completo (NB) 15 mph (22 pies por segundo)

WB: hacia el oeste; EB: hacia el este; SB: hacia el sur; NB: hacia el norte  
DV: doble vía

Resuelva:

- A. Determine la relación de escalonado para cada intersección para obtener la velocidad progresiva deseada en cada sección de la calle.
- B. Si la red no cierra, establezca los escalonados en base al orden dado.
- C. Señale la relación del escalonado en segundos para cada intersección con círculo en el bosquejo anexo, de la manera siguiente:

$$25/0 = \frac{\text{comienzo luz verde N-S}}{\text{comienzo luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 4- SISTEMA ESCALONADO PARA UNA DOBLE VIA (Contd.)

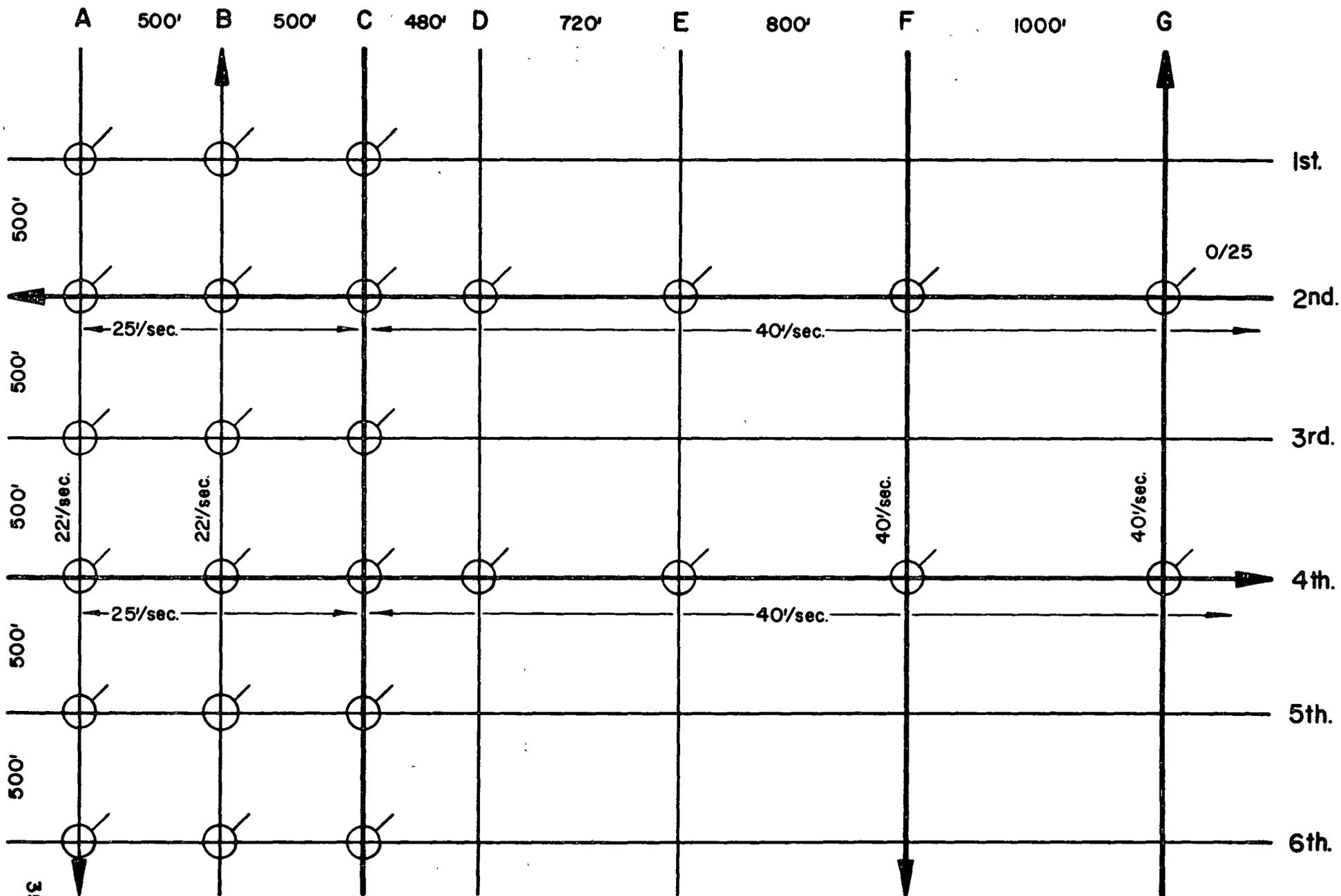
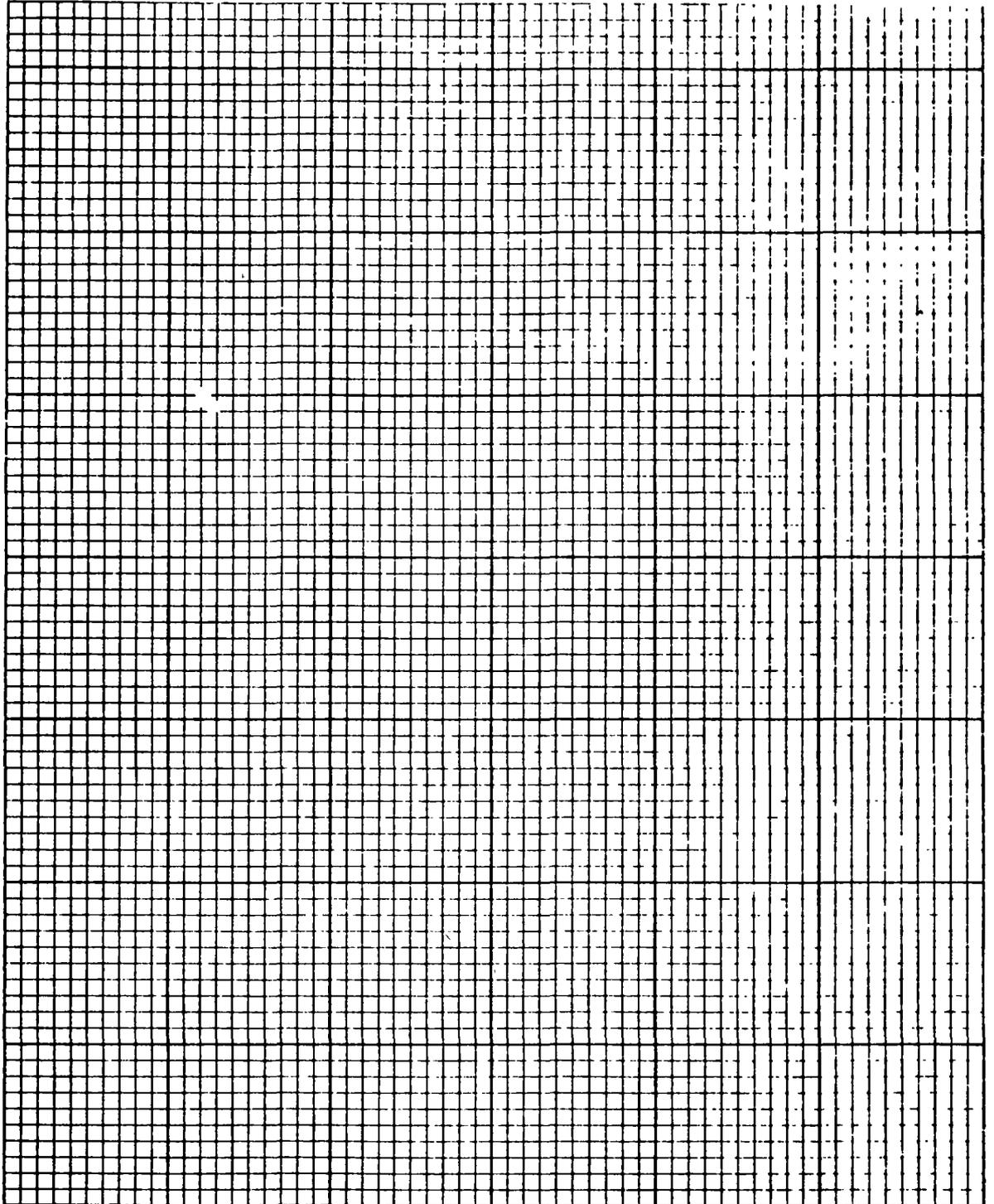


DIAGRAMA DE ESPACIO Y TIEMPO

4  
N

Progresión \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Pies/Seg. \_\_\_\_\_ MPH

DISTANCIA EN PIES



TIEMPO EN SEGUNDOS

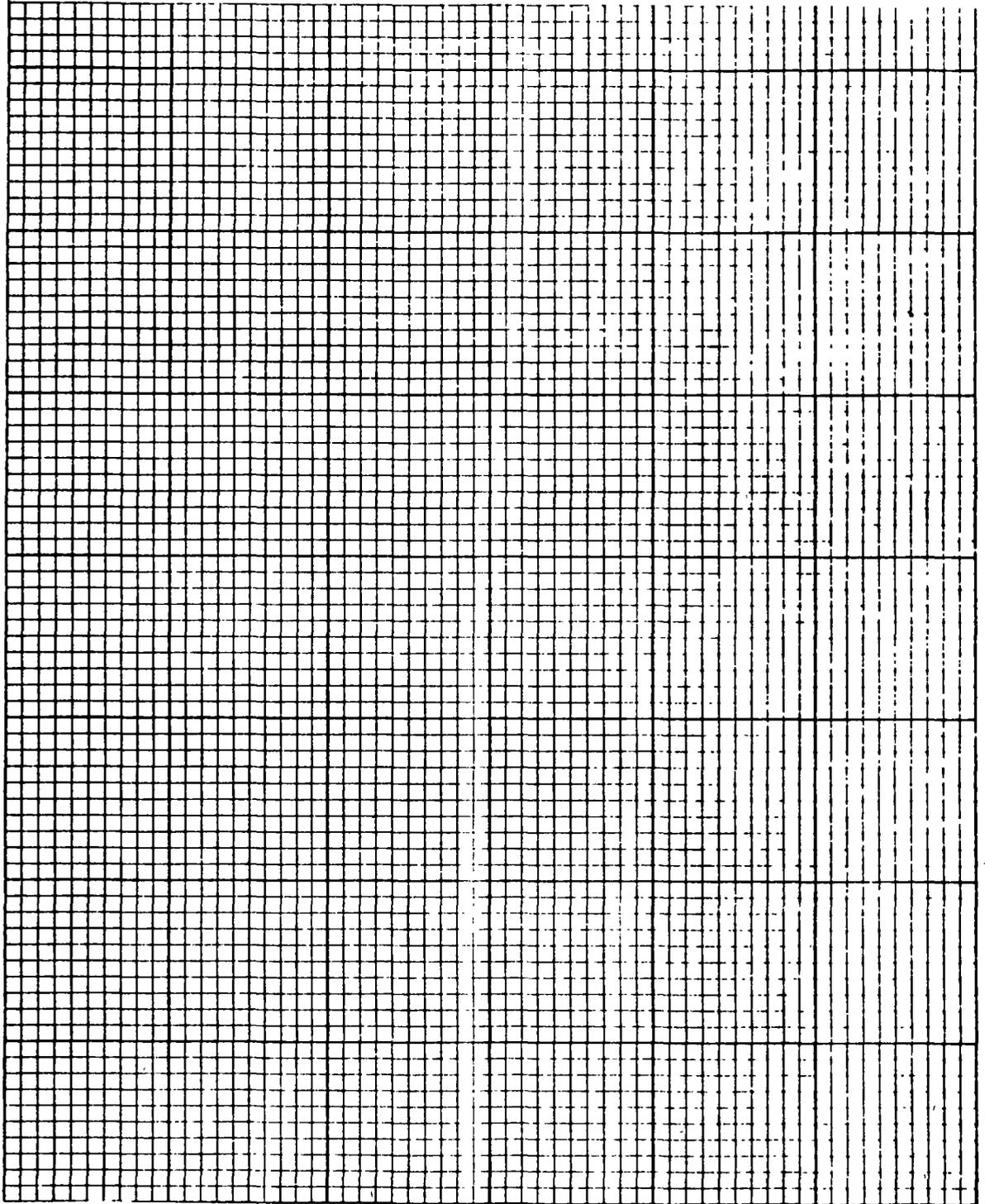
136

DIAGRAMA DE TIEMPO Y ESPACIO

4  
N

Progresión \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Pies/Seg. \_\_\_\_\_ MPH

DISTANCIA EN PIES



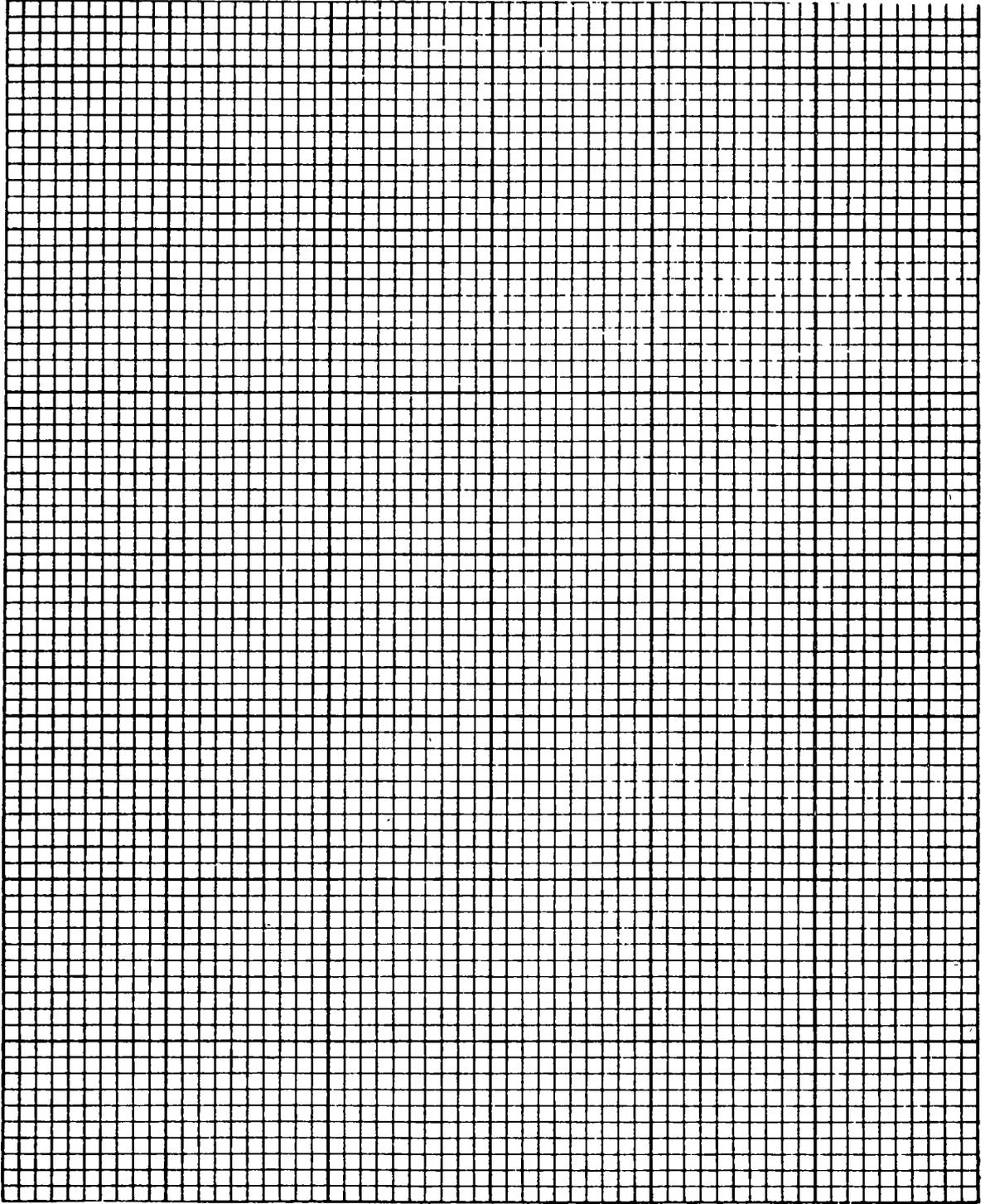
TIEMPO EN SEGUNDOS

N  
4

-10-  
DIAGRAMA DE ESPACIO Y TIEMPO

Progresión \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Pies/Seg \_\_\_\_\_ MPH

DISTANCIA EN PIES



TIEMPO EN SEGUNDOS

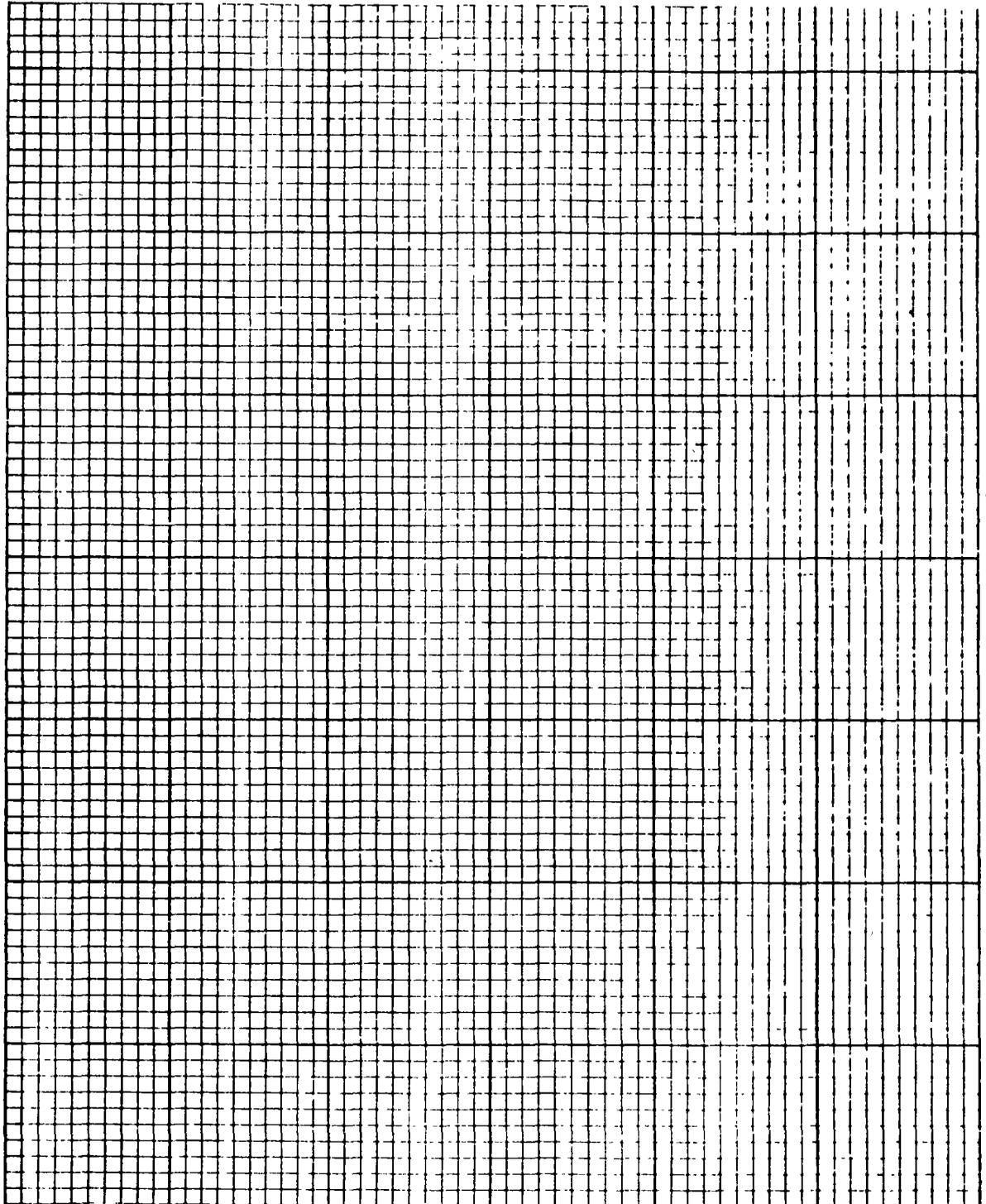
3107f

DIAGRAMA DE ESPACIO Y TIEMPO

4  
N

Progresión \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Pies/seg. \_\_\_\_\_ MPH

DISTANCIA EN PIES



TIEMPO EN SEGUNDOS

RED DE SEÑALES - SOLUCION DE PROBLEMAS



PROBLEMA 1 - ESCALONADOS DE RUTAS DE DOBLE VIA

Dado:

- A. La Calle Principal tiene señales en 5 calles de cruce con los espacios siguientes:

A-B 900 pies  
B-C 750 pies  
C-D 400 pies  
D-E 700 pies

- B. La duración del ciclo en la Calle Principal se ha establecido en 50 segundos con un split de 50-50 en cada intersección.

Resuelva:

- A. Determinar la diferencia de tiempo entre el comienzo de los intervalos de luz verde en las intersecciones individuales midiéndolos en el sentido este desde la Calle A hasta la Calle E para dar con una velocidad progresiva de 25 mph (37 pies por segundo).
- B. Registrar los escalonados requeridos (en segundos) de las intersecciones individuales para obtener una progresión en la Calle Principal en la dirección este, comenzando desde la Calle A con un tiempo de referencia 0.
- C. Determinar la diferencia de tiempo entre el comienzo de los intervalos de luz verde en las intersecciones individuales midiéndolos en el sentido oeste desde la Calle E hasta la Calle A.
- D. Se ha logrado una progresión adecuada para el tráfico con sentido oeste? De no ser así, como se puede establecer una progresión de doble vía adecuada?

Escalonados	0	24	44	55 05	74 24
Calle Principal	+				+
	A	B	C	D	E
		900'	750'	400'	700'
Diferencia de Tiempo hacia el Este		24	20	11	19
Diferencia de Tiempo hacia el Oeste		26	30	39	31

PROBLEMA 1 - ESCALONADO DE RUTAS DE DOBLE VIA (Contd.)

D. Establecer el progreso de doble vfa adecuado

1. Para facilitar una progresión balanceada de doble vfa, la alternativa (1/2 ciclo) o relaciones de tiempo simultáneas (escalonado 0) se debe utilizar de la siguiente manera:

Escalonados	0	25	50	50	75
Calle Principal	A	B	C	D	E
	900'	750'	400'	700'	
Diferencia de Tiempo hacia el Este		25	0	25	
Diferencia de Tiempo hacia el Oeste	25	25	0	25	

PROBLEMA 2 - SISTEMA ESCALONADO EN CALLES DE UNA VIA

Dado:

- A. Duración del ciclo - 60 segundos
- B. Split del ciclo 50-50
- C. Distancia entre las intersecciones - - - 400 pies
- D. Una red para una calle de una sola vía como se señala en la siguiente página
- E. Referencia de tiempo en la intersección P-1:

$$0/50 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S - porcentaje}}{\text{comienzo de la luz verde E-O - porcentaje}}$$

Resuelva: (Señale las respuestas en la siguiente página)

- A. Cuál de los sistemas de escalonado escogería usted para esta red de señales en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- B. Bajo el sistema que usted ha elegido, cuáles son las velocidades progresivas en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- C. Señale las relaciones de escalonado para cada intersección como porcentaje del ciclo total, como sigue:

$$25/75 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S}}{\text{comienzo de la luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 2- SISTEMA ESCALONADO EN CALLES DE UNA VIA

Respuestas:

A.- Sistema de escalonado seleccionado.

1- Calles norte-sur 1/4 ciclo

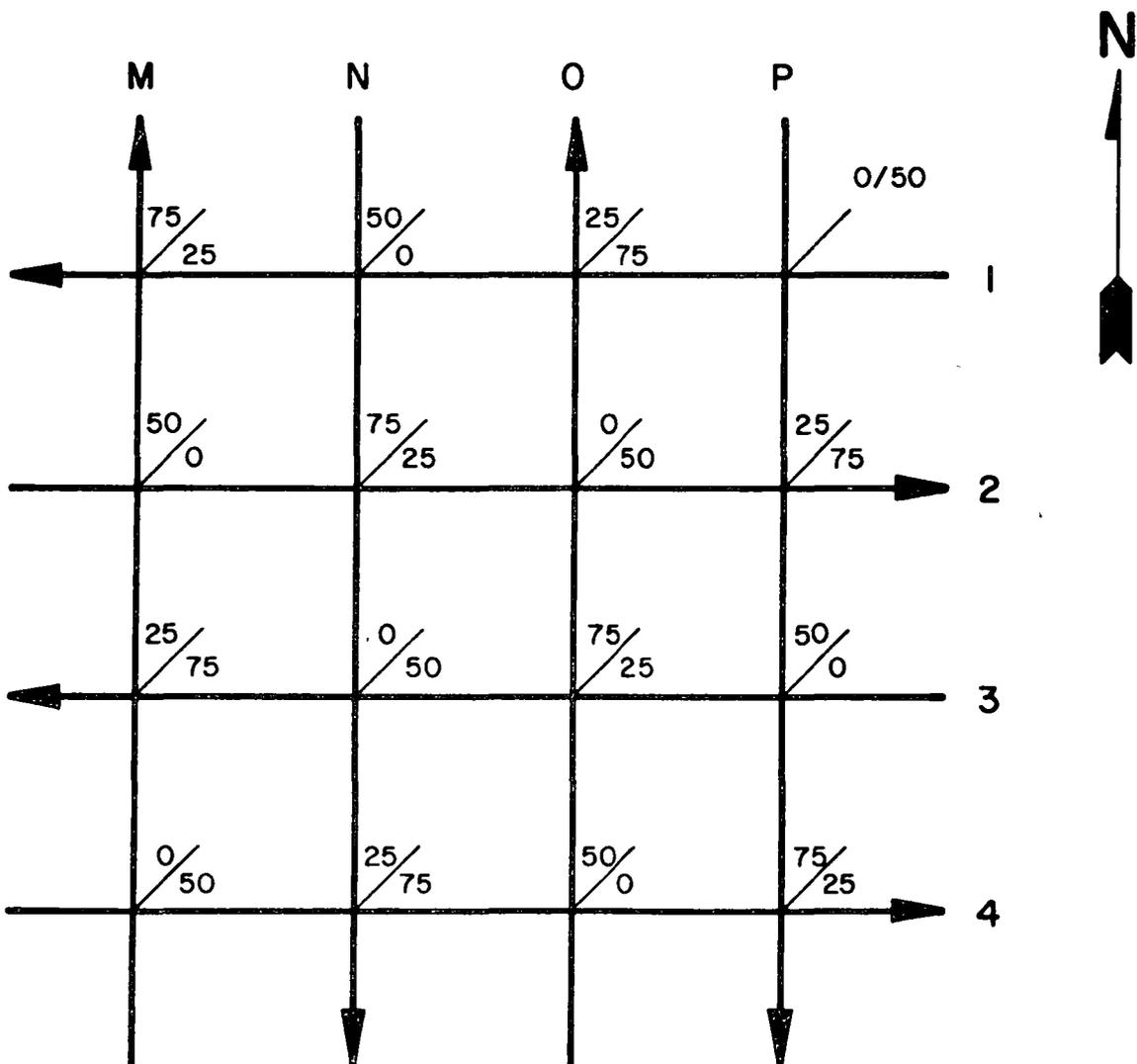
2- Calles este-oeste 1/4 ciclo

B.- Velocidades progresivas.

1- Calles norte-sur 400 pies/15 seg.= 27 pies/seg.= 18 mph.

2- Calles este-oeste igual

C.- Señale las relaciones de escalonado para cada intersección en el bosquejo



PROBLEMA 3 - SISTEMA ESCALONADO PARA UNA CALLE DOBLE VIA

Dado:

- A. La red de la calle tal como se muestra en la siguiente página, calles norte-sur doble vfa, y calles este-oeste una vfa.
- B. Duración de ciclo - 65 segundos
- C. Split del ciclo  
norte-sur verde y amarilla - 55%  
este-oeste verde y amarilla - 45%
- D. Distancia entre las intersecciones  
distancia norte-sur - 440 pies  
distancia este-oeste - 330 pies
- E. Referencia de tiempo en la intersección D-1 =  
$$55/10 = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S - porcentaje}}{\text{comienzo de la luz verde E-W - porcentaje}}$$

Resuelva: (Señale las respuestas en la siguiente página)

- A. Cual sistema de escalonado elegiría usted para esta red de señales en las calles norte-sur y las calles este-oeste?
- B. Bajo el sistema que usted ha seleccionado cuáles son las velocidades progresivas en las calles norte-sur y este-oeste?
- C. Señale las relaciones de escalonado para cada intersección como un porcentaje del ciclo total, como sigue:

$$05/60 = \frac{\text{comienzo de luz verde N-S}}{\text{comienzo de luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 3- SISTEMA ESCALONADO PARA UNA CALLE DOBLE VIA

Respuestas :

A- Sistema de escalonado seleccionado.

1- Calles norte-sur alternativa doble

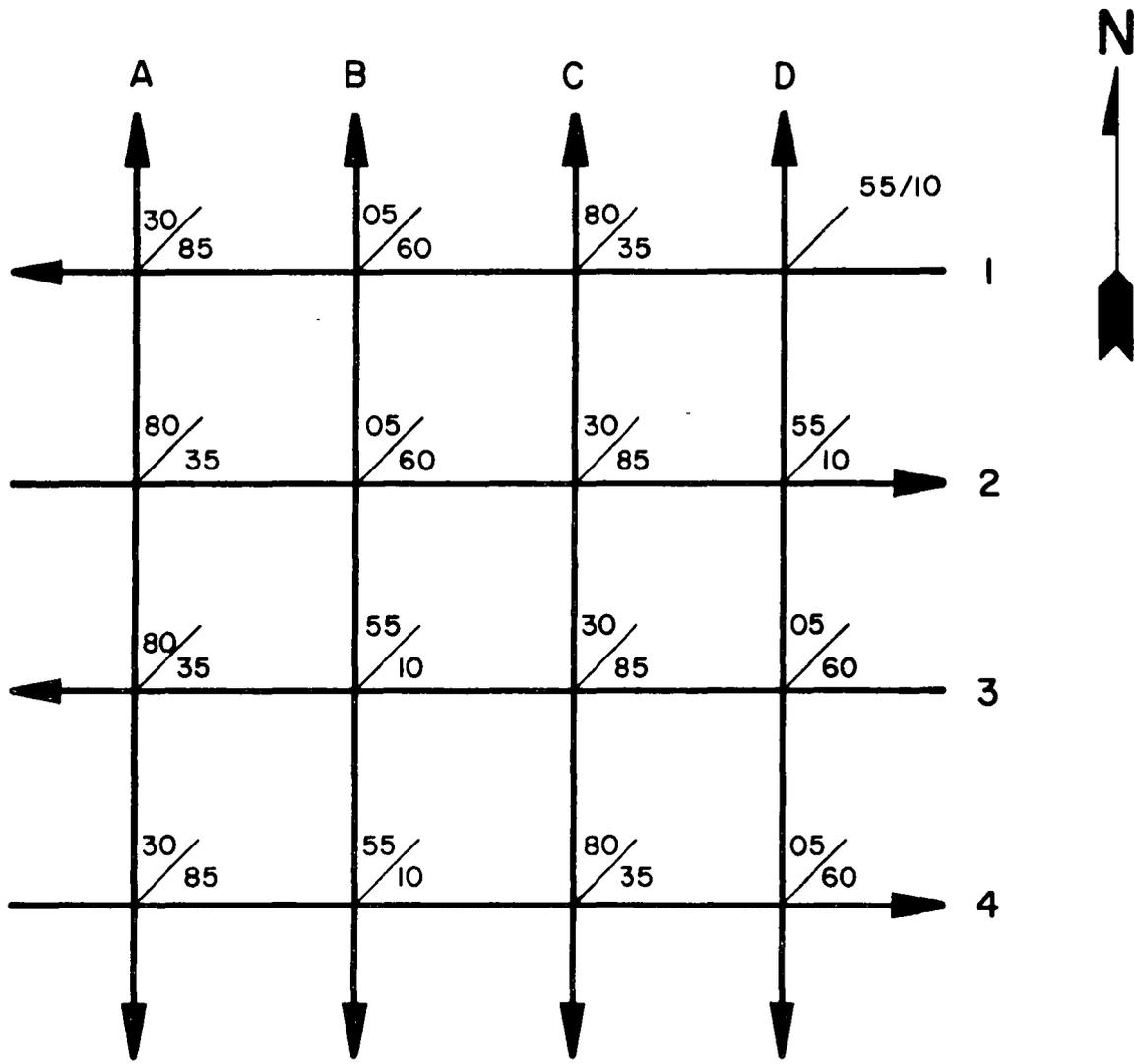
2- Calles este-oeste escalonado 1/4 ciclo

B- Velocidades progresivas

1- Calles norte-sur  $880/32.5 = 27$  pies/seg. = 18 mph.

2- Calles este-oeste  $330/16.25 = 22$  pies/seg. = 15 mph.

C- Señale la relación de los escalonados para cada intersección en el bosquejo (porcentaje).



PROBLEMA 4 - SISTEMA DE UNA CALLE DOBLE VIA

Dado:

- A. Red de señales, distancia entre las intersecciones y la progresión deseada, Las velocidades se señalan en el bosquejo.
- B. Duración del ciclo - 50 segundos
- C. Split del ciclo 50-50
- D. Punto de referencia de tiempo en la intersección G-2, en segundos:

$$\frac{0}{25} = \frac{\text{comienzo de la luz verde N-S}}{\text{comienzo de la luz verde E-W}}$$

E. Las velocidades progresivas deben establecerse con las siguientes prioridades:

- 1. 2da Calle entre Calle G y Calle C (WB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 2. 2da Calle entre Calle C y Calle A (WB) 17 mph (25 pies por segundo)
- 3. 4ta Calle entre Calle C y Calle G (EB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 4. 4ta Calle entre Calle A y Calle C (EB) 17 mph (25 pies por segundo)
- 5. Calle F - largo completo (SB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 6. Calle G - largo completo (NB) 27 mph (40 pies por segundo)
- 7. Calle C - largo completo (DV) 15 mph (22 pies por segundo)
- 8. Calle A - largo completo (SB) 15 mph (22 pies por segundo)
- 9. Calle B - largo completo (NB) 22 mph (22 pies por segundo)

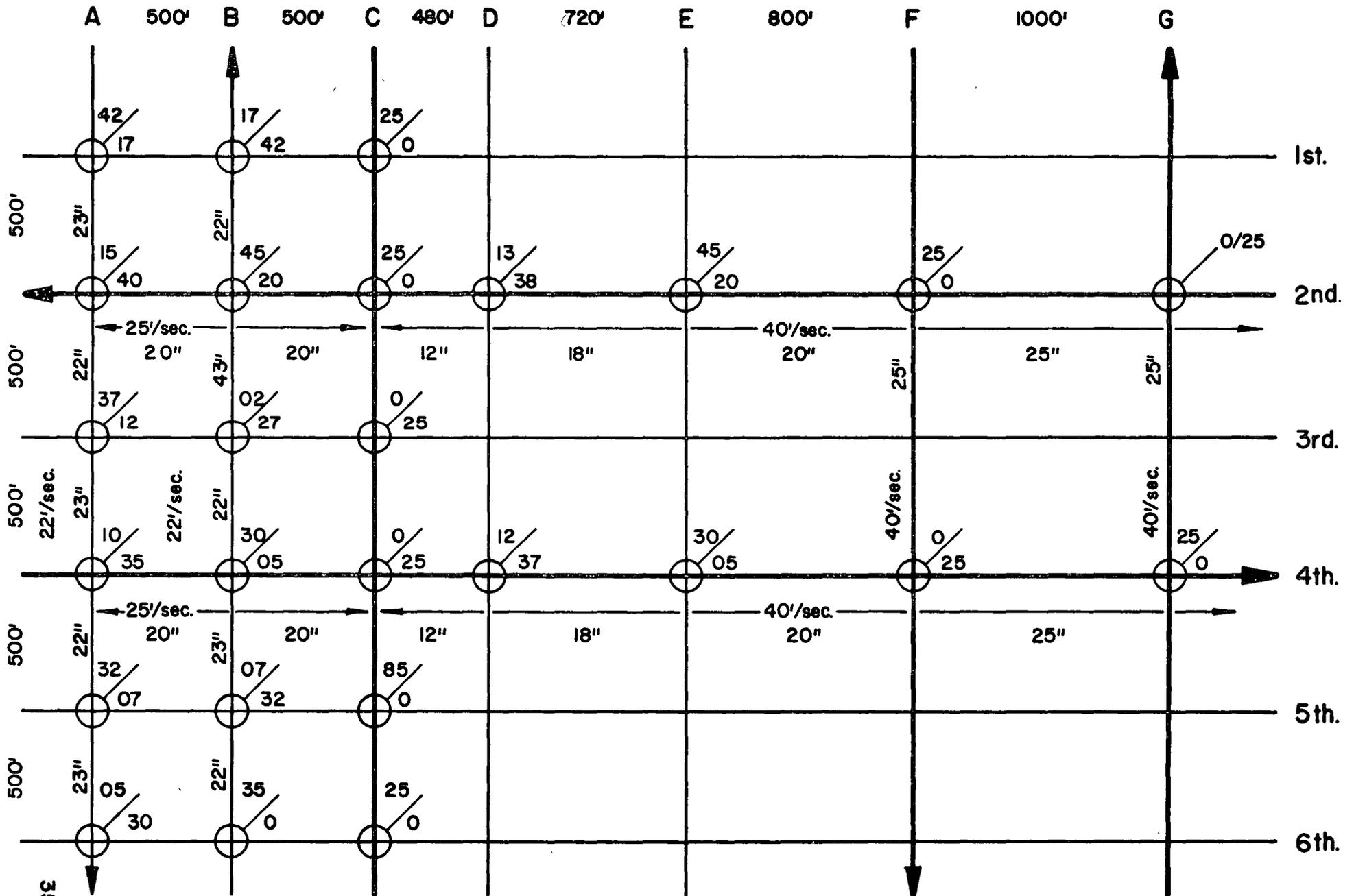
WB: hacia el oeste; EB: hacia el este; SB: hacia el sur; NB: hacia el norte  
DV: doble vfa

Resuelva:

- A. Determine la relación de escalonado para cada intersección para obtener la velocidad progresiva deseada en cada sección de la calle.
- B. Si la red no cierra, establezca los escalonados en base al orden dado.
- C. Señale la relación del escalonado en segundos para cada intersección con círculo en el bosquejo anexo, de la manera siguiente:

$$\frac{25}{0} = \frac{\text{comienzo luz verde N-S}}{\text{comienzo luz verde E-W}}$$

PROBLEMA 4- SISTEMA ESCALONADO DOBLE VIA



3545



## MANTENIMIENTO Y PRACTICAS DE OPERACION

### 1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

#### A. Mantenimiento de Rutina - Para Asegurar Operación Contínua

1. Lubricación
2. Ajustes
3. Limpieza
4. Pintura

#### B. Mantenimiento Preventivo - Para Reducir al Mínimo Posibilidades de Fallas

1. Inspección
2. Reparación/Reemplazo

#### C. Reparaciones de Emergencia - Para llevarlo a su condición original después de una Falla de Servicio

1. Fuera de programa
2. Requiere atención inmediata

#### D. Reconstrucción - Para corregir deficiencia operacional

1. Reconstrucción del pavimento
2. Cambio en las normas

### II RESULTADOS DE LAS DEFICIENCIAS DE MANTENIMIENTO

#### A. Fallas en la Operación del Equipo -

1. Falla en el tiempo (aún sin pegarse)
2. Pérdida del control de supervisión
3. Falla del intermitente

B. Falla del Equipo - Indicación de Pérdida en cualquier Fase/  
Aproximación

1. Falla en los cables
2. Control/Falla en la Fase
3. Desalineamiento de las señales
  - a. Indicación múltiple
  - b. Indicación sencilla
4. Falla de energía
5. Obstáculo para el tráfico de vehículos/peatones

C. Vida reducida del Equipo

1. Servicio de por vida
2. Electro Mecánico /Transistorizado
3. Rediseño del presupuesto

D. Seguridad en la Autopista

1. Accidentes - Vehículos y Peatones
2. Fallas físicas

E. Implicaciones Legales

1. Deberes y Responsabilidad
2. Contingencias

F. Implicaciones en el Medio Ambiente

1. Congestión
2. Mas Paradas
3. Consumo de combustible
4. Contaminación ambiental
5. Ruido

III DIRECCION DEL ESFUERZO DE MANTENIMIENTO

A. Cabezales de Señales y Soportes

1. Reemplazo de lámparas
  - a. en grupo
  - b. las quemadas
2. Limpieza
  - a. lavado/secado
  - b. eléctrico/mecánico
  - c. frecuencia
  - d. condiciones adversas
3. Inspección
  - a. alineamiento
  - b. plomada
  - c. visores
  - d. lentes
  - e. reflectores
  - f. foco
  - g. interrupciones de servicio
  - h. soportes de señales
  - i. cubiertas
  - j. bases
  - k. pintura

4. Reparación
  - a. falla del componente
  - b. daños
5. Pintura
  - a. programada
  - b. retoques

B. CABLES Y DUCTOS

1. Inspección de cables (aéreos/subterráneos)
  - a. visual
  - b. eléctrico
2. Conductos
  - a. uniones manuales
  - b. cajetines
3. Reparación

C. Detectores

1. Inspección
2. Entonación
3. Reparación

D. Equipo de Control

1. Inspección
  - a. Intersección
  - b. Sistema
2. Convencional/Diagnóstico propio

3. Crítico
4. Operación/Tiempo
5. Servicio
  - a. Limpio
  - b. Ajustes
  - c. Lubricación
6. Reparación
  - a. en el campo
  - b. en el taller
7. Control Central
  - a. convencional
  - b. computador

E. Daños y Funcionamiento

1. Patrullaje
2. Quejas
  - a. Público
  - b. Agencia
3. Comunicaciones

F. Atención

1. Despachos
2. Tiempo de reparación
  - a. falla hasta su detección
  - b. Detección hasta el despacho

- c. Despacho hasta la Reparación
- d. Reparación hasta su completación
- 3. Organización de la Estructura
  - a. 24 horas
  - b. al llamar
  - c. sin planificación
- 4. Acción correctiva
  - a. Detección de la falta
  - b. Reparación
  - c. descenso
  - d. intermitente
  - e. cierre de luces
    - (1) policía
    - (2) señales
- 5. "Follow-up"
  - a. restauración completa
  - b. otra agencia
  - c. administrativa
  - d. reemplazo del equipo
- G. Recursos
  - 1. Potencial humano
    - a. destrezas
    - b. número
    - c. entrenamiento

- d. horas de trabajo
  - (1) turnos múltiples
  - (2) por llamada
  - (3) de guardia
  - (4) sobretiempo
    - (a) tiempo de compensación
    - (b) salario
    - (c) premio
- e. licencia
- f. Requerimientos del sindicato
- g. Organización
  - (1) en el campo
  - (2) en el taller
- h. Reclutamiento de personal y retención

2. Equipo de campo

- a. automóviles
- b. herramientas
  - (1) personal
  - (2) suministrada
- c. equipo de pruebas
- d. misceláneos
  - (1) seguridad
    - (a) Personal
    - (b) suministrada

(2) Uniforme

(3) Identificación

3. Talleres de reparación

a. Ubicación y número

b. Herramientas

(1) pequeño

(2) grande

(3) especial

c. Equipo de prueba

(1) estandar

(2) a la medida

(3) prueba de aceptación

d. Almacenamiento

(1) Taller central

(2) Remoto

(3) Acceso

4. Comunicaciones

a. convencional

b. especial

c. móvil

(1) por vehículo

(2) personal

5. Suministros y repuestos
  - a. suministro de útiles de mantenimiento
    - (1) material de limpieza
    - (2) solventes
    - (3) lubricantes
    - (4) pintura
    - (5) limpieza
  - b. Repuestos
    - (1) componentes
      - (a) mayores
      - (b) menores
    - (2) artículos de ferretería en general
    - (3) artículos especiales de ferretería
  - c. literatura técnica

Referencia:

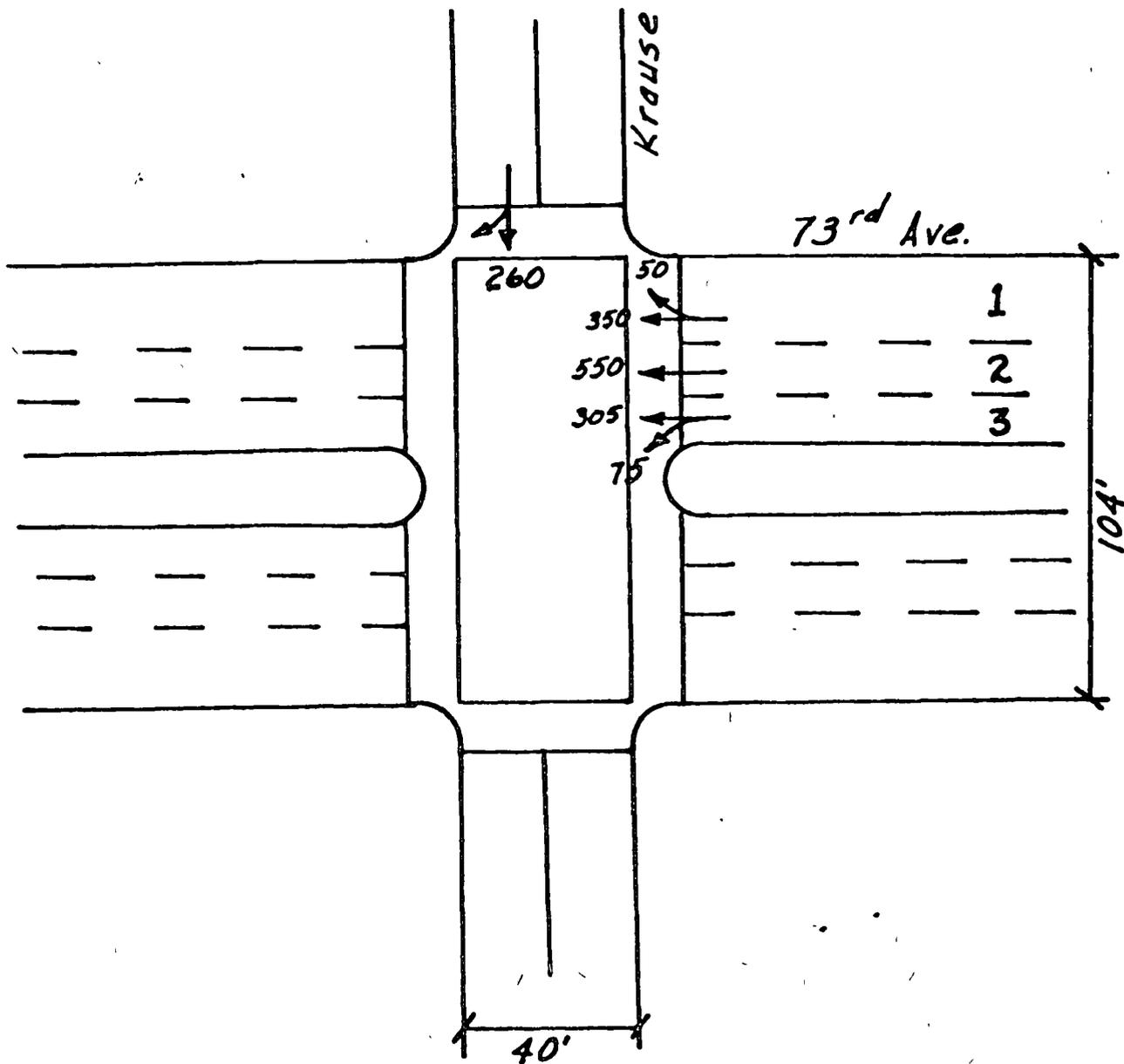
Maintenance Management of Traffic Signal Equipment and Systems,  
National Cooperative Highway Research Program Report, 22  
Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 2101  
Constitution Avenue, Washington, D.C. 20418

PROGRAMACION DE SEÑALES ACTIVADAS  
PRESENTACION DE LOS PROBLEMAS

Problema 7.1

En la intersección de la Ave. 73 y Krause se instaló una señal de tráfico semi-activada para el cruce de escolares. Los volúmenes de tráfico que se indican corresponden a las horas críticas de la mañana. Calcule la fijación de las señales con un nivel del 95% de confianza para:

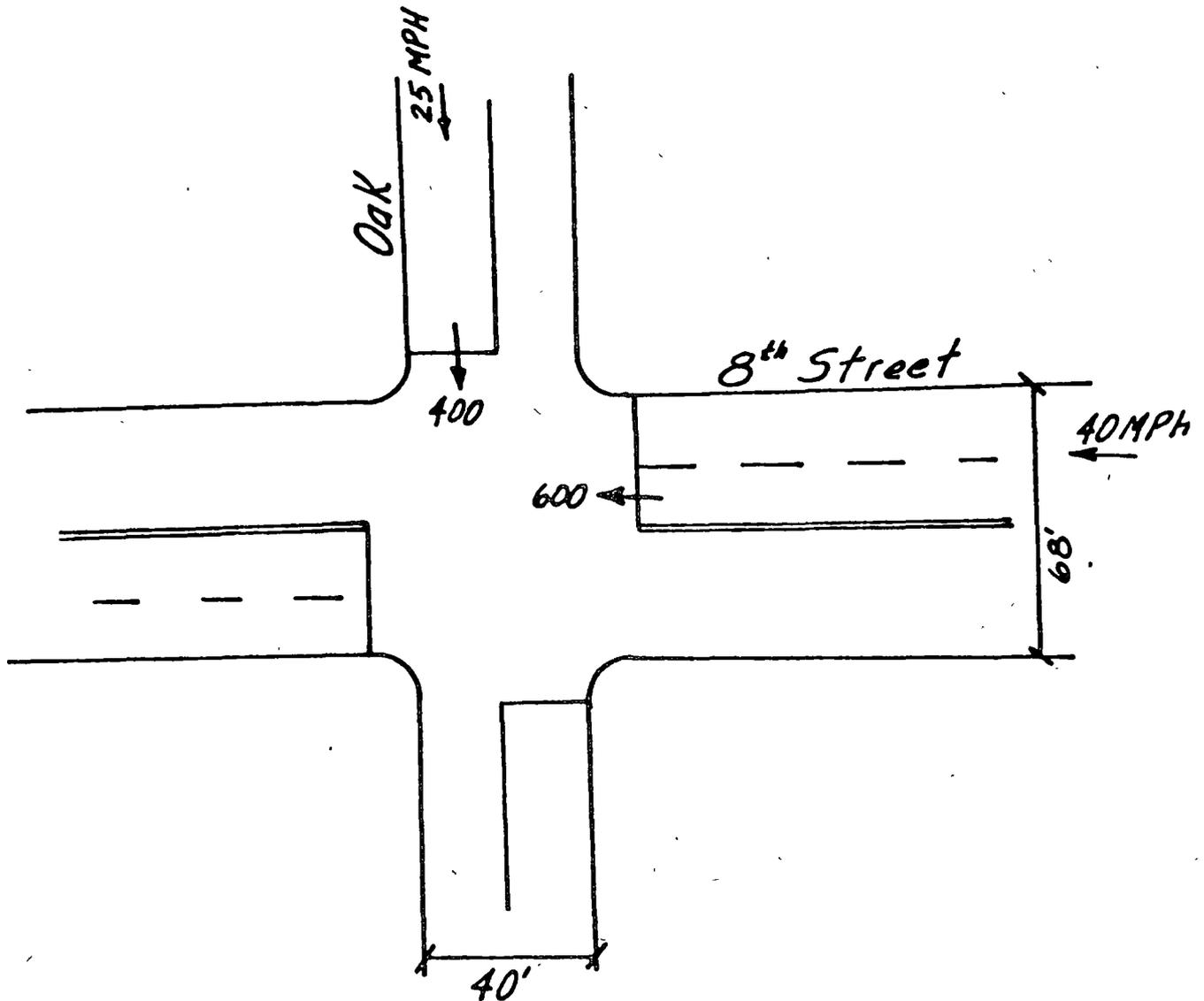
- a) duración mínima del ciclo
- b) Un nivel de servicio igual para ambas calles - duración del ciclo
- c) Cuál es la capacidad de peatones por hora para un área de cruce de 12' de ancho, con 10 segundos para cruzar en un ciclo de 90 segundos.
- d. Indique las fijaciones en el control para la parte a. con el detector 50' desde la barra de parada en Krause.



Problema 7.2

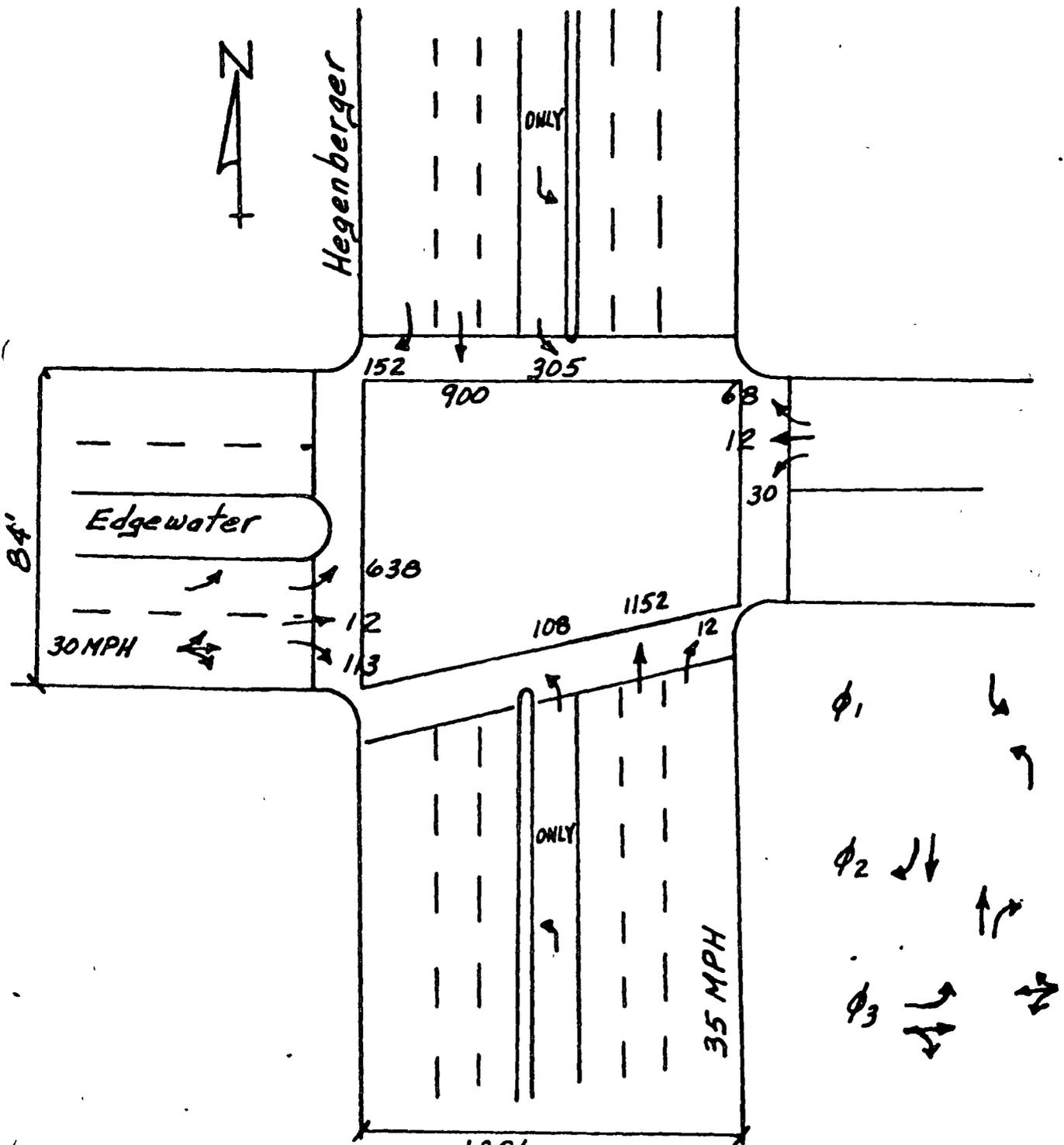
La intersección en la Calle 8 y Oak tiene un control de dos fases totalmente automático con una detección de 200' y 100' desde la barra de parada en la Calle 8 y la Oak respectivamente. Complete la siguiente tabla:

CALLE	MAXIMO VERDE	INTERVALO INICIAL	EXTENSION DE LOS VEHICULOS	AMARILLA
Calle 8				
Oak				

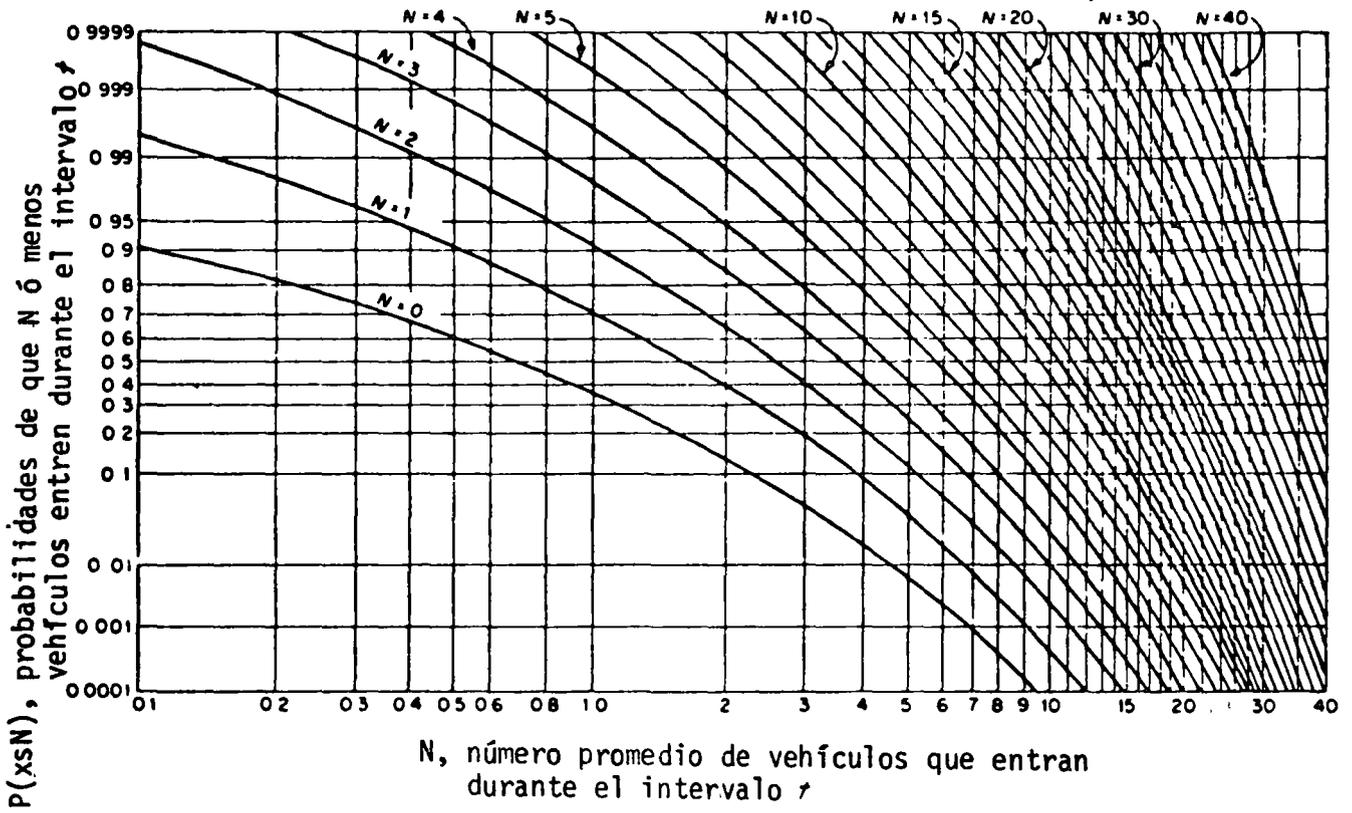


Problema 7.3

Calcule los volúmenes críticos en los canales por cada fase y utilice la tabla anexa para determinar el largo de la cola a un nivel de 95% de confiabilidad al final de cada fase de luz verde. Cada fase tiene un máximo de luz verde de 50 segundos.



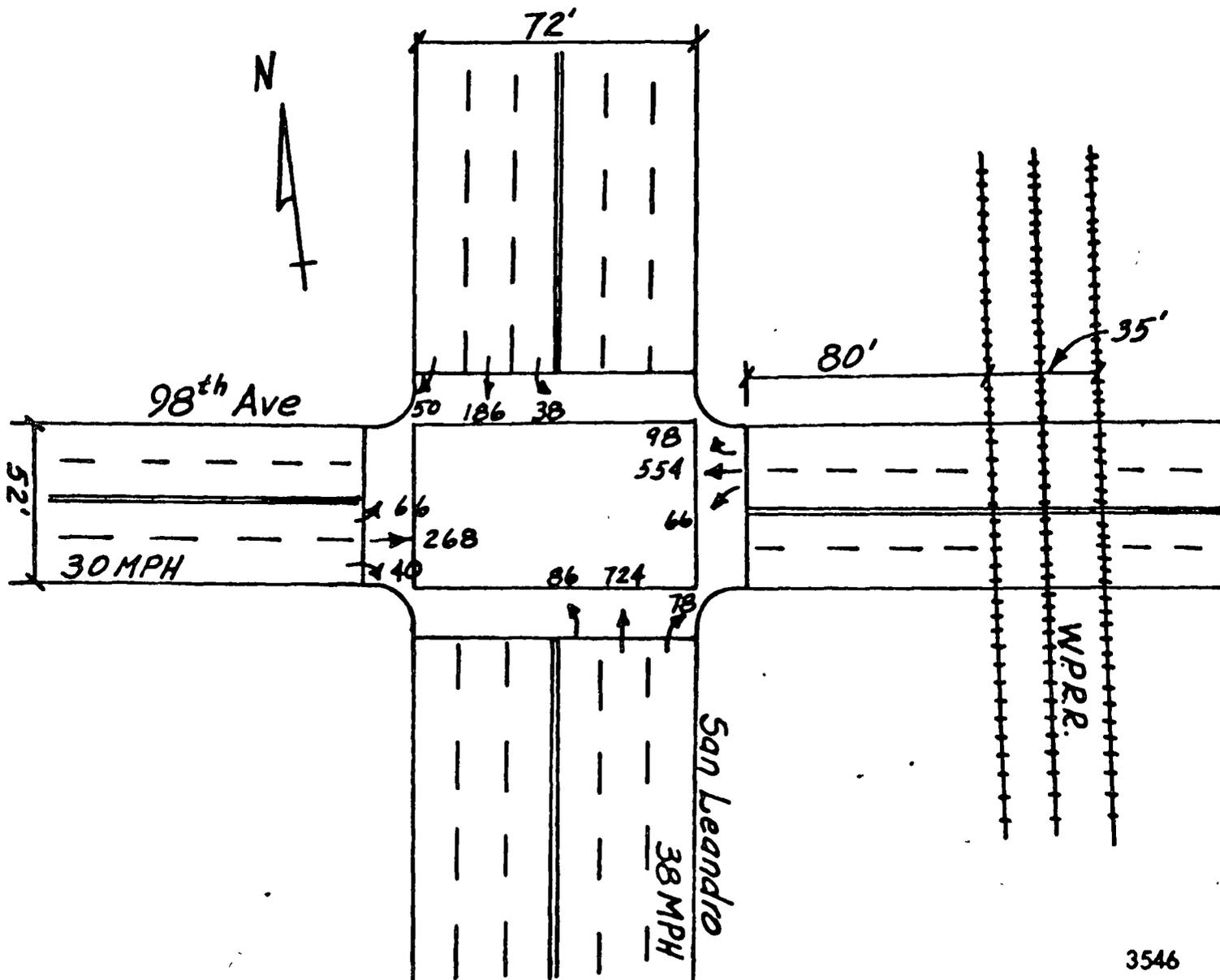
161



Problema 7.4

Diseñe las ubicaciones de los detectores de vehículos en esta intersección (ver la figura 5 en las notas). Llene la tabla anexa de tiempo, presumiendo que los detectores están ubicados a 150' de la barra de parada, presumiendo que los detectores están ubicados a 150' de la barra de parada en todas las aproximaciones. También calcule el tiempo que se necesita para despejar el área para que cruce el ferrocarril.

CALLE	MAXIMA VERDE	INTERVALO INICIAL	EXTENSION DE VEHICULOS	AMARILLA	CRUCE	NO CRUCE
San Leandro						
Avenida 98						



163

PROGRAMACION DE LAS SEÑALES ACTIVADAS  
SOLUCION A LOS PROBLEMAS

164.

Problema 7.5

La intersección de SR 17 y Hutter está controlado por un control de alta densidad de volúmenes. Los volúmenes en las horas críticas se estiman en 700 vehículos por canal (50 mph) y 500 vehículos por canal (40 mph) para las calles SR 17 y Hutter respectivamente. Calcule la ubicación del detector que no exceda cinco por ciento del tiempo para un período de luz roja de 60 segundos. También complete la siguiente tabla:

CALLE	SR 17	HUTTER
VERDE MINIMA		
# DE ACTIVACIONES ANTES DE QUE LA MINIMA VERDE AUMENTE		
AUMENTO DE LA MINIMA VERDE POR ACTIVACION		
TIEMPO DE CRUCE		
DESCONGESTION CON AMARILLA		
# DE VEHICULOS QUE ESPERAN CON LA ROJA HASTA QUE TERMINE LA VERDE		
# QUE ESPERA EN ROJA		
BRECHA MINIMA PARA TERMINAR LA FASE VERDE		
TIEMPO MAXIMO DE ESPERA EN ROJA PARA QUE TERMINE LA VERDE		
TIEMPO DE ESPERA EN ROJA		
BRECHA MINIMA PARA TERMINAR LA FASE VERDE		
DENSIDAD PARA QUE TERMINE LA VERDE		
# DE ACTIVACIONES POR CADA 10 SEG.		
BRECHA MINIMA PARA TERMINAR LA FASE VERDE		
ARRASTRE DE COLA		
NUEVA LLAMADA		

Solución 7.1

a) Determine los volúmenes críticos por canal

Ave 73 canal 1

$$350 + 1.4 (50) = 420$$

Ave 73 canal 2

$$550$$

Ave 73 canal 3

$$305 + 1.6 (75) = 425$$

Diseños de volúmen

Krause 260 VPH

Ave 73 550 VPH

Calcule el tiempo de descongestionamiento requerido para el cruce de peatones por la Ave 73.

$$104' \div 4' \text{ por seg.} = 26 \text{ seg.}$$

Tiempo de cruce

$$7 \text{ seg mínimo}$$

Tiempo para peatones

$$7 \text{ seg} + (26 \text{ seg} - 3 \text{ seg. amarilla}) = 30 \text{ seg.}$$

Utilizando la figura 1 de las notas 3535 pruebe una duración de ciclo de 100 seg. para determinar el mínimo de luz verde

$$\text{Krause } 30 \text{ seg.} + 3 = 33 \text{ seg.}$$

$$\text{Ave 73 } 51 \text{ seg.} + 4 = 54 \text{ seg.}$$

$$\begin{array}{r} 33 \\ 54 \\ \hline 87 \end{array} \text{ seg. no es lo suficientemente cerca}$$

pruebe un ciclo de 80 seg.

$$\text{Krause } 24.7 \text{ seg menos que } 30 \text{ utilice } 30 + 3 = 33$$

$$\text{Ave 73 } 43 + 4 = 47$$

$$\begin{array}{r} 33 \\ 47 \\ \hline 80 \end{array} \text{ seg. ok}$$

B) Duración del ciclo para un nivel de servicio igual utilizando un ciclo de 80 seg.

los vehfculos en la Krause necesitan 24.7 seg. mientras que el mínimo para los peatones es 30 seg., utilice el radio para averiguar la luz verde de la Ave 73.

$$\frac{30 = X}{24.7 \quad 43} \quad X = 52.2 \text{ seg.}$$

$$\text{Krause } 30 + 3 = 33$$

$$\text{Ave 73 } 52 + 4 = 56$$

Solución 7.1 Contd.

c) Capacidad para peatones en el cruce

Presuma el ancho del cruce de peatones de 2', tiempo de cruce 3' y velocidad al caminar de 1 1/2' por seg. en una aglomeración

$$\frac{12}{2} \times 10 \text{ seg.} \times 1 \frac{1}{2}' \text{ por seg.} \quad 3' = 30 \text{ peatones por ciclo}$$

$$30 \times \frac{3600}{90} = 1200 \text{ peatones por hora}$$

d) Fijaciones del control

ya calculados

Ave 73  
Mínima verde 43 seg.  
amarilla 4 seg.

Krause  
Máxima verde 30 seg.  
amarilla 3  
caminata 7  
descongestiona-  
miento de peato-  
nes 23 seg.

Con los detectores a 50' cual es la mínima verde para Krause

$$\frac{50'}{20'} = 2.5 \text{ vehículos máximo de cola entre el detector y la barra de parada}$$

Cuántos segundos se requieren para mover dos vehículos (ver página 12 de la 3525)

$$\text{Mínima verde} = 5 \text{ seg.} + 3.5 = 8.5$$

Cuánto tarda un vehículo en recorrer 50' si va a 25 mph?

$$\frac{44}{30} = \frac{X}{25} \quad X = 36.7' \text{ por seg.}$$

$$50' \div 36.7 = 1.4 \text{ seg.}$$

para la Extensión Veh utilice 2.5 seg. (ver página 12 de la 3525)

Para el intervalo inicial pruebe

$$\text{verde mínima } 8.5 \text{ seg.} - \text{ extensión veh } 2.5 = 6 \text{ seg.}$$

Solución 7.1

d) contd.

Chequee la mínima verde para una cola de 4 carros

el control daría

$$6 + (4 - 2 \text{ carros al frente}) \times 2.5 = 11 \text{ seg.}$$

los vehículos requerirían

$$13.9 \text{ seg. (ver página 12 de la 3525)}$$

los vehículos requieren más tiempo que lo que permiten las fijaciones del control, por lo tanto, el intervalo inicial es muy corto.

Intervalo inicial

$$13.9 - 2 (2.5) = 9 \text{ seg.}$$

Resumen	Ave 73	Krause
Intervalo inicial	N A	9
Extensión de vehículos	N A	2.5
Máxima verde	N A	30
Mínima verde	43	N A
Amarilla	4	3
Peatones	7	7
Descongestionamiento de peatones	10	23

Solución 7.2

Cuántos carros pueden quedarse en cada aproximación entre el detector y la barra de parada, presumiendo que el espacio promedio por vehículo es de 20' ?

Oak 100' - 20' = 5 carros  
Calle 8 200' - 20' = 10 carros

Cuánto es la mínima verde requerida para mover estos carros?

Oak 16.2 seg. (página 12 de la 3525)  
Calle 8 4.7 seg. + 10 (2.25) = 27.2 seg.

Cuánto le toma a un vehículo moverse a una velocidad promedio para llegar desde el detector hasta la barra de parada?

@ 25 mph los vehículos cubren 36.7/seg.  
@ 40 mph los vehículos cubren 58.7/seg.

Oak 100' ÷ 36.7 = 2.7 seg. > 2.5 ∴ utilice 2.7 como extensión del vehí.  
Calle 8 200' ÷ 58.7 = 3.4 seg. > 2.5 ∴ utilice 3.4 como extensión del vehí.

Intervalo inicial = mínima verde - extensión del vehículo

Oak 16.2 seg. - 2.7 seg. = 13.5 utilice 14 seg.  
Calle 8 27.2 seg. - 3.4 seg. = 23.8 utilice 24 seg.

Determine la fase máxima de verde tomando el largo y verificando el tiempo requerido para mover el número de carros que se esperan al nivel confiable de 95%.

Ciclo de prueba - duración 100 seg. (36 ciclos por hora)

	Promedio#	# a 95% CL	4.7+2.25 (#@95%)
Oak	400/36 = 11.1	16	4.7+2.25*16 = 41 seg.
Calle 8	600/36 = 16.6	22	4.7+2.25*22 = 54 seg.
			95 seg.

Ciclo de prueba - duración 90 seg. (40 ciclos por hora)

	Promedio #	# a 95% CL	4.7+2.25 (#)
Oak	10	15	38
Calle 8	15	21	52
			90 OK

Intervalo de amarilla para descongestionamiento (ver página 13 de la 3525)

	velocidad	intervalo amarillo
Oak	25 mph	3 seg.
Calle 8	40 mph	4 seg.

Resumen

CALLE	MAXIMA VERDE	INTERVALO INICIAL	EXTENS. VEHIC.	AMARILLA
Oak	38	14	2.7	3

Solución 7.3

Equivalente de volúmenes por canal

Hacia el sur Hegenberger

$$(900 + 152*1.4)/3 = 371$$

Hacia el este Edgewater

$$(638*1.6 + 12 + 113* 1.4)/2 = 595$$

Hacia el norte Hegenberger

$$(1152 + 12*1.4)/ = 390$$

Hacia el oeste Edgewater

$$(68*1.4 + 12 + 30*1.6) = 155$$

Cuántos vehículos pueden cubrirse en 50 seg.?

cruces a la izquierda

$$(50 \text{ seg} - 4.7 \text{ seg.})/2.25*1.6 \text{ (factor cruce a la iz)} = 12.6 \text{ ó } 13$$

directo

$$(50 \text{ seg} - 4.7 \text{ seg})/2.5 = 20$$

Hay 24 ciclos 150 seg. en una hora

Complete la siguiente tabla

	Promedio #	# a 95% CL	# servidos en = 50 seg.	Cola
Hacia el sur cruce a la iz.	305/24=12.7	18	13	5
Hacia el sur	371/24=15.5	21	20	1
Hacia el este	595/24=24.8	32	20	12
Hacia el norte cruce a la iz.	108/24=24.8	8	13	0
Hacia el norte	390/24=16.2	22	20	2
Hacia el oeste	155/24=6.5	10	20	0

Solución 7.4

La ubicación del detector de vehículos es un proceso entre una distancia larga desde la cual el chofer puede parar al final de la luz verde y una ubicación más cercana con una luz verde más corta.

Condición	30 mph	38 mph
Todos paran	180'	225'
3 seg. de desplazamiento	132'	167'
3-1/2 seg. de desplazam.	154'	195'
4 seg. de desplazamiento	176'	223'
Paradas por pánico	79'	110'
1/2 g de acelerado	105'	150'

Yo colocaría detectores a 150' y 200' de la barra de parada para velocidades de aproximación de 30 mph y 38 mph respectivamente.

Calcule el equivalente en los volúmenes por canal

Hacia el Norte - San Leandro

$$(86*1.6 + 724 + 78*1.4)/3 = 324$$

Hacia el este Ave 98

$$(66*1.6 + 268 + 40*1.4)/2 = 215$$

Hacia el sur San Leandro

$$(38*1.6 + 186 + 40*1.4)/3 = 106$$

Hacia el oeste Ave 98

$$(66*1.6 + 554 + 98*1.4)/2 = 398$$

Diseñe los volúmenes máximos incluyendo cruces a la izquierda conflictivos

San Leandro

$$324 + 1.6*38 = 385$$

Ave 98

$$398 + 1.6*66 = 504$$

Descongestionamiento con la amarilla - tiempo (ver pág. 13 de la 3528)

San Leandro	38 MPH	4 seg. amarilla
Ave 98	30 mph	3.5 seg. amarilla

Solución 7.4 contd.

Resuelva la verde máxima más corta que supliría la demanda a un nivel de confiabilidad de 95% (Ver fig. 1 en la 3525)

Pruebe un ciclo de 80 seg.

Calle	Maxima verde + Amarilla = fase total			
San Leandro	33	+	4	= 47
Ave 98	40	+	3.5	= 43.5
				<hr/> 80.5 OK

Extensión de vehículos

(un vehículo a 30 mph cubre 44' por seg.)

(un vehículo a 38 mph cubre 55.7' por seg.)

150'/44' por seg. = 3.4 seg. > 2.5, entonces utilice 3.4

150'/55.7' por seg. = 2.7 seg. > 2.5, entonces utilice 2.7

Mínima verde

Largo de la cola

150/20' por carro = 7.5 o un máximo de 7 carros parados frente al detector

Mínima verde

$$4.7 + 7 * 2.25 = 20.4 \text{ seg.}$$

Intervalo inicial

Intervalo inicial = mínima verde - extensión de vehículos

San Leandro  $20.4 - 2.7 = 17.7 \text{ seg.}$

Ave 98  $20.4 - 3.4 = 17. \text{ seg.}$

Tiempo de descongestionamiento de peatones

San Leandro

$52'/4' \text{ por seg.} = 13 \text{ seg.} - 4 \text{ seg. amarilla} = 9 \text{ seg.}$

Calle 98

$72'/4' \text{ por seg.} = 18 \text{ seg.} - 3.5 \text{ seg. amarilla} = 14.5 \text{ seg.}$

Resumen

Intervalo	San Leandro	Ave 98
Máxima verde	33	40
Extensión de vehículos	2.7	3.4
Intervalo inicial	17.7	17
Amarilla	4	3.5
Cruce de peatones	7	7
Descongestionamiento de peatones	9	14.5

Solución 7.4 contd.

Descongestionamiento para el cruce del ferrocarril - solución corta

Cola máxima

120/20' por carro = 6 carros

Tiempo necesario para que el 6to carro entre en la intersección

$$4.7 + 6 \cdot 2.25 = 18.2 \text{ seg.}$$

tiempo necesario para que 1 carro acelere a 4' por seg. por 120'

$$S = 1/2 AT^2 \quad T = \sqrt{2S/A} \quad \tau = \sqrt{2(120)/4} = 7.5$$

demora de vehículo para el 6to carro

$$18.2 - 7.75 = 10.5 \text{ seg. de demora}$$

Tiempo para que el camión despeje el cruce, si es el 6to carro

Demora + tiempo para desplazarse (120' + largo del camión)

$$10.5 + \sqrt{2(120+40)/1.85} = 23.6 \text{ seg.}$$

Despeje del cruce del ferrocarril -- solución larga

ver diagrama anexo

Solución 7.5

Promedio # de vehiculos llegando en 60 sec

$$\text{SR 17} \quad \frac{700}{3600} \times 60 = 11.7$$

$$\text{Hutter Rd.} \quad \frac{400}{3600} \times 60 = 6.7$$

# máximo de vehiculos llegando en 60 seg a nivel de confianza de 95%  
(vease tabla adjunta para prob 7.2)

Calle	Promedio #	95% CL
SR 17	11.7	19
Hutter Rd	6.7	11

Ubicación del detector para cola maxima en 95%CL

$$\text{SR 17} \quad 19 \times 20' = 380' \text{ de la linea de pare}$$

$$\text{Hutter Rd} \quad 11 \times 20' = 220' \text{ de la linea de pare}$$

A que largo de ciclo mínimo la señal manejará volúmenes de 95% CL

pruebe 130 segundos (ciclo) (27.7 ciclos por hora)

Calle	Promedio #	95% CL	4.7 + 2.25 (95% CL)
SR 17	$700/27.7 = 25.3$	33	79 seg.
Hutter	$400/27.7 = 14.4$	20	50 seg.
			<hr/>
			129 seg. OK

Minimo de luz verde

$$\text{SR 17} \quad 19 \times 2.25 + 4.7 = 47.4 \text{ seg.}$$

$$\text{Hutter} \quad 11 \times 2.25 + 4.7 = 29.4 \text{ seg.}$$

76.8 seg. DEMASIADO LARGO !!

Use 20 seg de minimo de luz verde en cada fase.

El número de actuación antes del mínimo de verde debería aumentar.

Cuandos carros pueden servirse en 20 segundos de min. luz verde.  
:  $(20 - 4.7) / 2.25 = 6.8$  automoviles por via por lo tanto  
usese 12 actuaciones antes de que el min de luz verde aumente.

Delta verde aumenta con cada actuación

cada vehiculo necesita aproximadamente 2.25 segundos de tiempo adicional  
para despejar la intersección; por lo tanto usese 1.1 seg. delta verde  
por actuación.

Tiempo de paso

Tiempo de viaje desde el detector hasta la intersección  
a una velocidad promedio de a 25 mph

Calle		
SR 17	5.1 seg.	10.4 seg.
Hutter	4.8 seg	7.6 seg.

considerese el uso del limite mas bajo del espacio para calcular  
el paso del tiempo

Despeje en amarillo (vease pagina 13 de notas 3528)

SR 17	50 MPH	5 seg despeje	quizás 3 amarillo+2 rojo en toda parte
Hutter	40 MPH	4 seg despeje	quizás 3 amarillo+1 rojo en toda parte

Número de vehiculos esperando con luz roja para terminar con la verde

Si el # esperando es mas grande que el #promedio esperado  
durante una fase de verde, usese un intervalo reducido para  
terminar el verde.

$$\text{SR 17 } \frac{700}{3600} \times 50 = \underline{9.7 \text{ o sea } 10 \text{ vehiculos a } 2.5 \text{ seg. intv.}}$$

$$\text{Hutter } \frac{400}{3600} \times 79 = \underline{8.8 \text{ o sea } 9 \text{ vehiculos a } 2.5 \text{ seg. intv.}}$$

El tiempo esperando en rojo para terminar en verde por reducci3n de intv.

Usando los resultados de tiempo minimo de ciclo para manipular 95%CL

SR 17 despues de 50 seg espera usar 2.5 seg intv.

Hutter despues de 79 seg espera use 2.5 seg intv.

Densidad para terminar la luz verde

Pruebese terminaci3n de densidad con 1/2 de la rata de llegada en horas de afluencia m3xima.

$$\text{SR 17 } \frac{700}{3600} \times 10 \times 1/2 = 0.97 \text{ vehiculos por } 10 \text{ seg. use } 2.5 \text{ seg. intv.}$$

$$\text{Hutter } \frac{400}{3600} \times 10 \times 1/2 = 0.56 \text{ vehiculos por } 10 \text{ seg. use } 2.5 \text{ seg. intv.}$$

Para llevar la espera del grupo

Si esta se3al est3 cerca de alguna otra se3al de transito y recibe vehiculos en grupos la espera de este deber3a establecerse bastante alta para que mantenga algun grado de coordinaci3n.

MEJOR UTILIZACION DE LAS SEÑALES  
CON FLUJOS SOBRE - SATURADOS

Por: Bumjung Lee  
Kenneth W. Crowley  
Louis J. Pignataro

Instituto Politécnico de Nueva York

Presentado para:

Highway Research Board  
Mid-Year Meeting  
Verano, 1974

## A B S T R A C T O

### MEJOR UTILIZACION DE LAS SEÑALES BAJO FLUJOS SOBRE - SATURADOS

Por: Bumjung Lee  
Kenneth W. Crowley  
Louis J. Pignataro

Para medir un flujo sobre-saturado se toman los datos de campo. Después de formular una política para el control de la intersección que está sobre-saturada. Los resultados de dicho trabajo son aplicables en cualquier intersección que tenga problemas de sobre-saturación. El objetivo primordial de esta política de control es eliminar en lo posible el bloqueo de la intersección, que resulta de la sobre-saturación.

La política muy avanzada sobre control, que se presenta en este estudio (Control Activado por la Cola) es a modo de táctica. Responde a las colas (las colas máximas permitidas en ambas aproximaciones de la intersección) de una manera similar en que el control activado por el tráfico actual responde a la demanda. El nuevo control puede ser aplicado para intersecciones aisladas y las coordinadas entre sí.

Los aspectos específicos son:

- \* Confirmación en el campo de la nueva medida de sobre-saturación
- \* Desarrollo de un modelo de demora para el Control Activado por Colas
- \* Efectos de un Control Activado por Colas en las intersecciones adyacentes.

La confirmación del modelo de demora y la evaluación del Con-

trol Activado por Colas en aliviar los problemas de sobre-saturación se llevan a cabo por medio del simulador UTCS-1.

1: INTRODUCCION

La congestión de tráfico en las redes urbanas se ha convertido en un problema común en los distritos de negocios en todo el país y en el extranjero. Las calles urbanas se utilizan por razones muy variadas y conflictivas. Sirven para el flujo de tráfico, y para el tráfico que circula con destino a otras calles. Se provee acceso a las propiedades colindantes. También le prestan servicio a los peatones.

Este sistema de movimientos conflictivos se controla por medio de varios dispositivos para el control de tráfico y diversas técnicas, especialmente señales de tráfico. Los esquemas actuales para el control de tráfico están dirigidos principalmente al alivio de los flujos de tráfico, y a moderar las congestiones, con el fin de reducir al mínimo las posibilidades de "embotellamientos".

---

Este estudio se toma sobre la charla del Dr. Lee presentada ante la Facultad del Instituto Politecnico de Brooklyn, como parte de lo presentado para obtener su título de Doctor en Filosofía (Planeamiento de Transporte). Trata sobre los resultados internos en el Control de Tráfico en Redes de Calles Sobre-saturadas, Programa de Investigación de la Cooperativa Nacional de Autopistas - Proyecto 3-18 (2). Las opiniones ó resultados expresados ó implicados en este estudio son de los autores. No son necesariamente los resultados del Highway Research Board, la National Academy of Sciences, Federal Highway Administración, American Association of State Highway Officials, ó de los estados que participan en el Programa de Investigación del National Cooperative Highway.

Cuando los volúmenes aumentan demasiado, la mayoría de los conceptos aquí expresados pueden parecer inválidos ó inefectivos. A medida que aumenta el tráfico, el sistema, ó los puntos dentro del sistema, están sujetos a congestiones. La saturación ocurre principalmente en las intersecciones, los puntos de mayor conflicto y, si no se detienen, éstos pueden afectar otras secciones del sistema.

Cuando existe una saturación de tráfico, es inevitable que se presente una congestión, y por lo tanto la política de control debe tener como meta evitar una congestión secundaria, que se ocasiona cuando se bloquean las intersecciones que no son propiamente las que originan tal congestión.

Este estudio se centra en dos puntos principales de discusión relacionados con el control de señales en flujos super-saturados.

- \* Definición de la sobre-saturación y desarrollo de medidas de la sobre-saturación.
- \* Desarrollo del control de señales que sea el más apropiado para los flujos sobre-saturados.

Se encontrarán mas detalles de esta discusión en la Referencia 2 y 3.

## 2: Algunas Definiciones Necesarias

Además de la terminología normal y relativa a la ingeniería de tráfico, se han utilizado las siguientes definiciones en este estudio.

Intersección Crítica (C.I.) Una intersección cuya capacidad es el valor limitativo de la capacidad de un segmento de la calle ó un sistema total. Por lo tanto, puede haber más de una intersección crítica en una red, cada una con un valor diferente de capacidad. A medida que aumenta el flujo de tráfico a lo largo de la red, la congestión se presentará primero en la intersección crítica y se desplazará hasta otras intersecciones, dependiendo de la duración y magnitud del aumento de flujo así como de las características físicas de la calle.

Medida Táctica de Control: Una medida de control que responde al tráfico, y usualmente se aplica en una o algunas intersecciones críticas.

Medida de Control de Estrategia: Una medida de control que se aplica en base a un sistema total y que puede responder o no a las condiciones del tráfico.

3: Caracterización de la Sobre-saturación

La sobresaturación representa una condición que se presenta cuando las colas llenan una porción significativa de la cuadra e interfiere con el rendimiento de la intersección adyacente. Este tipo de tráfico se puede presentar en puntos aislados, a lo largo de arterias principales, ó a lo largo de subsecciones enteras de una red. Si uno observa un sistema de estos cuando opera bajo condiciones de sobre-saturación el problema parece abarcar todo el área. Sin embargo, si uno puede observar el inicio de la sobre-saturación, uno notará que en vez de ser un problema de área, existe una, ó algunas, ubicaciones críticas donde se origina el congestionamiento. Por lo tanto, el problema de sobre-saturación se puede considerar como un problema de origen.

Las siguientes definiciones sobre condiciones del tráfico se desarrollaron como parte de un trabajo de investigación con el NCHRP Proyecto 3-18 (2)<sup>2</sup>.

3-1: Definiciones de Estados del Rendimiento del Tráfico

Se presentó la necesidad de desarrollar una serie de términos que pudieran describir varios estados del rendimiento del tráfico en términos más precisos que los actuales. Por ejemplo, no es raro encontrar términos como congestionamiento, saturado, y sobre-saturado que son utilizados para describir la misma situación: i.e. cuando uno o dos vehículos se quedaron parados sin poder desplazarse al final de la luz verde.

Se consideró necesario desarrollar unos términos que fueran más exactos y no redundantes, para poder caracterizar las diferentes condicio-

nes del tráfico. No se lograron nuevos términos, pero sí unos más precisos que los actuales. Por lo tanto, los términos congestionado, saturado y sobre-saturado aún se utilizan a lo largo de este estudio, pero sin embargo, se han definido de una manera diferente, tal como se señala en la Tabla 1.

Específicamente, las definiciones han sido construidas alrededor del mecanismo que origina las colas. Las definiciones del rendimiento del tráfico se describen en términos de una aproximación a la señal. Como tales se refieren a la capacidad de la luz verde para la aproximación bajo consideración.

	DESCONGESTIONADO			CONGESTIONADO	
	Saturado		Sobre-Saturado		
Sin Cola	Estable	Inestable			
	Con cola, pero no aumenta	Con cola, y aumenta	Con cola y aumentando hasta el punto que la intersección se ve afectada en su rendimiento		
	Efectos de demora locales	Efectos de demora aún locales			
		(Un estado de transición puede ser de corta duración solamente)			

TABLA 1 : PRESENTACION ESQUEMATICA DEL RENDIMIENTO DEL TRAFICO

### 3-2: Medidas de sobre-saturación

Se utilizan varias medidas de efectividad (M.O.E.) actualmente

para caracterizar los diferentes aspectos del rendimiento del tráfico. Algunas de estas medidas describen las condiciones del tráfico en algunos puntos del sistema, mientras que otras describen las condiciones generales del sistema ó subsistema. Algunas de estas medidas sólo describen el estado del rendimiento del tráfico, y algunas son útiles como parámetros de control.

Por lo tanto, cualquier intento que se haga para desarrollar un concepto sobre el control que pudiera aliviar el problema de sobre-saturación, debe contener M.O.E. Un M.O.E. apropiado debe describir la condición de la sobre-saturación y servir como parámetros, si han de tener algún valor. También deben predecir el inicio de la sobre-saturación y el período de transición entre el estado inestable hasta el de sobre-saturación. En esto radica las verdaderas oportunidades para demorar y/ó evitar el problema de sobre-saturación.

Se han examinado varias medidas de efectividad, y éstas han sido evaluadas como parte de una investigación bajo el NCHRP 3-18 (2). Estas medidas se señalan en la Tabla 2, presentadas por grado de utilidad, i.e. por punto de intersección, ó por sistema, y por uso, i.e. descripción sólomente ó descripción y/ó parámetro de control.

UTILIDAD		
	Descripción	Descripción y/ó Parámetros de control
Medidas de la Intersección	Factor de Carga Factor de Saturación Demora Máxima Individual/Vehículo Número de Ciclos para despejar la intersección Número de Paradas/Arranques para Despejar la Intersección.	Largo de la Cola Demora Total Demora Promedio Largo de la Unión menos Largo de la Cola Proporción de Largo de la Cola y largo de la Unión Entrada-Salida Vehículos Atrapados Proporción V/C
Medidas del Sistema	Demora Total Promedio de Paradas/Vehículos Densidad Declive de Velocidad Ocupación Tiempo Total de Desplazamiento	Densidad Ocupación Entrada - Salida

Medidas Seleccionadas

Medidas del Punto: Se seleccionaron las siguientes medidas como las prometedoras:

Largo de la Cola

Largo de la cola - largo de la unión - su proporción

Largo de la Unión menos Largo de la Cola

Cada una de las tres medidas de saturación tiene la capacidad de describir el estado del rendimiento del tráfico, así como de predecir el inicio de cada estado. Las últimas dos medidas, aquéllas que explícitamente incorporan el largo de la unión, se consideran deseables, porque son formas más generales.

Un estudio limitado en el campo ha sido llevado a cabo para ayudar en la determinación de si las medidas relacionadas con las colas son cónsonas con el criterio de evaluación en realidad, y cuáles de estas tres medidas describe mejor los diversos niveles de saturación. El estudio en el campo y sus resultados se discuten en la siguiente sección.

Medidas del Sistema: La evaluación de varias medidas de sistema revelaron que ninguna de ellas describe de forma adecuada las condiciones de los sistemas saturados y sobre-saturados. Una alternativa se discute en la Referencia 2.

### 3-3 Chequeo de los Datos de las Medidas Seleccionadas

El objetivo principal del chequeo de datos de las medidas seleccionadas, como se describe en la sección anterior, es determinar su efectividad en describir las propiedades de la sobre-saturación, así como el origen de dicha condición. En base al análisis de los datos obtenidos, en dos pares de intersecciones en Brooklyn, New York, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Tomando en consideración un par de intersecciones sucesivas con señales,

- a) El tiempo promedio de cruce (velocidad) de vehículos que salen de la intersección se ve afectado de manera significativa por la cola de la intersección contraria en condiciones críticas. En base al análisis de estos datos, cuando la distancia despejada hacia el final de las colas en la intersección con tráfico hacia abajo, es menor que 230 pies, la calidad de la operación (expresada en velocidad) en la intersección con tráfico hacia arriba, empieza a deteriorarse.

Como se ve en las Figuras 1 y 2, los efectos son similares para los dos vehículos que se pararon y que no pararon al comienzo de la luz verde. Las posiciones 4 y 3 dentro de la cola para los Sitios 1 y 2 respectivamente, representan una distancia de despeje de aproximadamente 230 pies entre la intersección con tráfico hacia arriba y el final de la cola en la intersección con tráfico hacia abajo. La distancia de despeje de 230 pies se define como una distancia crítica, y en una intersección de tráfico hacia abajo se define como sobre-saturada, si la distancia entre el final de las colas y la intersección de tráfico hacia arriba es menor que la distancia crítica. (Los datos utilizados aquí corresponden a los recolectados de dos pares de intersecciones con diferentes largos (530 y 810 pies) La Confirmación de estos datos sería deseable para cuerdas más cortas).

- b) Aunque la calidad de la operación se reduce, la productividad de la intersección con tráfico hacia arriba no se ve afectada por una cola en la intersección con tráfico hacia abajo, hasta que ocurra un reverso. Cuando esto suceda, la salida se reducirá. Como se muestra en las Figuras 3 y 4, no existen tendencias discernibles entre el avance promedio y el largo de la cola, para los vehículos "parados" o los que no están parados. No existe una diferencia significativa entre el promedio de avances. Ya que  $\text{Avance (tiempo)} = \frac{\text{Avance (Espacio)}}{\text{Velocidad}}$ , y el avance

de tiempo se mantiene igual, el espacio de avance disminuye a medida que la velocidad disminuye. Esto implica que a medida que la cola llega a un largo crítico, la velocidad y el espacio de avance disminuye, de manera que la salida se mantiene igual. La disminución en el avance de espacio resulta de un flujo de tráfico más comprimido, y una densidad mayor.

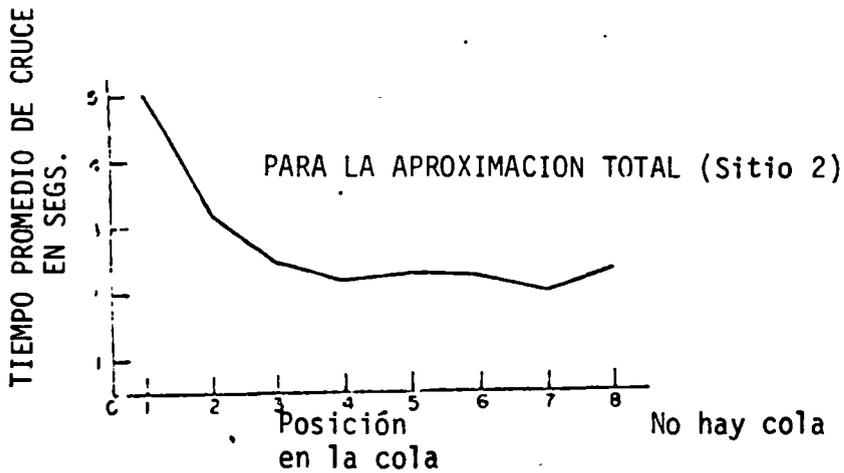
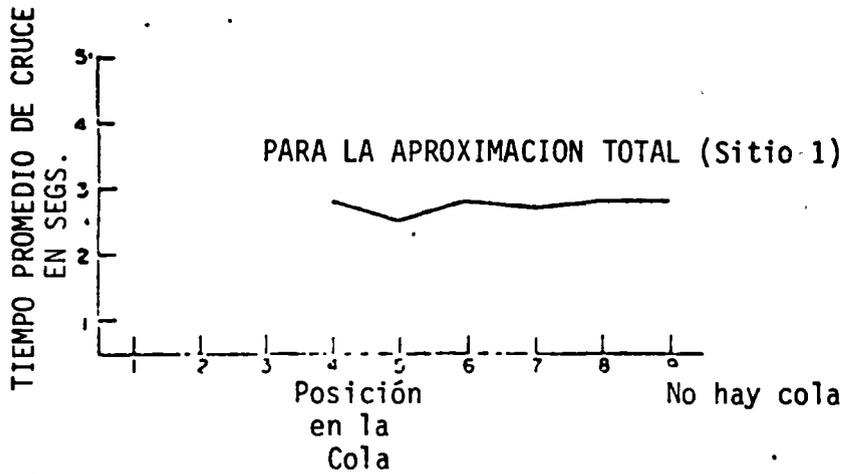


FIGURA 1: TIEMPO PROMEDIO DE CRUCE PARA LA APROXIMACION TOTAL PARA LOS VEHICULOS QUE SE PARARON AL COMIENZO DE LA LUZ VERDE

Nota: No se encontraron diferencias significativas entre el tiempo promedio de cruce por canal.

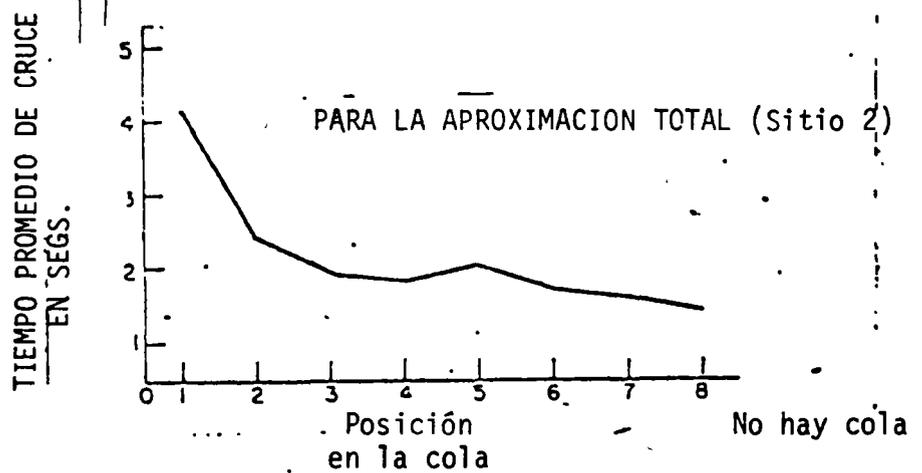
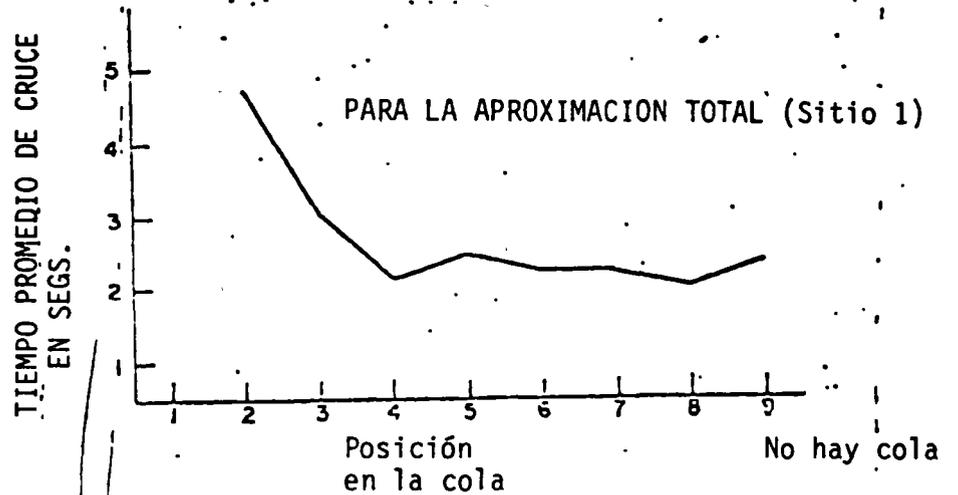


FIGURA 2: TIEMPO PROMEDIO DE CRUCE PARA LA APROXIMACION TOTAL PARA LOS VEHICULOS QUE NO SE PARARON AL COMIENZO DE LA LUZ VERDE

NOTA: No se encontraron diferencias significativas entre el tiempo promedio de cruce por canal

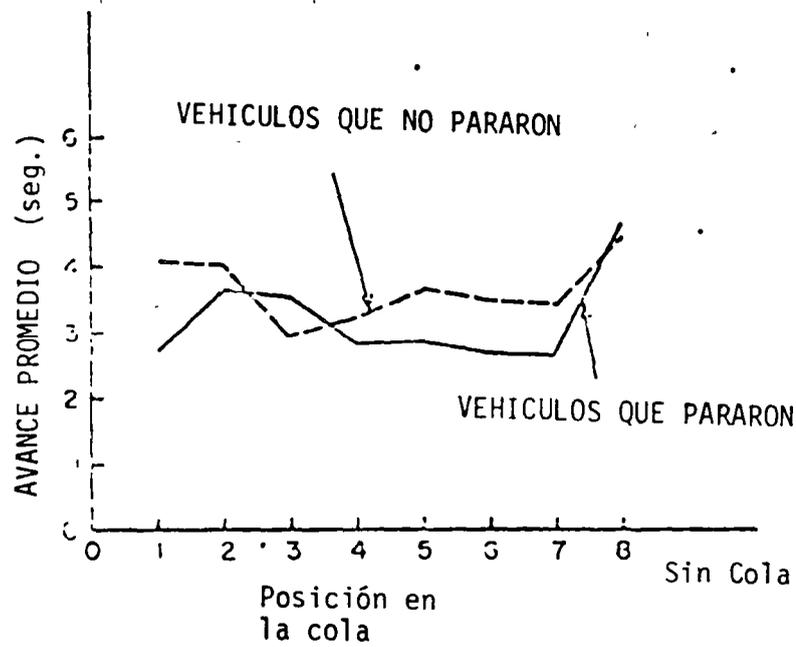


FIGURA 3: AVANCE vs. POSICION EN LA COLA (SITIO 2)

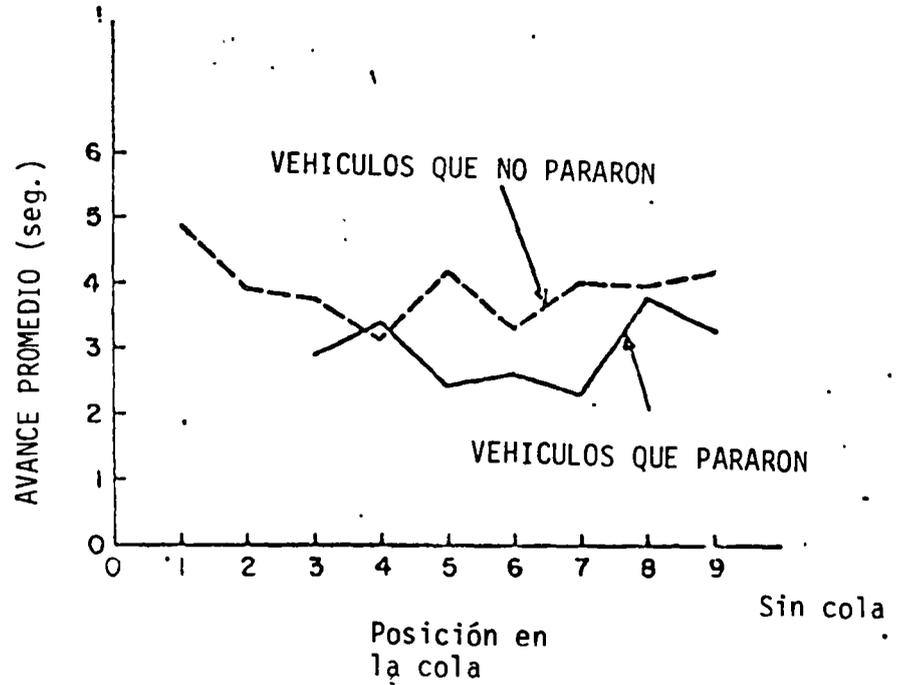


FIGURA 4: AVANCE vs. POSICION EN LA COLA (SITIO 1)

- c) A pesar de la cola en la intersección con tráfico hacia abajo, el estado de las señales afecta la calidad de la operación (velocidad) en la intersección con tráfico hacia arriba. Sin embargo, no afectará el M.O.E. seleccionado (Figura 5)

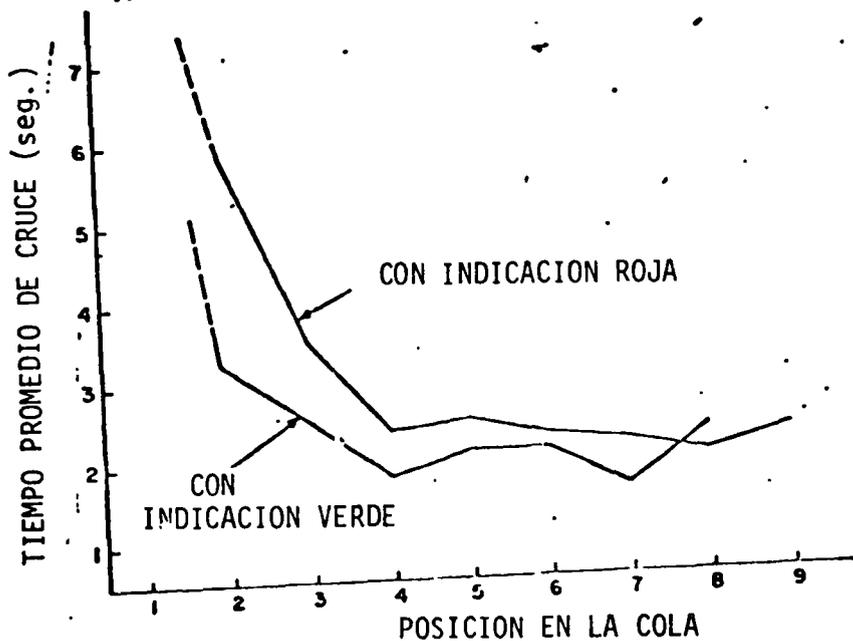


FIGURA 5: TIEMPO PROMEDIO DE CRUCE POR LA INDICACION DE SEÑALES DEL TRAFICO HACIA ABAJO (SITIO 1)

- d) También se realizaron otros análisis con relación a los efectos de la cola en la intersección con tráfico hacia abajo, pero no se señalan aquí. Estos incluyen tiempo de arranque, cruces a la izquierda y otros.

#### 4: Evaluación de las Medidas de Control Existentes

Antes de que se desarrollara una nueva técnica más apropiada para solucionar este problema de sobre-saturación, era necesario evaluar totalmente la efectividad de las medidas de control existentes. Esta evaluación, por lo tanto, incluía las medidas de control existentes, que son conocidas por los ingenieros de tráfico, y conceptos avanzados, que no han sido totalmente probados en el campo.

#### 4-1: Evaluación de las Medidas de Control

En efecto, en cualquier forma de control de tráfico sólo se pueden manipular tres parámetros. Estos son: duración del ciclo, asignación de luz verde para los movimientos competitivos (split), y la interrelación de tiempo entre las señales adyacentes en un sistema (escalonado).

Por lo tanto, los trabajos evaluados se pueden clasificar así:

- 1) Duración del Ciclo como Parámetro de Control (de naturaleza estratégica)
  - \* Ciclo corto vs. Ciclo largo
  - \* Un ciclo común para el sistema
- 2) Split como control del Parámetro Medida de Control Estratégica
  - \* Ancho de banda uniforme
  - \* Cambio gradual en el ancho de la bandaMedida Táctica de control
  - \* Política de Gazis sobre Intersección Saturada (4,5)
  - \* Estrategia de Control de Longley's para el Congestionamiento - Red controlada por computadora (6)
- 3) Escalonado como Parámetro de Control (de naturaleza estratégica)
  - \* Teoría del Flujo Continuo (7-9)
  - \* Progresión Roja (10)
  - \* Progresión vs. Simultánea
  - \* Progresión en Reversa
  - \* Combinación de Progresión y Simultánea

#### 4-2 Técnicas de Evaluación

Debido a que la medida de sobre-saturación se basa en lo largo de

la cola, el criterio principal en la evaluación del rendimiento de una medida de control bajo flujos sobre-saturados, debería enfocarse sobre su habilidad para limitar el largo de la cola a un nivel deseable. Su habilidad para controlar el largo de la cola, demora promedio/vehículo se tomaría en cuenta como una parte secundaria de la evaluación.

Varias medidas de control enumeradas anteriormente fueron probadas en redes de ficción así como en la sección de la calle donde se recopilaban datos en el campo para la evaluación del M.O.E. Se llevó a cabo una simulación extensiva bajo condiciones de tráfico sobre-saturadas utilizando el simulador UTCS -1.

#### 4-3: Conclusiones:

En base a los resultados del análisis de simulado con las medidas de control actuales, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- a) Algunas de las medidas de control que fueron evaluadas son de naturaleza estratégica y son muy efectivas en demorar y/o eliminar la sobre-saturación en intersecciones críticas. Sin embargo, tienden a disminuir el rendimiento de las intersecciones adyacentes del sistema. Por ejemplo, un plan con escalonado simultáneo reduce el largo de la cola de manera significativa en el C.I. (sobresaturado), pero al mismo tiempo aumenta el largo de la cola y demora en otras intersecciones dentro del sistema bajo control.
- b) Las medidas de control de naturaleza estratégica generalmente reducen las colas en el C.I, mas de lo necesario para evitar la sobre-saturación, y reducen la productividad de la intersección crítica. Medidas de control tales como la Teoría de Flujo Continuo y progresión en reversa, usualmente reducen la cola más de lo necesario para mantener la C.I. lejos de una sobre-saturación, ó para evitar que la intersección con tráfico hacia arriba se bloquee debido a las colas. Esta productividad de la C.I. se ve reducida significativamente bajo este tipo de medidas de control.

- c) Las medidas de control que son de naturaleza táctica no actúan de manera positiva para impedir el bloqueo de las intersecciones, que es el interés primordial durante el período de sobre-saturación. Bajo flujos sobre-saturados, una medida de control que esté más conciente de los bloqueos en las intersecciones, da mejores resultados debido a los efectos indeseables que resultan de los bloqueos.
- d) Es necesario un concepto nuevo de control, que no solamente asegure el impedimento de bloqueos en las intersecciones en lo que sea posible, pero que reduzca al mínimo el declive de las demás intersecciones en el sistema.
- e) Un nuevo concepto de control debería ser capaz de mantener una productividad alta en una intersección crítica. La productividad es más importante que la calidad de operación durante el período de sobre-saturación.

## 5: Un nuevo Concepto de Control

### 5-1: Introducción

Bajo condiciones de sobre-saturación, el congestionamiento en una intersección crítica es inevitable, y por lo tanto la política de control deberá tener como meta reducir al mínimo los efectos de las colas que se forman en las C.I. en la intersección con tráfico hacia arriba. A medida que aumenta el volumen, la sobre-saturación en la C.I. también puede resultar inevitable, entonces la política de control debería tener como meta posponer la creación de esa sobre-saturación y/o impedir el bloqueo de la intersección con tráfico hacia arriba. Impedir que una intersección se bloquee es más importante en lo que se refiere a arterias principales ó redes donde el flujo de tráfico es pesado en todas las direcciones. En tales casos, el bloqueo de una intersección no solamente aumenta la demora a lo largo del sistema, sino que también afecta segmentos de ese sistema.

El "Control de señales activado por colas" fué desarrollado para asegurar, dentro de lo posible, que no se formarían bloqueos en las intersecciones. También se quiso hacer uso de toda la luz verde disponible creando una demanda continua (cola) en todas las aproximaciones. También está diseñado para permitir un control más positivo de las colas en una intersección.

La política de este control es que cuando una aproximación tiene la luz verde automáticamente cuando la cola se torna igual o mayor que un largo predeterminado.

Cuando la cola en una aproximación se iguala, ó es mayor que un largo dado ( $Q_{max}$ ), esa aproximación recibirá la luz verde independientemente de las condiciones de las aproximaciones conflictivas, suponiendo que ninguna otra aproximación alcance el ( $Q_{max}$ ) simultáneamente. Por lo tanto, cuánta luz verde recibirá una aproximación en un tiempo dado depende del largo de la unión y la cantidad de canales, así como del flujo del tráfico en ambas aproximaciones.

Es obvio que, cuando una aproximación tiene un flujo relativamente bajo, los choferes en dicha aproximación sufrirán largas demoras debido a la cola en la otra aproximación, la cual tomará más tiempo en llegar a un largo predeterminado. Cuando el volúmen se torne extremadamente pesado en ambos accesos, la duración del ciclo será más corto debido a que solamente se necesita ese tiempo para que la cola llegue a un largo determinado. Este problema se puede reducir al mínimo seleccionando el largo máximo de cola adecuado ( $Q_{max}$ ). Como se demostrará luego, el ciclo efectivo sólo se basa en el  $Q_{max}$ , tomando en cuenta el flujo.

Para evitar ciclos muy cortos o muy largos, uno puede imponer valores mínimos y máximos de luz verde, los cuales determinarán los ciclos y el tiempo de luz verde.

Una de las ventajas de esta política de control es que contiene una forma más positiva de controlar las colas y evitar el bloqueo de las intersecciones que los otros métodos revisados hasta ahora.

5-2: Demora y Duración del Ciclo en una Intersección bajo el Sistema de señales activado por Colas

Newell (11), y Sagi y Campbell (12), expresaron la demora en una intersección con señales bajo flujos de sobre-saturación de la forma que se indica en la Figura 6.

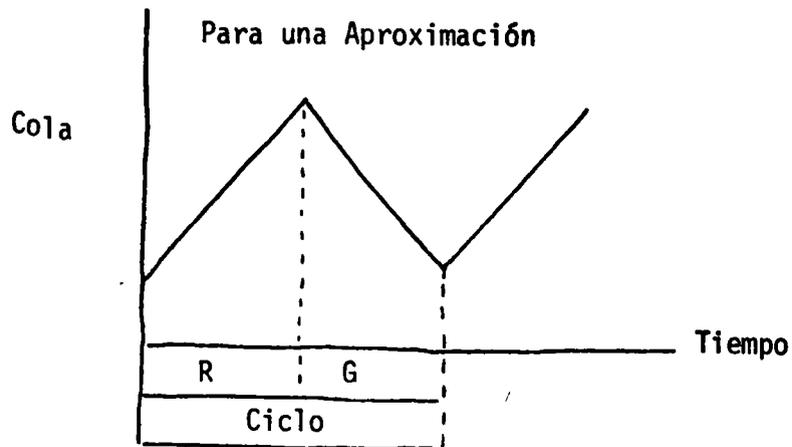
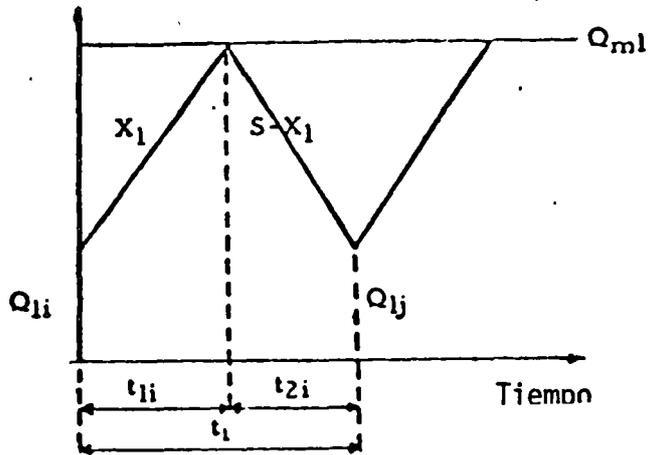
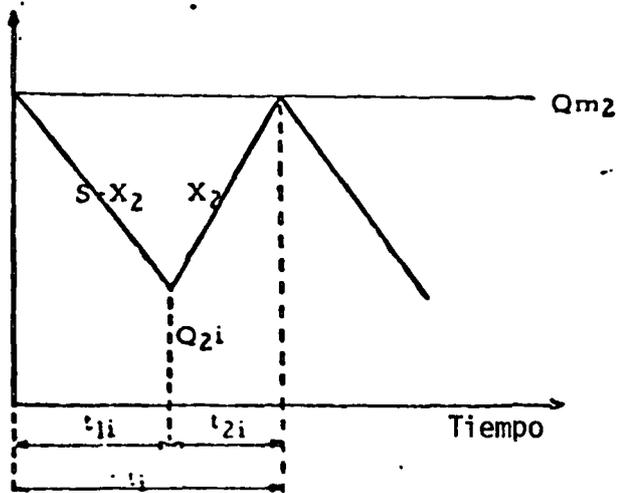


Figura 6: DIAGRAMA DE DEMORA  
CON FINES ILUSTRATIVOS

Cuando el concepto de Sistema de Señales Activado por Colas sea aplicado a una intersección de señales, la demora en ambas aproximaciones durante el ciclo "ith" se puede expresar de la siguiente manera:



Aproximación 1



Aproximación 2

donde:

$Q_{m1}, Q_{m2}$  = Max. de Cola permitida en la Aproximación 1 y 2 respectivamente (Vehículos ó pies)

$Q_{1i}$  = Largo de la cola en Aprox. 1 al final de la luz verde (veh. o pies)

$Q_{2i}$  = Largo de la cola en Aprox. 2 al final de la luz verde (veh. o pies)

$X_1, X_2$  = Ratas de flujo en Aprox. 1 y 2 respectivamente (vehículos o pies)

$X_1, X_2$  se presume que tienen una distribución Poisson con valores esperados  $E(X_1) = \lambda_1$  y  $E(X_2) = \lambda_2$

$t_{1i}$  = fase efectiva roja en Aprox. 1 durante el ciclo  $i$ th (Segundo)

$t_{2i}$  = fase efectiva verde en Aprox. 1 durante el ciclo  $i$ th (segundo)

$t_i$  = ciclo efectivo durante el ciclo  $i$ th ( $t_i = t_{1i} + t_{2i}$ ) (Segundo)

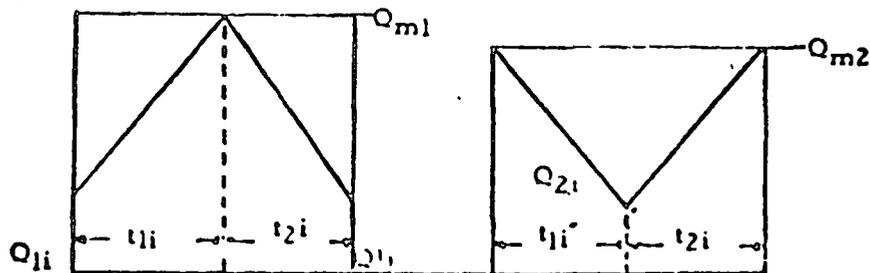
$S$  = Flujo de saturación (Rata de Servicio) (Vehículos/seg.)

Se presume que  $S$  tiene una distribución uniforme y que es igual o mayor que  $X_1$  y  $X_2$ . Cuando  $S < X_i$ , las colas se tornan infinitas, y el sistema fallará, porque  $(S - X_i)$  es la rata neta de descarga de una intersección.

Además, se presume que la pérdida de tiempo debido a la demora de arranque y la fase amarilla es uniforme. El tiempo perdido no se incluye en este diagrama de demora, pero se trata separadamente.

Debido a las fluctuaciones en los flujos, las siguientes situaciones pueden presentarse aún bajo condiciones de sobre-saturación.

Caso 1

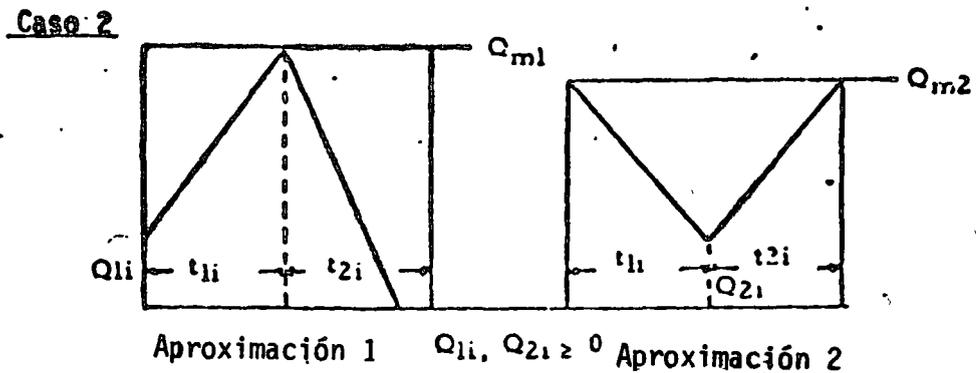


Aproximación 1

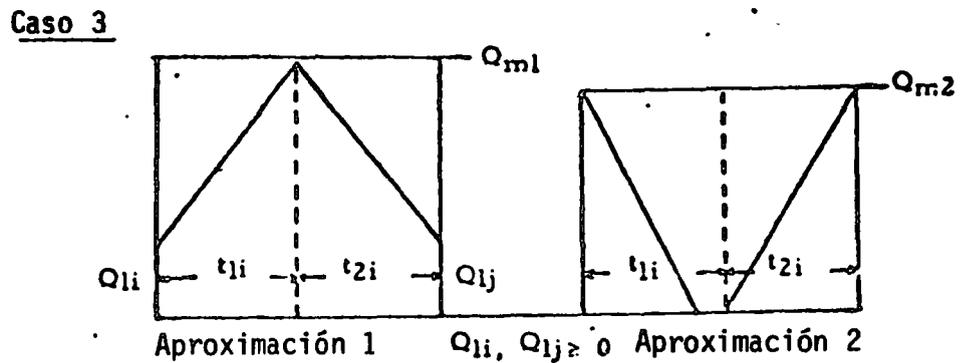
Aproximación 2

$Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{1i} \geq 0$

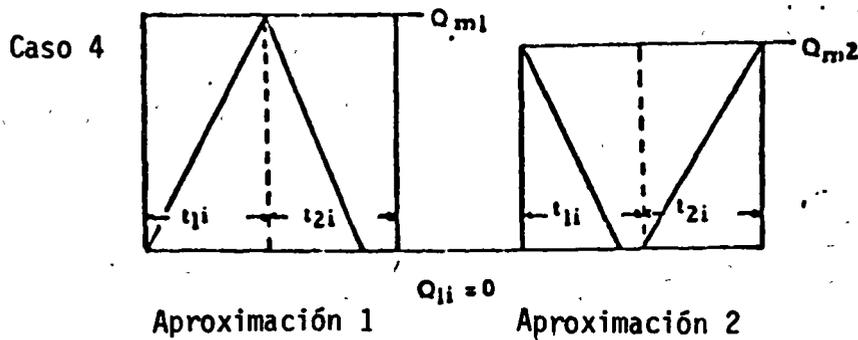
El cambio de una fase a otra ocurre cuando la cola en una aproximación ha llegado a un largo determinado ( $Q_{m1}$  ó  $Q_{m2}$ ). Las colas al final de una luz verde ( $Q_{1i}$  ó  $Q_{2i}$ ) son mayores que cero y se convierten a cero en el momento que cesa la luz verde.



Las colas en la Aprox. 1 se despejan completamente antes de que las colas en la Aprox. 2 alcancen  $Q_{m2}$  y que la fase verde en la Aprox. 1 haya concluído.



Las colas en la Aprox 2. se han despejado completamente antes de que las colas en la Aprox. 1 alcancen  $Q_{m1}$  y la fase verde en la Aprox. 2 haya concluído.



Esta es la combinación de los Casos 3 y 4. Debido a que este caso es probable bajo flujos livianos,  $Q_{11}$  se presume que es cero.

Probabilidad de Cada Caso

$P_1$  = Probabilidad de que las colas se despejen en la Aprox. 1 antes de que concluya la luz verde

$P_2$  = Probabilidad de que las colas se despejen en la Aprox 2, antes de que concluya la luz verde

Caso 1 - Probabilidad =  $(1-P_1) (1-P_2)$

Caso 2 = Probabilidad =  $P_1(1-P_2)$

Caso 3 = Probabilidad =  $(1-P_1) (P_2)$

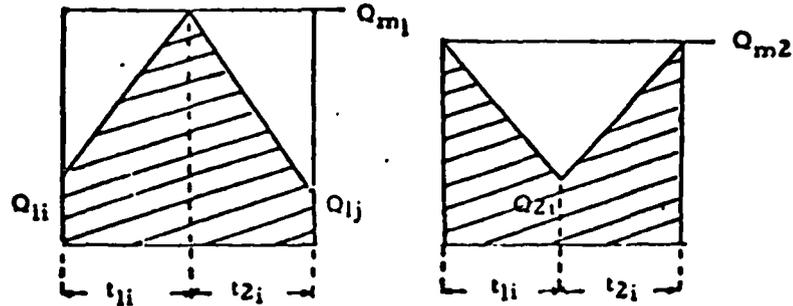
Caso 4 = Probabilidad =  $(P_1) (P_2)$

Bajo condiciones de tráfico pesado, los Casos 2, 3, y 4 es posible que no se presenten porque:

- \* Debido a la naturaleza misma de la política de control] cada vehículo se espera que pare por lo menos una vez, y no habrá un período de luz verde sin una cola.
- \* Los casos 2, 3 y 4 tienen probabilidades de ocurrir hacia el final del período de saturación, y la ocurrencia de estos casos es la indicación misma de que esta medida de control ya no es efectiva.

Demora Debido a una Cola

La demora total durante un ciclo dado, debido a la existencia de una cola es la suma de las áreas sombreadas en el diagrama de demora.



Demora debido a Tiempo Perdido

La demora total debido a tiempo perdido, tal como arranque y la fase amarilla no utilizada por el tráfico, sería, para el ciclo  $i$ th:

$$D_L = \left(\frac{L}{t_i}\right) \left(\frac{1}{2}\right) (t_1 (X_1 + X_2)) = \frac{L}{2} (X_1 + X_2) \quad \text{--(4-5)}$$

L: Tiempo perdido por ciclo

Demora Total y Ciclo efectivo

Por lo tanto, la demora total que experimenta el tráfico en ambas aproximaciones sería:

$$D_T + \text{Demora debido a la cola} + D_L$$

La demora total en cada uno de los cuatro casos de demora se presentan a continuación (Tabla 3). La tabla también incluye el ciclo efectivo, así como la duración efectiva de las fases rojas y verdes. Para simplificar, la cola máxima aceptada en ambas aproximaciones se establecieron iguales

$$(Q_{m1} = Q_{m2})$$

$C_A, S_0$	Demora Total	Duración Efect. del Ciclo, y las Fases Rojas y Verdes
1	$D_T = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{S}{X_2}\right) \left(\frac{Q_m - Q_{11}}{X_1}\right) \left[ 2(Q_m + Q_{11}) - \frac{(S^2 - SX_1 - SX_2)}{X_1 X_2} (Q_m - Q_{11}) \right] + \frac{L}{2} (X_1 + X_2)$	$t_{11} = t_{11} \left(\frac{S}{X_2}\right)$ $t_{11} = \frac{(Q_m - Q_{11})}{X_1}$ $t_{21} = t_{11} \left(\frac{S - X_2}{X_2}\right)$
2	$D_T = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{S}{X_2}\right) \left(\frac{Q_m - Q_{11}}{X_1}\right) \left[ 2Q_m - \frac{(S - X_2) Q_m - Q_{11}}{X_1} + \frac{(Q_m + Q_{11})}{S} X_2 + \frac{Q_m^2 X_1 X_2}{S(S - X_1)(Q_m - Q_{11})} \right] + \frac{L(X_1 + X_2)}{2}$	Igual al Caso 1
3	$D_T = \frac{(Q_m^2 - Q_{11}^2)}{2X_1} + \frac{2Q_m^2 X_2 - Q_m^2 (S - X_1)}{2X_2} + \frac{Q_m^2}{2(S - X_2)} + \frac{Q_m^2}{2X_2} + \frac{L(X_1 + X_2)}{2}$	$t_{11} = \frac{(Q_m - Q_{11})}{X_1} + \frac{Q_m}{X_2}$ $t_{11} = \frac{(Q_m - Q_{11})}{X_1}$ $t_{21} = \frac{Q_m}{X_2}$
4	$D_T = \frac{Q_m^2}{2X_1} + \frac{Q_m^2}{2(S - X_1)} + \frac{Q_m^2}{2(S - X_2)} + \frac{Q_m^2}{2X_2} + \frac{L(X_1 + X_2)}{2}$	$t_{11} = \frac{Q_m}{X_1} + \frac{Q_m}{X_2}$ $t_{11} = \frac{Q_m}{X_1}$ $t_{21} = \frac{Q_m}{X_2}$

TABLA 3: DEMORA TOTAL & DURACION DEL CICLO EFECTIVA

La demora esperada y la duración del ciclo efectiva en todos los casos es la siguiente:

$$\text{Demora Promedio} = \sum_{i=1}^4 P(i) E [D_T (i)]$$

$$\text{Promedio de Duración de Ciclo efectiva} = \sum_{i=1}^4 P(i) E [C(i)]$$

Donde P(i) es la probabilidad del Caso i

E [D<sub>T</sub>(i)] es la demora total esperada en el caso i

E [C(i)] es la duración del ciclo efectiva esperada en el caso i

Los detalles de las deducciones de estas ecuaciones dados en la Tabla 3, la evaluación de  $P(i)$ ,  $E[D_T(i)]$  y  $E C(i)$  y un ejemplo de la aplicación del modelo de demora se dan en la Referencia 5.

### 5-3: Comparación con Otras Medidas de Control

Las características de demora de una intersección aislada también se compararon con otras tres medidas de control diferentes: Tiempo Fijo, Estrategia de Control de Longley, y Control Activado por Colas (Fig. 7). La comparación claramente demuestra que, a medida que aumenta el volúmen, los resultados del Control Activado por Colas resulta en menor demora promedio por vehículo, aunque con volúmenes bajos el Control Activado por Colas produce una demora mayor, como es de esperarse.

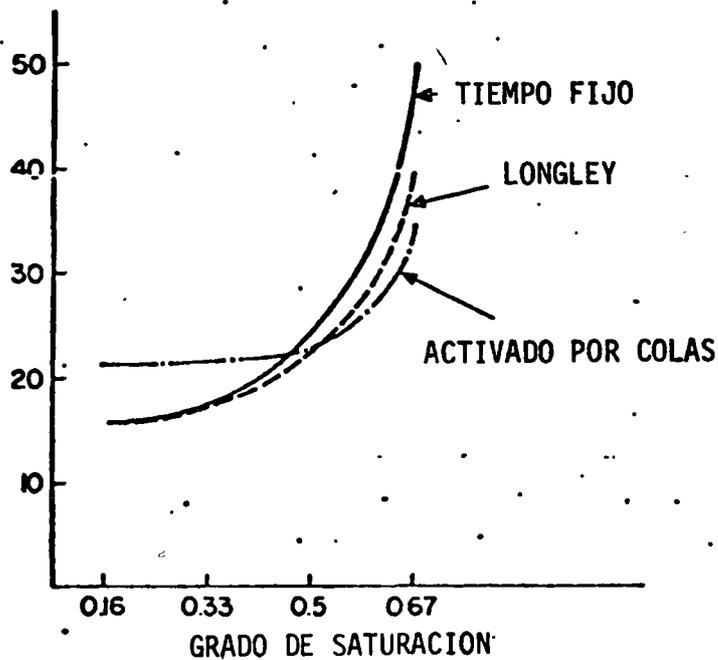


FIGURA 7: COMPARACION DE LA DEMORA BAJO DIFERENTES METODOS DE CONTROL : TIEMPO FIJO, CONTROL DE LONGLEY y CONTROL ACTIVADO POR COLAS

5-4: Control Activado por Colas en Medio de una Intersección Coordinada

Cuando se consideran sistemas de señales coordinados, el criterio general es establecer una programación de señales que facilite el movimiento ininterrumpido de vehículos a lo largo de la ruta. En operaciones saturadas y/o sobre-saturadas, sin embargo, el desarrollo de una señal programada con este objetivo no se justifica, debido a que todos los vehículos se deben meter en las colas y parar por lo menos una vez en el tráfico hacia arriba en las intersecciones críticas. En términos prácticos, no hay tráfico "directo".

La introducción de la "Política de Control Activado por Colas", en medio de una intersección con señales coordinadas, es similar a la de cualquier otro equipo para el control de tráfico convencional, activado por el tráfico (e.g. totalmente activado, volumen-densidad), ya que coloca un control de tráfico libre de ciclos en medio de señales con tiempo programado y fijo.

Vale la pena, sin embargo, considerar como trabaja la "Política de Control Activado por Colas", cuando se instala en una intersección crítica que en sí se encuentra en medio de un sistema de señales coordinadas. Como esta política responde a las colas, i.e. asignación de luz verde depende del máximo de cola permitido, la señal en la intersección crítica será accionada por la entrada de vehículos de las intersecciones inmediatas. Pueden existir dos condiciones extremas.

Una es cuando la entrada de vehículos proviene de la unión en la intersección crítica. En este caso, la luz verde en la intersección crítica iniciará su fase tan pronto como los vehículos que cruzan alcancen el máximo de cola permitido. Por lo tanto el origen relativo entre las

dos intersecciones "parece" como una progresión de avance. El otro extremo es cuando todos los vehículos que entran a la cola en la intersección crítica son provenientes de cruces de la intersección con tráfico hacia arriba. En tal caso el largo máximo permitido de cola será alcanzado antes de que se inicie la fase verde de la intersección de tráfico hacia arriba, y el origen relativo parecerá como una progresión en reverso. Para algunas combinaciones de tráfico directo y de cruce, el origen relativo parecerá ser simultáneo.

Por lo tanto, se observa que la iniciación en sí del tiempo y duración de la luz verde en la intersección crítica bajo la "Política de Control Activado por Colas" no solamente depende de un valor predeterminado de la cola máxima permitida en las demás aproximaciones y sus respectivos volúmenes, sino que también depende que la forma en que estos volúmenes entran en las uniones competitivas.

La situación del tráfico hacia abajo en una intersección inicial que opera bajo esta política es diferente, ya que la señal de tiempo fijo con un tiempo predeterminado de luz verde recibe tráfico de una señal esencialmente libre de ciclos. En tal situación es posible que, en teoría, para que ocurra una fase verde en la intersección crítica que origine más tráfico hacia la próxima señal de tráfico hacia abajo que la que ésta pueda resolver, y así creará una condición de saturación allí. En un caso semejante, el problema de saturación no será eliminado, sino reubicado. Esto sólo puede ocurrir, sin embargo, cuando el tráfico en la calle de cruce en la intersección crítica es muy liviano; y así se le permite a la calle principal un período más largo de luz verde. En la práctica, sin embargo, esto no sucede con mucha frecuencia, ya que una de las características de la intersección crítica es la presencia de tráfico pesado en ambas aproximaciones.

El control activado por colas en medio de una intersección coordinada fué probado exhaustivamente en varias redes y el rendimiento fué comparado con las medidas de control existentes discutidas anteriormente.

Las conclusiones generales son:

- \* Los efectos adversos del control se limitan a la intersección inmediata hacia abajo
- \* Aunque aumenta la demora en la intersección hacia abajo más inmediata, produce la menor demora en el sistema.
- \* El control activado por colas resulta en una salida mayor de carros en las intersecciones críticas.

6: Se requiere mayor investigación

Es deseable que se lleven a cabo más estudios en los siguientes aspectos:

- \* Se necesita un modelo de demora más sofisticado, que dé mayor consideración a las conjeturas sencillas que se utilizan aquí.
- \* Debido a que el Control Activado por Colas depende de una detección precisa del largo de las colas, los efectos que errores en su detección puedan tener, deben ser estudiados, considerando la precisión limitada del sistema de detección disponible en la actualidad.
- \* La fórmula más conveniente es aquélla que se pueda utilizar como medida de control tanto en los períodos de sobre-saturación como en los que no están sobre-saturados. Por lo tanto la posibilidad de aplicar el Control Activado por Colas al período de no-saturación debe ser investigada.
- \* Un modelo analítico de los efectos que el Control Activado por colas pudiera tener en las intersecciones adyacentes también ayudaría a comprender los efectos de este control en medio de señales coordinadas.

ASUNTO: CONTROL DE TRANSITO

Título: ESTABLECIMIENTO DE FASES PARA LAS SEÑALES DE  
TRANSITO

## ESTABLECIMIENTO DE FASES PARA LAS SEÑALES DE TRANSITO

### A. Principios Básicos

1. El número de fases a utilizar depende de la geometría de la intersección (número de vías de acceso, canales, vías de cruce separadas, los volúmenes y movimientos direccionales del tránsito vehicular y los requerimientos de paso peatonal).
2. El objetivo de las fases es de reducir a un mínimo los peligros potenciales de la intersección, separando los movimientos conflictivos del tránsito vehicular y peatonal, sin reducir substancialmente la eficiencia del flujo de tránsito por la intersección.
3. Hay que considerar que al aumentar el número de las fases, se aumenta también la tardanza total para los vehículos y se puede reducir la capacidad del tránsito por la intersección.
4. El análisis de los datos sobre tránsito, el diseño geométrico y las señales a establecer para una intersección deben ser el resultado de un esfuerzo coordinado, cuyo objeto debería ser de determinar el diseño más simple y el número mínimo de fases que se ajustan a las necesidades, tanto existentes como previstas, del tráfico.

### B. Esquemas Tipicos De Fases

1. Operación en Dos Fases (Cuadro 1)
  - a) Utilizado en intersecciones normales en 4 direcciones con movimientos de cruce moderados y volumen peatonal bajo.
  - b) Cruces a la izquierda en conflicto con el tránsito que viene en dirección opuesta y con calles de doble vía.
  - c) El tránsito de cruce hacia la derecha y la izquierda en conflicto con el flujo peatonal.
2. Operación en Tres Fases - Donde se maneja la mayor parte del tráfico de calle en fases diferentes (cuadro 2).
  - a) Puede usarse en una calle principal donde hay gran demanda por cruce hacia la izquierda de parte de una o ambas direcciones y anchura inadecuada de pavimentación para proveer una vía de cruce a la izquierda.

b. No es eficiente como operación para calles con varias vías y reduce la capacidad y aumenta la tardanza.

3. Operación en Tres Fases - Con fase de cruce a la izquierda por separado (Cuadro 3).

a) Util, donde se puede proveer vías medias o desvíos para el cruce hacia la izquierda (calles con un número impar de vías, o una vía adicional que se obtiene quitando el estacionamiento en los accesos a las calles principales).

b) Ofrece operación eficiente si los flujos opuestos de cruce hacia la izquierda son más o menos iguales.

c) Reduce o elimina el cruce hacia la izquierda y la parte de atrás está en conflicto con vías principales.

4. Luces verdes de avance o de Retardo - Luces adelantadas o retrasadas (cuadros 4a y 4b).

a) Una operación en fase dividida en la cual la luz verde para una dirección es más larga que la luz verde para la dirección opuesta.

b) Utilizado en calles principales donde hay un flujo de tránsito desequilibrado, más que todo derecho y donde el volumen cruzando a la izquierda va en una dirección.

c) Flecha verde en círculo verde aparece durante el intervalo adelantado o retardado para indicar que se puede cruzar sin conflicto con la dirección opuesta.

d) Más eficiente, si se puede ofrecer vías separadas de cruce a la izquierda sin reducir el número de vías libres.

5. Luz verde de avance-retraso (cuadro 5)

a) Puede usarse donde hay tráfico pesado de cruce hacia la izquierda en cada dirección en calle principal, durante diferentes períodos del día.

b) Puede ser el tipo más efectivo de operación si es usado con un equipo de "fase por salto".

- c) Usar con cuidado - puede ser extremadamente confuso para conductores y peatones.
  - d) Hay que ofrecer vías de cruce a la izquierda por separado.
  - e) Puede ser útil en un sistema coordinado para ofrecer mejor progresión entre intersecciones.
6. Operación en Cuatro Fases - Cruces a la izquierda opuestos (Cuadro 6)
- a) Utilizado en intersección de rutas principal-principal con varias vías.
  - b) Ofrece máxima eficiencia y conflictos mínimos para intersecciones de gran volumen con movimiento de cruce pesado.
  - c) Hay que ofrecer vías de cruce a la izquierda, simples o dobles, hacia el medio en todos los accesos.
  - d) Más apropiado para control puesto en acción con detección de todos los movimientos.
7. "Quad" izquierda - Operación en ocho fases (Cuadro 7)
- a) Igual que el Esquema 6
  - b) Permite la omisión de fases o selección de fases alternadas dependiendo de la demanda del tránsito.
8. Superposición en cuatro fases para intercambios en "diamante" o carreteras divididas (Cuadro 8).
- a) Ofrece movimiento casi continuo entre un par de intersecciones con señales para movimientos libres y movimientos de cruce.
  - b) Reduce a un mínimo el retraso o la formación de colas de vehículos entre las intersecciones.
  - c) Las señales con figuras múltiples pueden causarles confusión a los conductores a menos de que se usen controles adecuados para tapar o tornar más visibles las indicaciones de las señales de modo que el conductor solo pueda ver la indicación que le concierne a él.

9. Intersecciones en T - Operación en tres fases (Figuras 9a y 9b)
  - a. Debido a los movimientos pesados de cruce, se requiere normalmente la operación en tres fases en intersecciones en T.
  - b. El número de movimientos diferentes que se resuelven en cada fase depende de la demanda del tránsito y de la geometría de la intersección (número de vías de acceso y de diferentes vías de cruce hacia la izquierda y la derecha).
  - c. Los cruces con movimiento peatonal pesado complican aún más el esquema de fases.
  
10. Intersecciones de compensación - Operación con varias fases.
  - a. Podría usarse muchos esquemas con fases diferentes.
  - b. Difícil para controlar con efectividad los movimientos de vehículos y de peatones.
  - c. Puede usarse tres o más fases.
  
11. Fase exclusivamente Peatonal. - Operación en Tres Fases (Cuadro 10)
  - a. Muchas veces referido como "sistema revuelto" ya que durante la fase peatonal, los peatones pueden usar todos los pasos y caminar en diagonal por las intersecciones.
  - b. Utilizado principalmente en áreas comerciales donde el tránsito extremadamente pesado de los peatones bloquea los movimientos de cruce.
  - c. Puede aumentar la eficiencia de operación en intersecciones de:
    - 1) Calles de una sola vía
    - 2) Calles estrechas con doble vía
    - 3) Calles de compensación (tránsito intermitente)

12. Fase compartida - Operación de Dos Fases en dos tiempos (Figura 11)
  - a. Se usa principalmente en áreas comerciales donde los pasos peatonales extremadamente pesados entran en conflictos con los movimientos de cruce.
  - b. Utilizado en calles anchas de doble vía o en calles de una sola vía.
  - c. Hay que ofrecer vías de cruce hacia la izquierda y/o a la derecha por separado para mantener los vehículos que van a cruzar durante los intervalos de paso peatonal.

APENDICE

ESQUEMAS DE FASES PARA SEÑALES DE TRANSITO

(2)

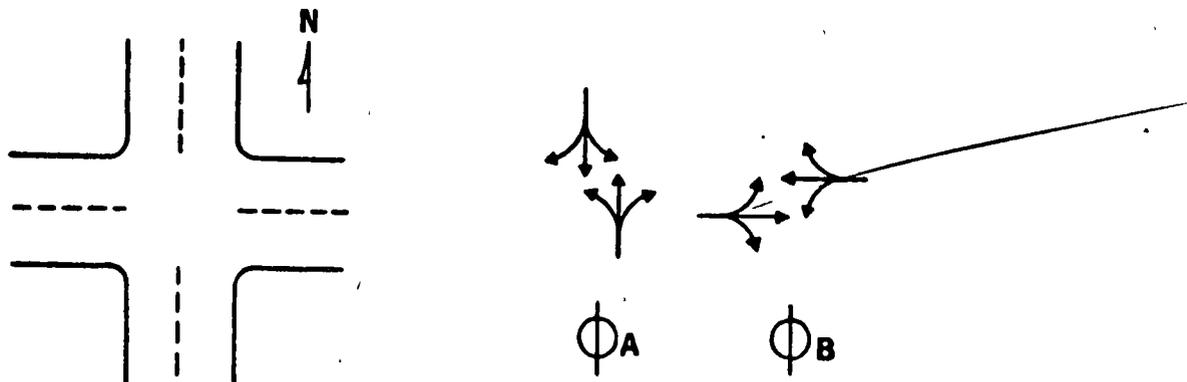


FIGURA 1 - OPERACION EN DOS FASES

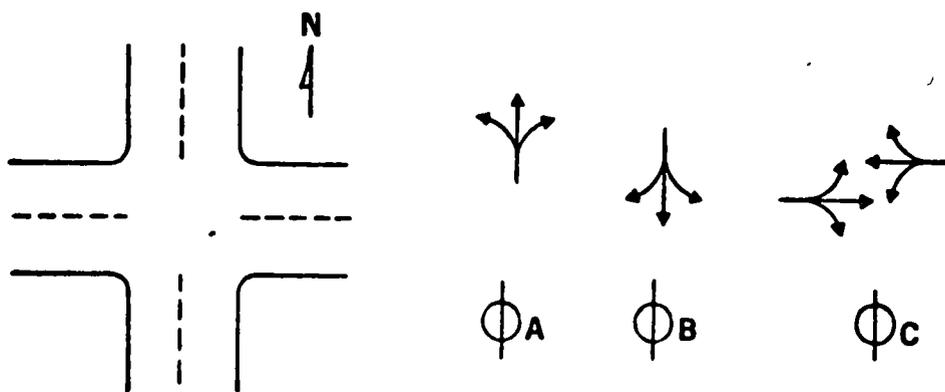


FIGURA 2. - OPERACION EN TRES FASES

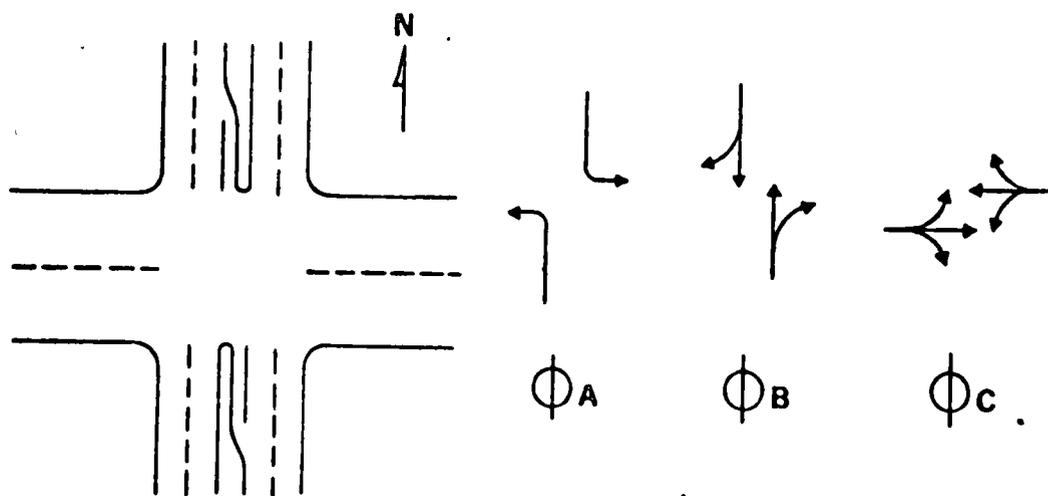


FIGURA 3. OPERACION EN TRES FASES  
(Fase de cruce hacia la izquierda por separado en Calle Principal).

(3)

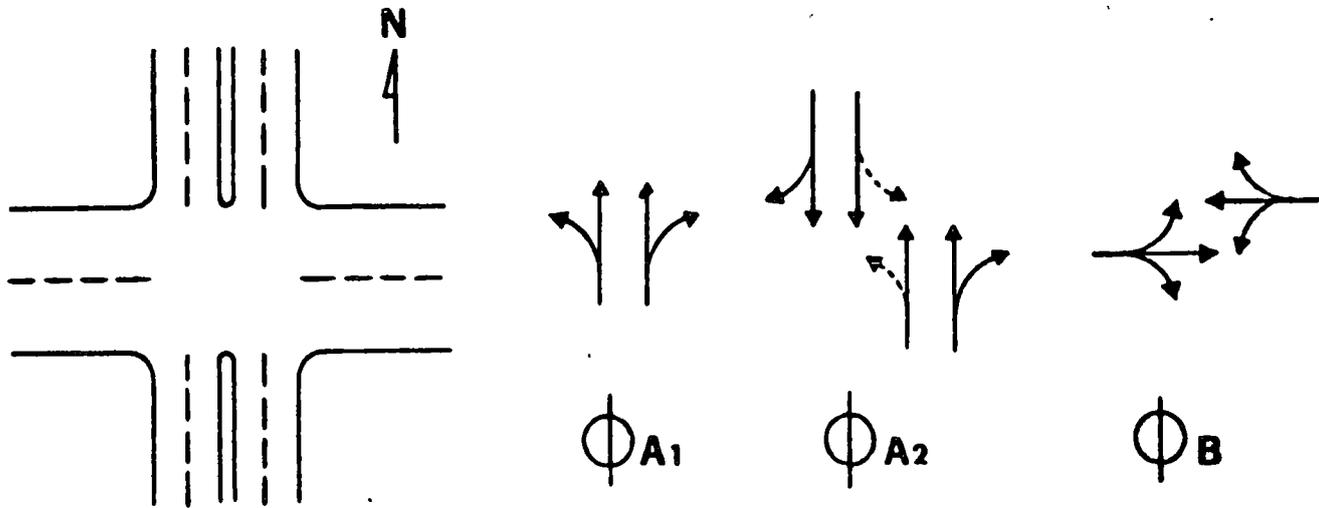


FIGURA 4. - LUZ VERDE DE AVANCE EN CALLE PRINCIPAL

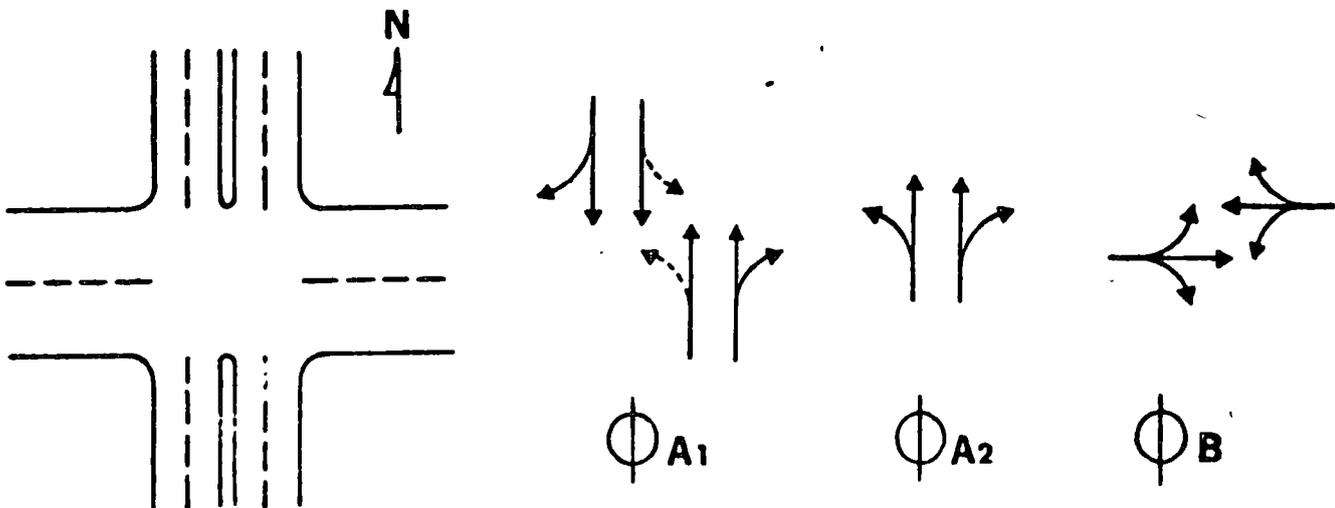


FIGURA 4 b. - LUZ VERDE DIFERIDA O DE RETRASO EN CALLE PRINCIPAL

(4)

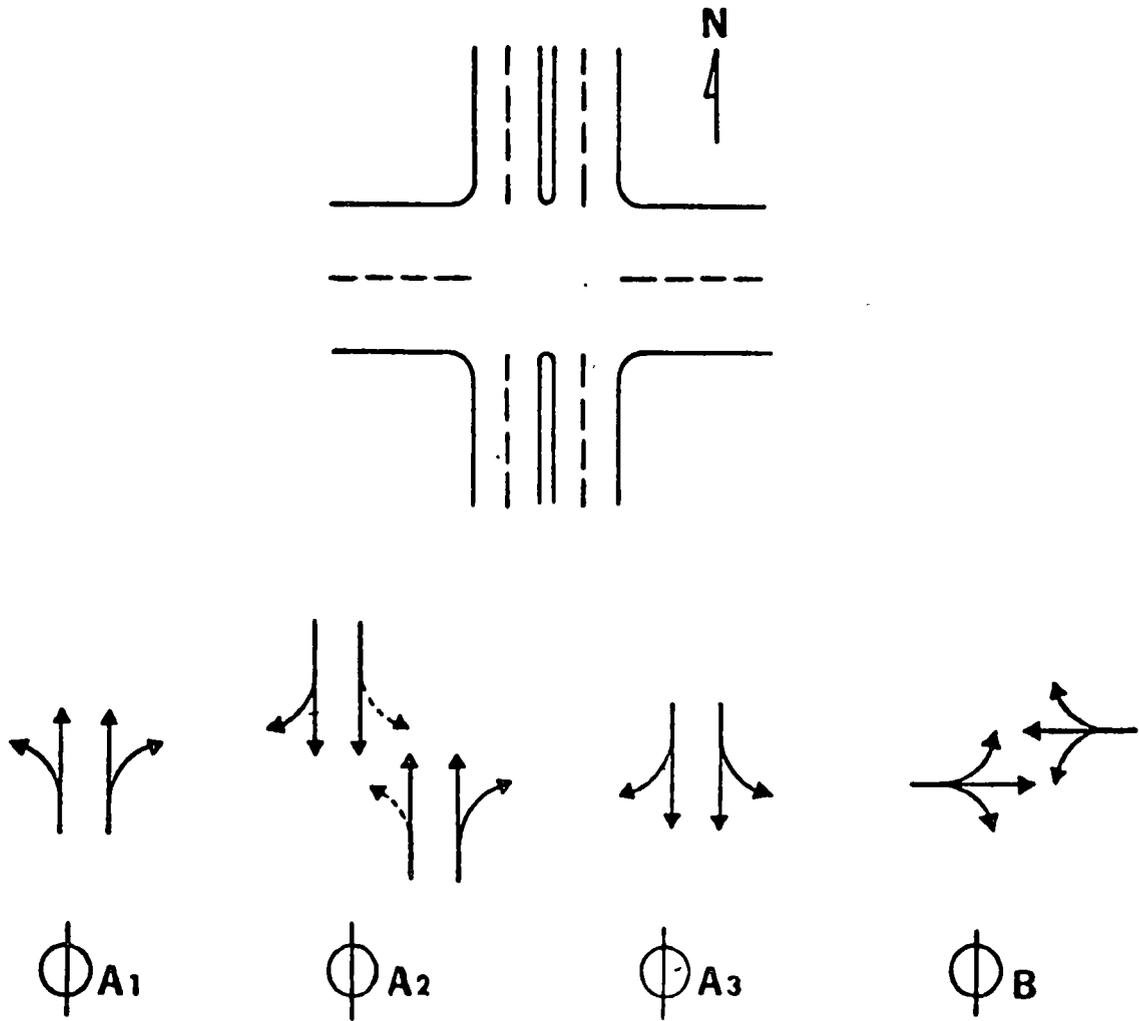


FIGURA 5. LUZ VERDE DE AVANCE/RETRASO EN CALLE PRINCIPAL

(5)

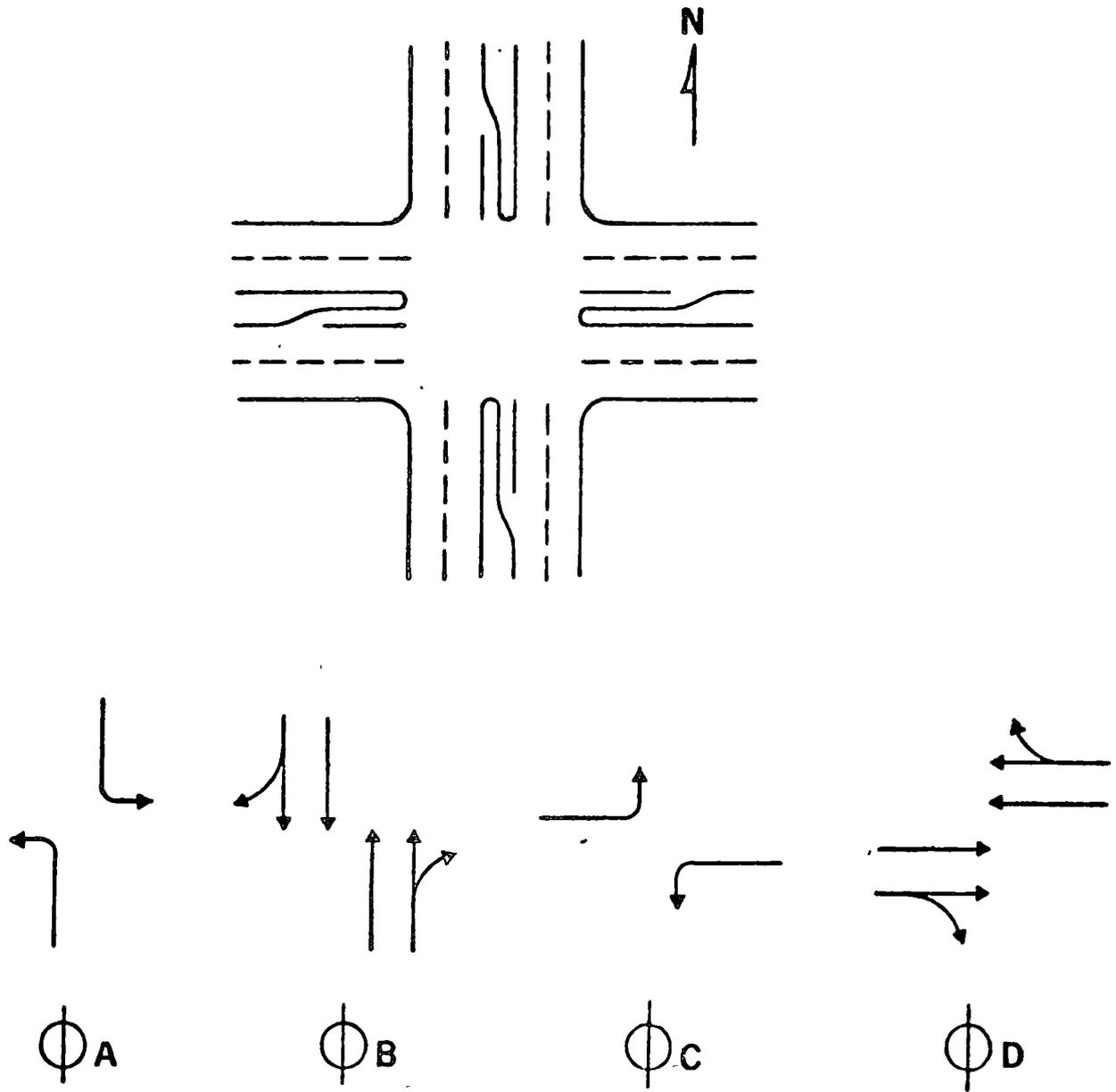


FIGURA 6. OPERACION EN CUATRO FASES OPUESTAS.  
(VIAS/DE CRUCE HACIA LA IZQUIERDA)

(6)

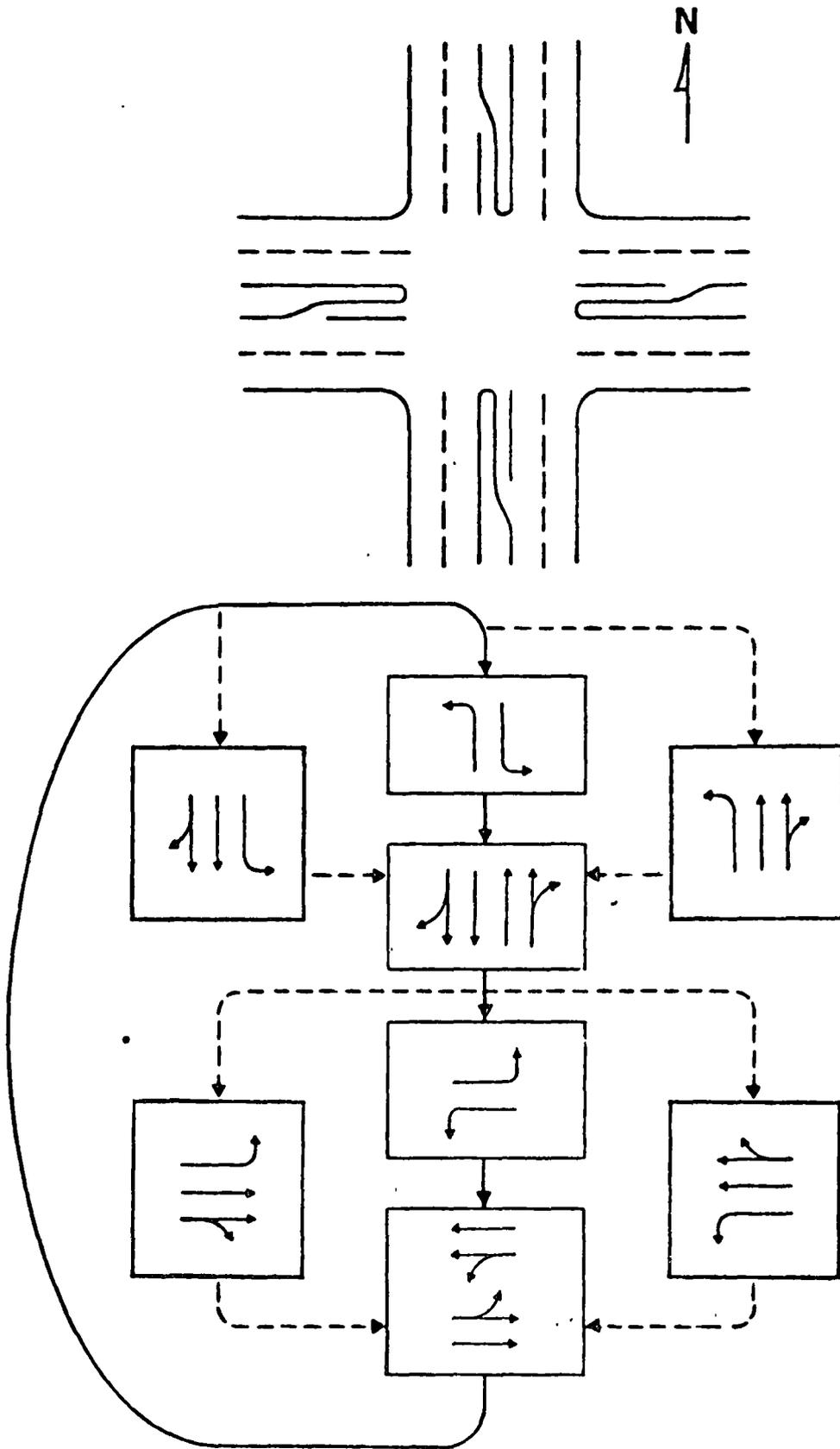


FIGURA 7. OPERACION EN OCHO FASES

215

(7)

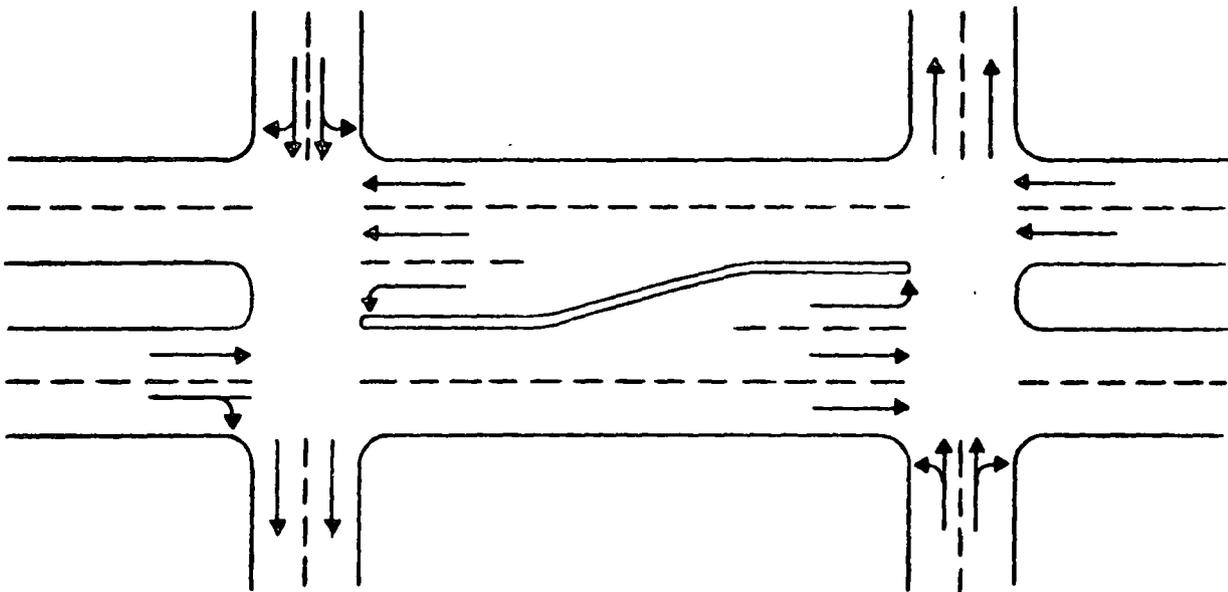
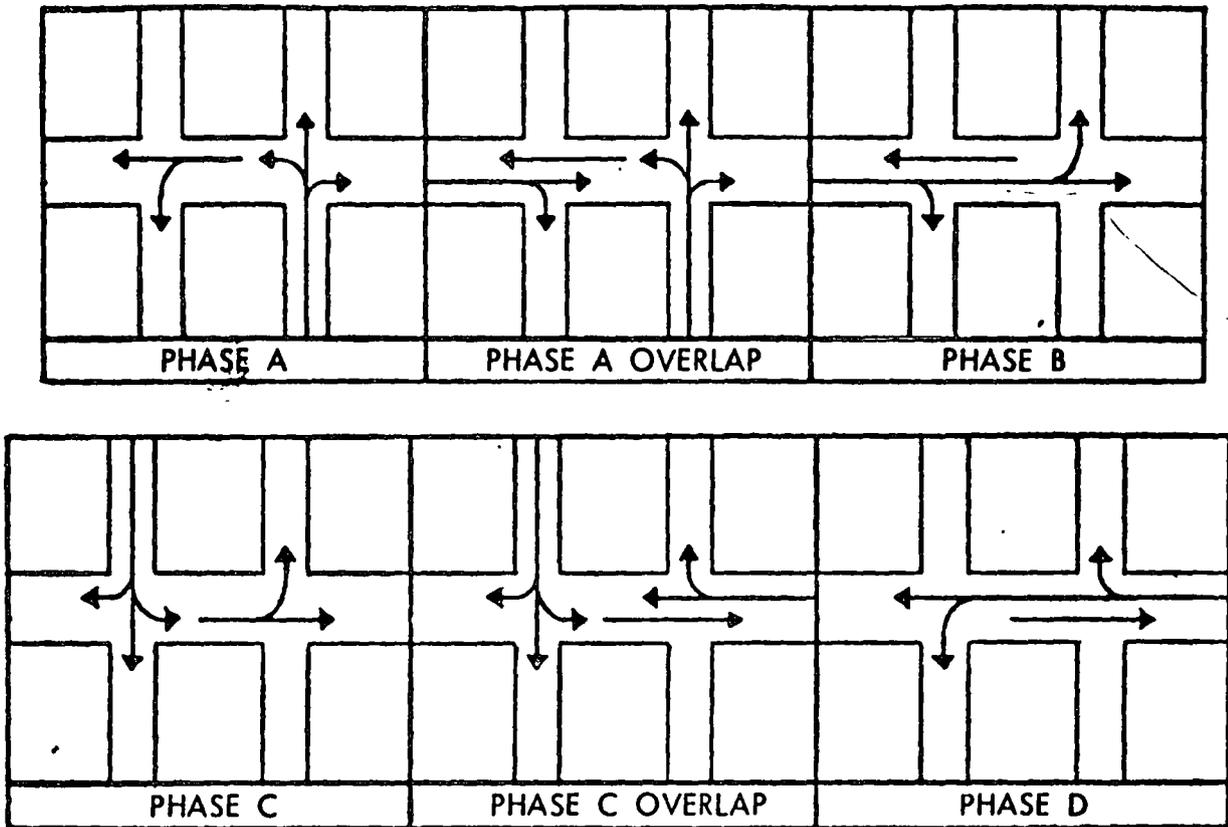


FIGURA 8. SUPERPOSICION EN CUATRO FASES  
(Intercambio en "diamante" o carreteras dobles)

(8)

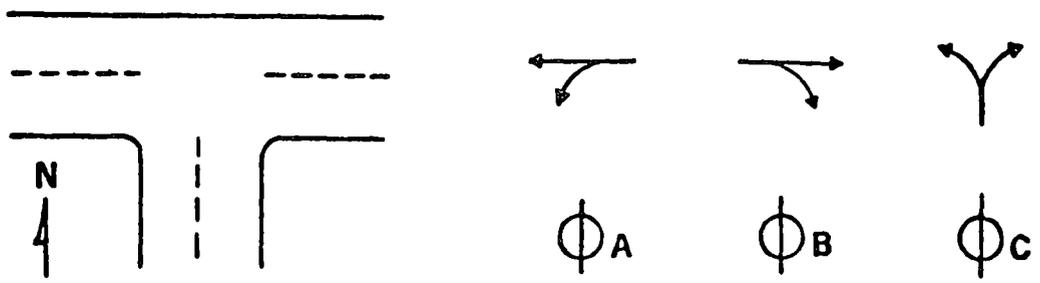


FIGURA 9a. INTERSECCION EN T  
(Acceso en una sola vfa)

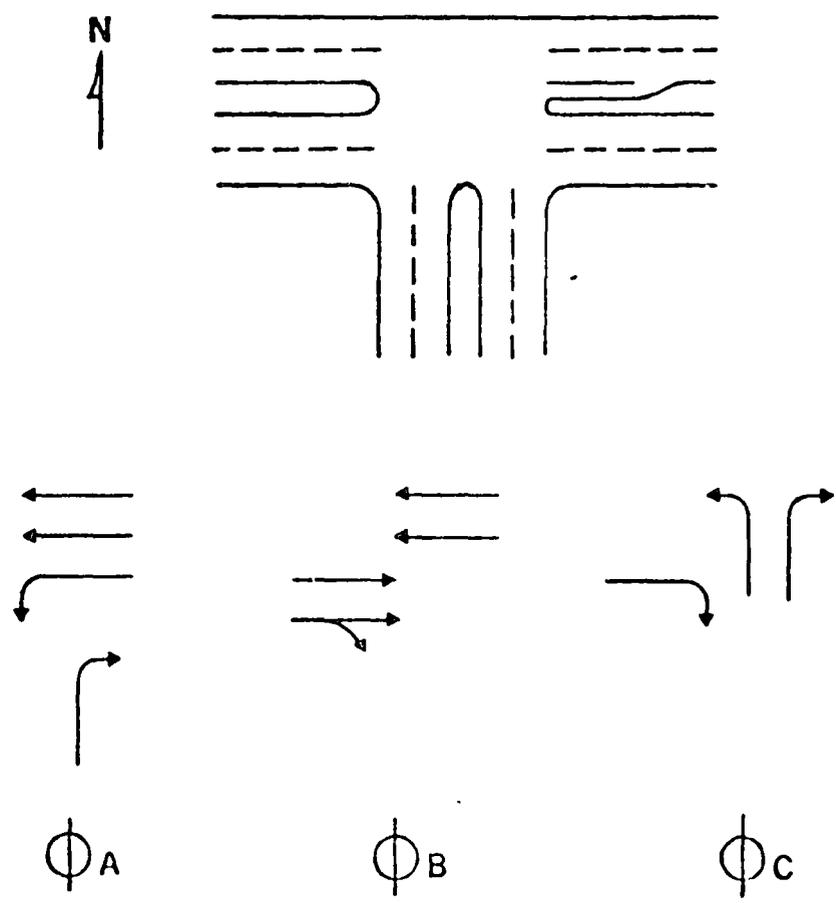


FIGURA 9b. INTERSECCION EN T  
(Acceso de varias vías)

217

(9)

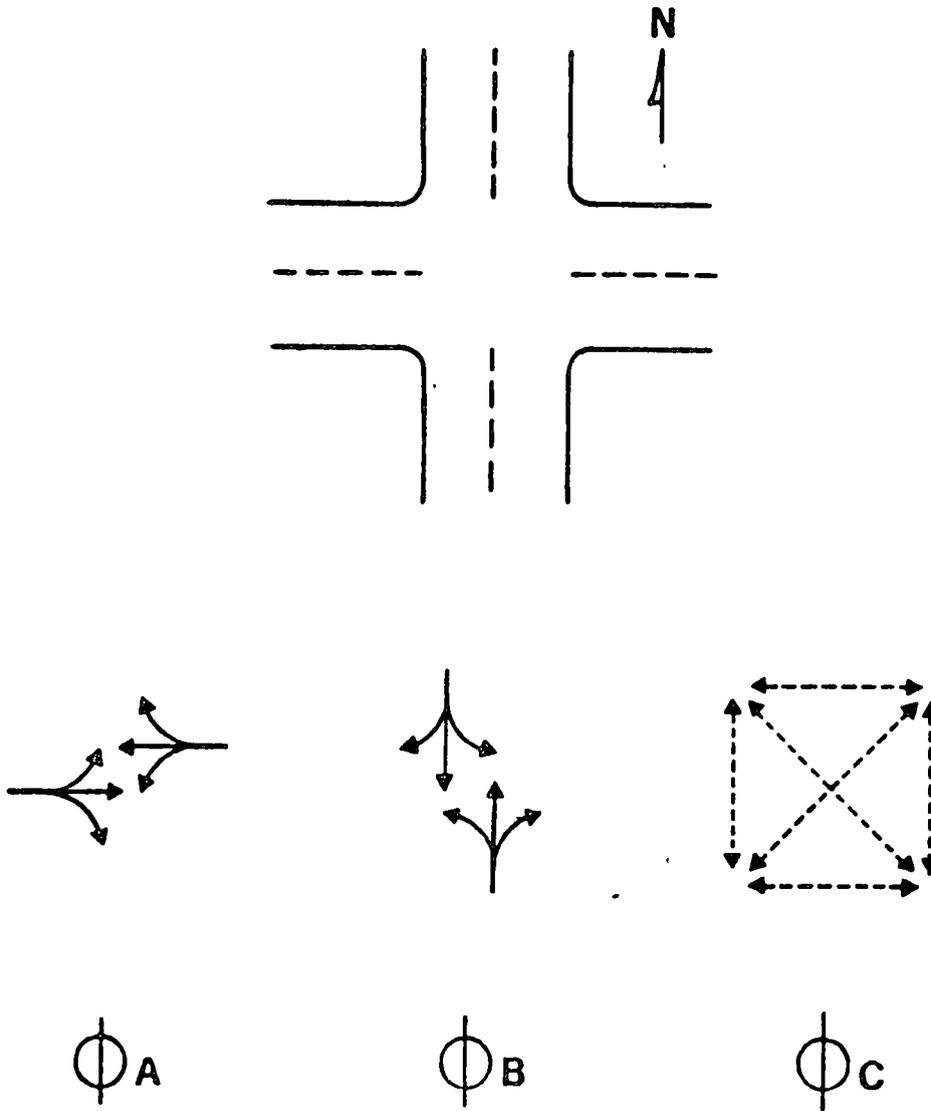


FIGURA 10 - OPERACION EN TRES FASES  
(Fase exclusivamente para Peatones)

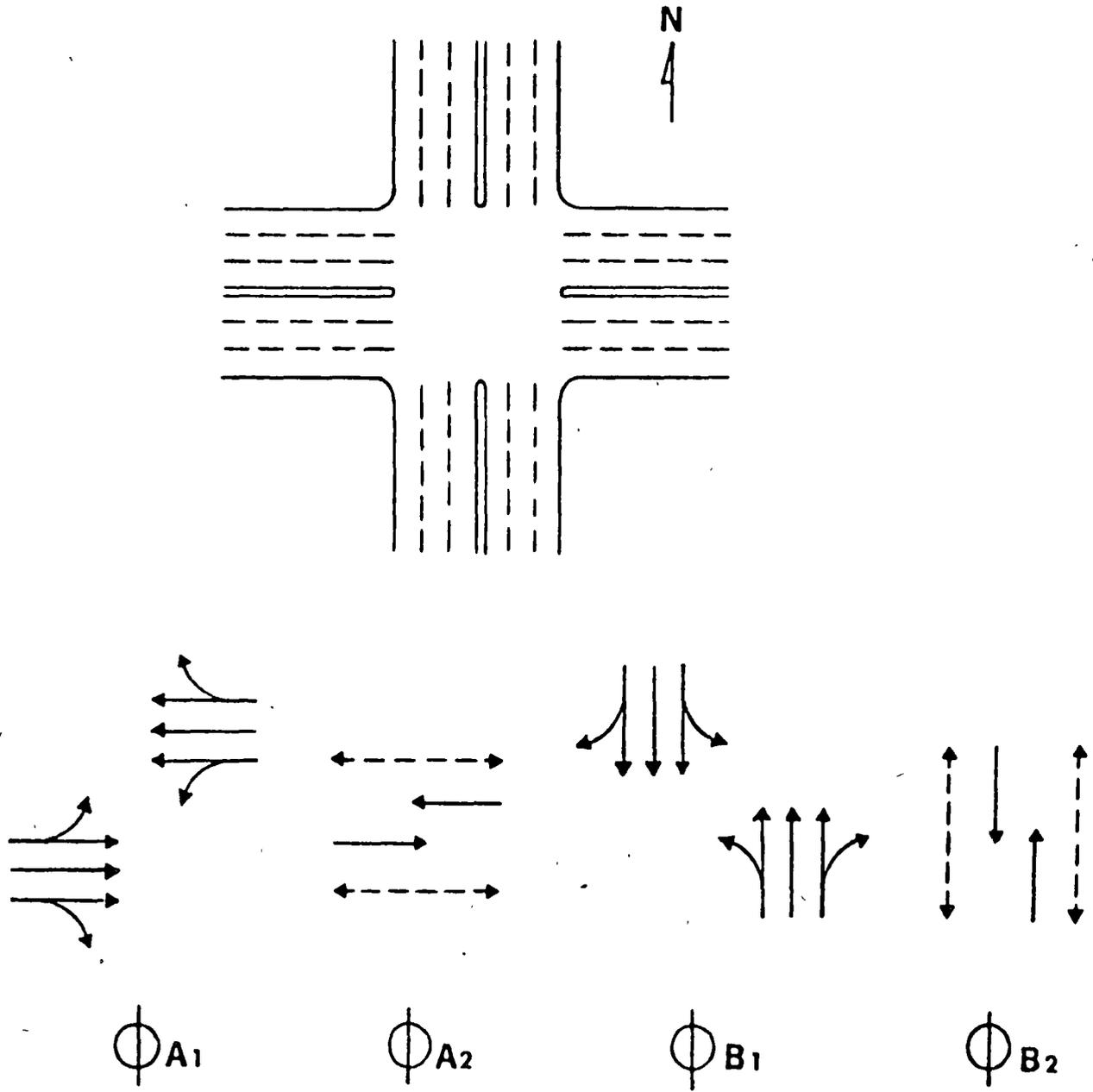


FIGURA 11 - Fase compartida  
(Dos fases de dos tiempos)

ASUNTO - CONTROL DE TRANSITO

TITULO - TIEMPOS DE LAS SEÑALES DE TRANSITO

## TIEMPO DE LAS SEÑALES DE TRANSITO

### A. Principios Guías

"Los ciclos de señales de tránsito en los Estados Unidos son casi universalmente dilatados y gastan demasiado tiempo de luz verde durante las mejores horas del día. Esto parece ser cierto no solo para las operaciones a tiempo fijo, sino también para los tipos actuales de control accionados por el tránsito" (1). El objetivo del tiempo de señales es de asignarle derecho de vía a los movimientos alternativos (fases) del tránsito de manera tal que se reduzca a un mínimo el retraso promedio para cualquier grupo simple de vehículos o de peatones y que disminuya la probabilidad de conflictos resultando en accidentes. Algunos principios guías a usar en el cumplimiento de este objetivo son los siguientes:

1. El número de fases debería mantenerse en un mínimo. Cada fase adicional disminuye el tiempo efectivo de luz verde disponible para el movimiento del flujo de tránsito (aumenta el tiempo perdido en los intervalos necesarios a los automóviles para arrancar y para dejar libre el paso).
2. Los ciclos con lapsos cortos rinden más en tanto que presentan el promedio más bajo de retraso, siempre que no se sobrepasa la capacidad del ciclo para dejar pasar a los vehículos.
  - a) Para operación en dos fases, se recomienda generalmente lapsos cortos (40 a 60 segundos) porque producen el mínimo de retraso.
  - b) Los ciclos con lapsos más largos (más de 60 segundos) permitirán el paso de un mayor número de vehículos por hora (si hay demanda constante durante la duración completa del período de luz verde en cada uno de los accesos). Los ciclos con lapsos más largos tienen una mayor capacidad ya que a lo largo de un período determinado de tiempo, hay una frecuencia mas baja de retraso por intervalo

-----

1. Declaración de: Informe 32, "Improved Criteria for Traffic Signal at Individual Intersections" (Criterios mejorados para las señales de tránsito en Intersecciones Individuales). National Cooperative Highway Research Program (Programa Cooperativo Nacional de Investigación sobre Carreteras)

de arranque o de liberación de la vía).

- c) El ciclo de 120 segundos de lapso debería ser el máximo usado, sin consideración del número de fases. Por encima del ciclo de 120 segundos, el aumento de capacidad es insignificante y hay un aumento rápido en el retraso total.
3. La división del ciclo en intervalos de luz verde será aproximadamente correcta si se hace proporcional a los productos de volúmenes críticos de vía y del promedio de las direcciones que toman los vehículos hacia las calles que forman intersección.
    - a. Si se quiere proveer tiempo para los peatones, habrá que comprobar si cada intervalo de luz verde provee por lo menos el mínimo de tiempo requerido para que los peatones puedan cruzar el acceso a la intersección respectiva.
    - b. En general, ningún intervalo de luz verde debería durar menos de 15 segundos (podría hacerse excepción en el caso de las fases para cruces especiales).
  4. Todos aquellos accesos que traen un volumen pesado de cruces hacia la izquierda deberán ser verificados con respecto a la capacidad del movimiento de cruce a la izquierda, bien sea por una vía separada o no. Si los volúmenes del tráfico viniendo en sentido opuesto son pesados, los volúmenes de cruce hacia la izquierda que sobrepasen los 60 vehículos por hora pueden necesitar una fase por separado.
  5. El intervalo de despeje de la vía (amarillo y/o rojo sobrepuesto) para cada acceso o fase deberá determinarse en base al tiempo que toman los vehículos para detenerse o para dejar libre la intersección.
  6. Puede hacerse una verificación aproximada de lo adecuado del tiempo de ciclo y de los intervalos de luz verde suponiendo como necesarios unos 2.5 segundos por cada vehículo que llega a la vía crítica por cada ciclo. Hay métodos más precisos.

7. Cualquier método teórico para determinar el tiempo de la señal, no importa cuan preciso, es sólo una aproximación de las condiciones del "mundo real". No hay sustituto para el estudio y ajuste en el campo.
8. Si el sitio queda dentro de una distancia de 1/2 milla (800 metros) de otra intersección provista de señal, el lapso del ciclo podrá determinarse por los requerimientos de la coordinación del sistema.

B. Determinación de los Lapsos e Intervalos de los Ciclos

1. Lapso del ciclo

Seleccione el lapso del ciclo en base al número de fases y a los volúmenes de los accesos a la intersección.

- a. En general, la variación de lapso de ciclo será como sigue:

2	fase	40 - 80 segundos
3	fase	60 -100 segundos
4	fase	80 -120 segundos

- b. Una guía más específica para lapsos correspondientes a los ciclos está especificada en la Tabla 1.
- c. Esta aproximación provee un buen punto de partida para seleccionar un lapso aproximado de ciclo. Habrà que llevar a cabo más verificaciones para asegurarse de que el lapso seleccionado para el ciclo es adecuado.

Tabla 1 - Lapso para cada ciclo  
(mínimo)

Número de fases	2°	3°	4°
Volumen (1)			
800	30	40	60
900	35	50	70
1000	40	60	80
1100	45	70	90
1200	50	80	105
1300	60	100	120
1400	80	125	-
1500	110	-	-

d. Suposiciones para la Tabla 1

1) Suma de los volúmenes críticos en la vía por hora en todas las fases. Todos los volúmenes son casi iguales.

2) Basado en las vías de salida siguientes:

Vehículo	1	2	3	4	5	6 y más
Vía de Salida	3.8	3.1	2.7	2.4	2.2	2.1

3) Supone luces amarillas de 3 segundos por cada fase.

4) Los requerimientos de tiempo por ciclo están basados en promedios de números de vehículos por hora, o en un rendimiento asegurado de 50%.

2. Lapso de despeje de la vía.

a. El intervalo de luz amarilla para el despeje advierte a los conductores que su fase ha expirado y que bien sea:

- 1) les permite detenerse con seguridad delante de la línea de "pare", o
- 2) Permite a los vehículos que ya están demasiado cerca de la intersección pasar adelante y dejar la vía libre.

b. La fórmula siguiente puede ser usada para determinar el período mínimo de luz amarilla:

$$y = t + \frac{v}{2a} + \frac{w + L}{v}$$

y = intervalo amarillo contado en segundos.

t = tiempo de percepción y reacción del conductor en segundos

v = velocidad de aproximación en pies por segundo.

a = rata de deceleración en pies por segundo por segundo.

w = ancho de la intersección en pies

L = largo del vehículo en pies.

c. Si se usan valores de  $t = 1$  segundo,  $a = 15$  pies por segundo por segundo, y  $L = 20$  pies, la tabla siguiente dá las cifras necesarias para despejar la vía:

TABLA 2

Velocidad de aproximación. (M.P.H.)	Tiempo mínimo para detenerse o liberar la vía (y) (seg)				
	ancho en pies				
	a = 30	a = 50	a = 70	w = 90	w = 110
20	3.8	4.4	5.6	5.7	6.4
30	3.6	4.1	4.5	5.0	5.5
40	3.9	4.2	4.5	4.9	5.2
50	4.1	4.4	4.7	5.0	5.2
60	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4

- d. Se usan normalmente intervalos amarillos de despeje del orden de 3 a 5 segundos.
- e. Cuando el tiempo total necesario para despejar la vía es en exceso de los 5 segundos, se acompaña generalmente al intervalo amarillo con un otro, todo en rojo.

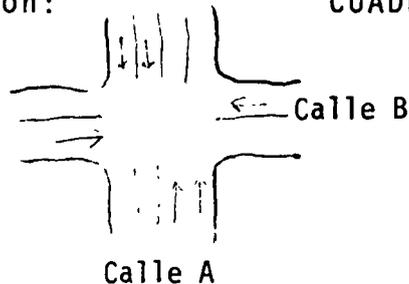
3. Intervalo verde

- a) Al determinar la división del ciclo, los intervalos verdes serán aproximadamente correctos si son hechos proporcionales a los productos de los volúmenes críticos de la vía y direcciones de los vehículos en las calles que hacen intersección. (Cuadro 1).

- b) las formulas básicas son:

CUADRO 1

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{V_a H_a}{V_b H_b} \quad \text{y:}$$



donde:

$$T_a = \frac{V_a H_a}{V_a H_a + V_b H_b}$$

Volumen de la hora diseñada  
Volumen crítico de la vía

$T_b$  &  $T_b$  = Proporción del tiempo de luz verde para calles (o fases) A y B.

$V_a$  &  $V_b$  = Volúmenes críticos de vía de las calles A y B.

$H_a$  &  $H_b$  = Dirección de los vehículos en las calles A y B

$T$  = Tiempo total de luz verde disponible.

- c. Después de seleccionar el lapso del ciclo y los intervalos de despeje, debería usarse las formulas siguientes:

$$G_a = \frac{V_a H_a}{V_a H_a + V_b H_b} (C - Y_a - Y_b)$$

$$G_b = \frac{V_b H_b}{V_a H_a + V_b H_b} (C - Y_a - Y_b)$$

$G_a$  &  $G_b$  = intervalo de luz verde en segundos calculados por las calles A y B

$V_a$  &  $V_b$  = volumenes críticos de vfa en las calles A y B.

$H_a$  &  $H_b$  = dirección de los vehculos en las calles A y B

$Y_a$  &  $Y_b$  = intervalo de despeje en segundos en las calles A y B (amarillo y todo rojo)

$C$  = lapso del ciclo en segundos

4. Tiempo mínimo de luz verde para Peatones.

- a). El Manual sobre Instrumentos de Control de Tráfico Uniforme requiere que los peatones tengan asegurado un tiempo de luz verde y amarilla suficiente para permitirles pasar.

- b) Si los peatones caminan según la indicación dada por la luz verde o por la indicación "Pase", el intervalo mínimo de luz verde se determina con la formula siguiente:

$$G = 7 + \frac{D}{S} - Y$$

$G$  = tiempo mínimo de luz verde en segundos

$D$  = distancia a caminar en pies

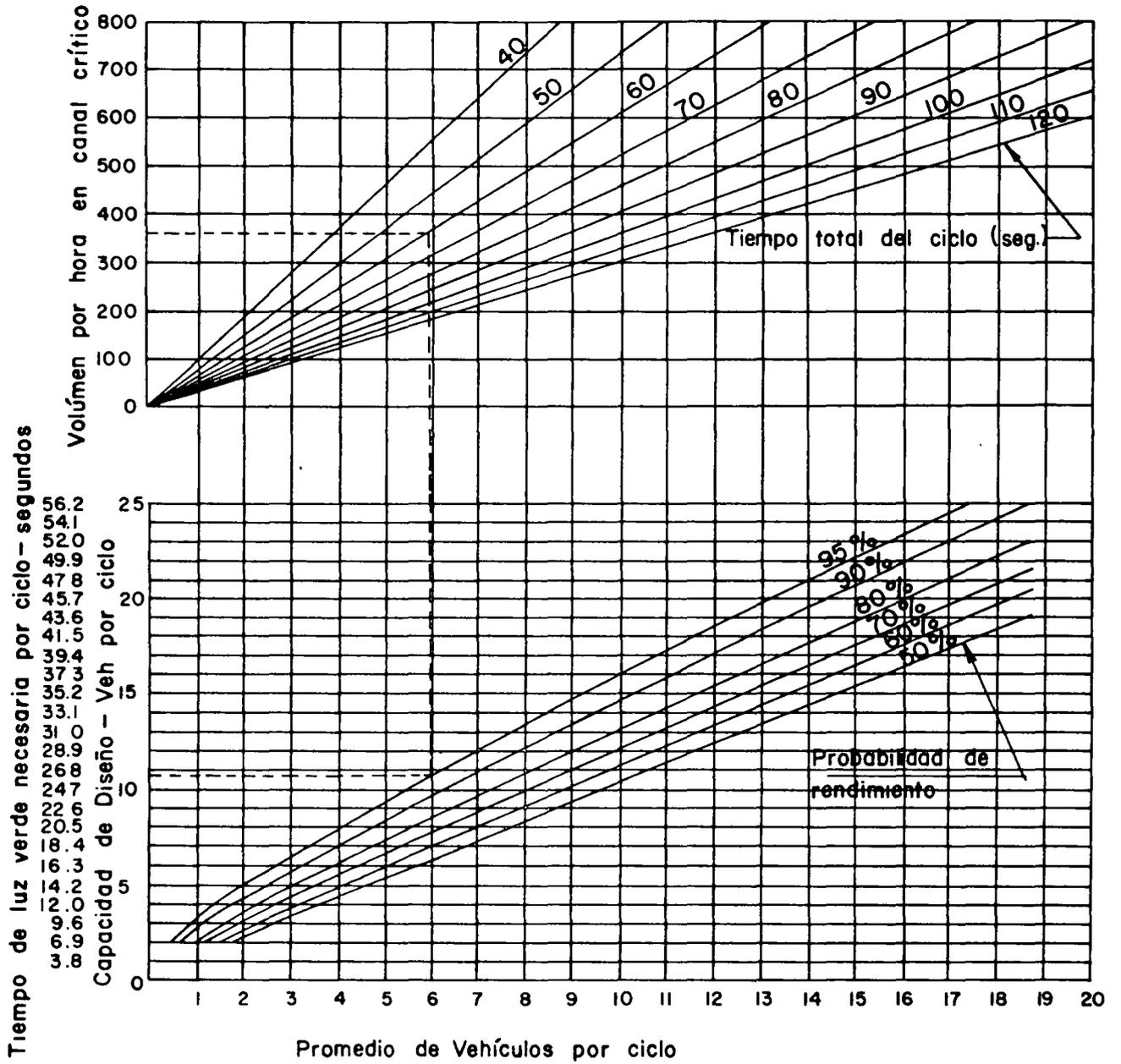
$Y$  = intervalo de luz amarilla en segundos

$S$  = velocidad del caminante en pies por segundo (normalmente 4 pies por segundo)

5. Verificación del lapso del ciclo

- a. Ejecute los pasos 1 - 4 descritos anteriormente.
- b. Use los diseños de curvas de las probabilidades de capacidad del ciclo (Esquema 1)
  1. Incluya el nomógrafo arriba a la izquierda con volumen crítico de la vía para un acceso o fase.
  2. Dibuje una línea horizontal que haga intersección con la línea de ciclo seleccionada, describa un ángulo recto y dibuje una línea vertical hasta hacer intersección con las líneas de probabilidad de rendimiento.
  3. Vuelva a penetrar el nomógrafo por la parte de abajo a la izquierda con el tiempo de luz verde para el acceso o fase y dibuje una línea horizontal que haga intersección con las líneas de probabilidad de rendimiento.
  4. De la intersección de las dos líneas dibujadas, léase la probabilidad de rendimiento para el acceso o fase. Si la probabilidad es de 50% o mas, el lapso de la fase (el tiempo de luz verde) es adecuado.
  5. Repita el mismo procedimiento para todos los accesos o fases.
  6. Si uno o más de los accesos o fases críticos no presenta una probabilidad de 50% o más, puede escogerse entre tres alternativas.
    - a. Seleccionar un lapso de ciclo mas largo y volver a computar.
    - b. Seleccionar un esquema de fase diferente y volver a computar.
    - c. Hacer cambios geométricos u operacionales en los accesos a la intersección para aumentar la capacidad.

# CAPACIDAD DEL CICLO CURVAS PARA EL DISEÑO



CUADRO I

ASUNTO           CONTROL DE TRANSITO  
Título           ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE LAS SEÑALES  
                  DE TRANSITO UTILIZANDOSE CURVAS DE PROBABILIDAD.

---

Trabajo preparado por:

Bruce M. Davidson  
Asistente al Decano  
Escuela de Ingeniería  
Universidad de Wisconsin

Publicado en Traffic Engineering,  
Noviembre 1961

Incorporado al Traffic Engineering Handbook  
(Manual de Ingeniería de Tránsito)  
1965

Capítulo II, Señalización del Tránsito

TIEMPO DE LAS SEÑALES DE TRANSITO UTILIZANDO CURVAS  
DE PROBABILIDAD.

Por Bruce M. Davidson  
Asistente al Decano, Escuela de Ingeniería  
Universidad de Wisconsin

Al seleccionar el tiempo apropiado para el ciclo de los volúmenes conocidos de tránsito que llegan a una intersección es muchas veces inconveniente utilizar tablas de las cuales se establecerá el tiempo de luz verde requerido para desarrollar una confiabilidad de rendimiento. Ya que la selección se hace por el método de prueba y error los medios gráficos de solución pueden apresurar el proceso de selección.

Ya que el diseño de volúmen de tránsito, cuando se divide por el número de ciclos por hora, sólo dá el número promedio de vehículos por ciclo, es necesario inyectar un factor que aumentará la confiabilidad del rendimiento a más de 50%. Con el uso de datos estadísticos basados en la serie de Poisson puedese predecir la probabilidad de que  $X$  o más vehículos se acumularán dentro de un intervalo promedio determinado.

Generalmente, si posible, se prefiere un 95% de confiabilidad. Es decir que el diseño del sistema de señales debería ser tal que se asigne tiempo de luz verde suficiente a los movimientos del tránsito para que en 19 de cada 20 ciclos la intersección esté despejada de todos los vehículos que llegaron a la in-

tersección durante el ciclo. Sin embargo, en algunos casos donde el tráfico es pesado o el tiempo para la señal esté predeterminado para integrar la intersección en un sistema de señales existente, puede no ser posible mantener diseños de tipo normal que permitan un 95% de confiabilidad. Allí donde el tiempo del ciclo está predeterminado, el tiempo de luz verde puede dividirse de manera a proveer el máximo de eficiencia bajo las condiciones del problema.

El Cuadro 1 muestra gráficamente la relación entre el promedio del volumen de tráfico por hora, el lapso del ciclo, y el tiempo necesario de luz verde (en segundos) dependiendo de la confiabilidad deseada o del nivel de probabilidad. Por ejemplo, un volumen de 360 vehículos por hora por una intersección que requiere un ciclo de 60 segundos necesitaría, en promedio, un lapso de luz verde suficiente para dejar pasar seis vehículos. Sin embargo, el número de vehículos que llegan a una intersección durante un ciclo completo varía y por consiguiente será necesario considerar la probabilidad de que se formen colas de más de seis vehículos en esa intersección. Esos vehículos que formarán cola más allá de los seis vehículos sufrirán retraso a menos de que se extienda el tiempo de luz verde. Usando curvas de probabilidad será posible asegurar el tiempo requerido de tiempo de luz verde para solucionar esas colas de tamaños diferentes. En el ejemplo, si se asignara 26.8 segundos de tiempo de luz verde, permitiría el paso de once vehículos. Se formarían entonces colas de más de once vehículos solamente en un 5% del

tiempo y por lo tanto el tiempo de luz verde asignado permitirá a la intersección estar despejada de vehículos con retardos de menos de un ciclo en un 95% del tiempo.

A continuación damos problemas típicos que se solucionan usando el cuadro 1:

Problema #1. Siendo: 400 veh/hr en dirección E-O. 300 veh/hr en dirección N-S. Si se requiere utilizar un ciclo de 60 segundos, cual es el porcentaje de eficiencia de la intersección?

Solución: Utilizando el cuadro 1, seguir hacia la derecha por la línea de 400 v/hr y luego hacia abajo desde el punto donde forma intersección con la línea del ciclo de 60 segundos hasta la línea de probabilidad de 95% y luego hacia la izquierda hasta el requerimiento promedio de tiempo de luz verde que por casualidad es de 28.9 segundos. Siguiendo el mismo procedimiento para el volumen de 300 v/hr encontramos que 24.7 segundos de luz verde es lo que disponemos. Si se le agregan 6 segundos de luz amarilla para liberar la vía en la intersección (3 segundos por cada fase) el total es de 59.6 segundos. Esta intersección puede por lo tanto funcionar con un ciclo de 60 segundos con volúmenes de tráfico divididos en 400/300 veh/hr con una confiabilidad del 95% utilizando el tiempo arriba indicado.

Problema #2. Siendo: El tránsito en Problema #1 es aumentado a 500 y 400 veh/hr. (es evidente que un ciclo de 60 seg.

no podrá producir una confiabilidad de 95% en este caso). Encontrar la confiabilidad para estas condiciones. Penetre el gráfico por la línea de 500 veh/hr y luego baje desde el punto de intersección con la línea del ciclo de 60 segundos hasta la línea de 28.9 segundos (véase los resultados del Problema N°1) es interceptada. Este punto cae a medio camino entre las curvas de 80% y de 90% estimandose en 85%. Para los 400 veh/hr el punto de intersección en la línea de 24.7 segundos también cae en aproximadamente en la curva de 85%. La confiabilidad por lo tanto es de 85% en ambas direcciones.

**Problema #3.** Siendo: Los volúmenes en el Problema N°2 son aumentados a 600 y 500 veh/hr. Cual es la confiabilidad del rendimiento?

**Solución:** El punto de intersección cae ahora en 70% y 65% de las curvas respectivamente. Por lo tanto, al aumentar los volúmenes con lapsos fijos de ciclo, disminuyen las tasas de confiabilidad.

**Problema #4.** Resuelva el Problema N° 2 estableciendo un 95% de confiabilidad como requerimiento.

**Solución:** Suponer un ciclo de 70 segundos y repetir el proceso. El tiempo de luz verde necesario para dejar pasar 500 y 400 vehículos es de 36.2 y 31.0 segundos, respectivamente. Después de agregarles seis segun-

dos de luz amarilla para dar tiempo de despejar la vfa, se nota que se requieren 73.2 segundos. Ya que solamente se dispone de 70 segundos, la solución no es aceptable. Al suponer un ciclo de 80 segundos los tiempos requeridos llegan a ser de 40 u 34 segundos los cuales, cuando sumados con los seis segundos de luz amarilla, hacen un total de 80 segundos. Por lo tanto, un ciclo de 80 segundos permitirá solucionar el paso de 500 y 400 veh/hr con un 95% de confiabilidad.

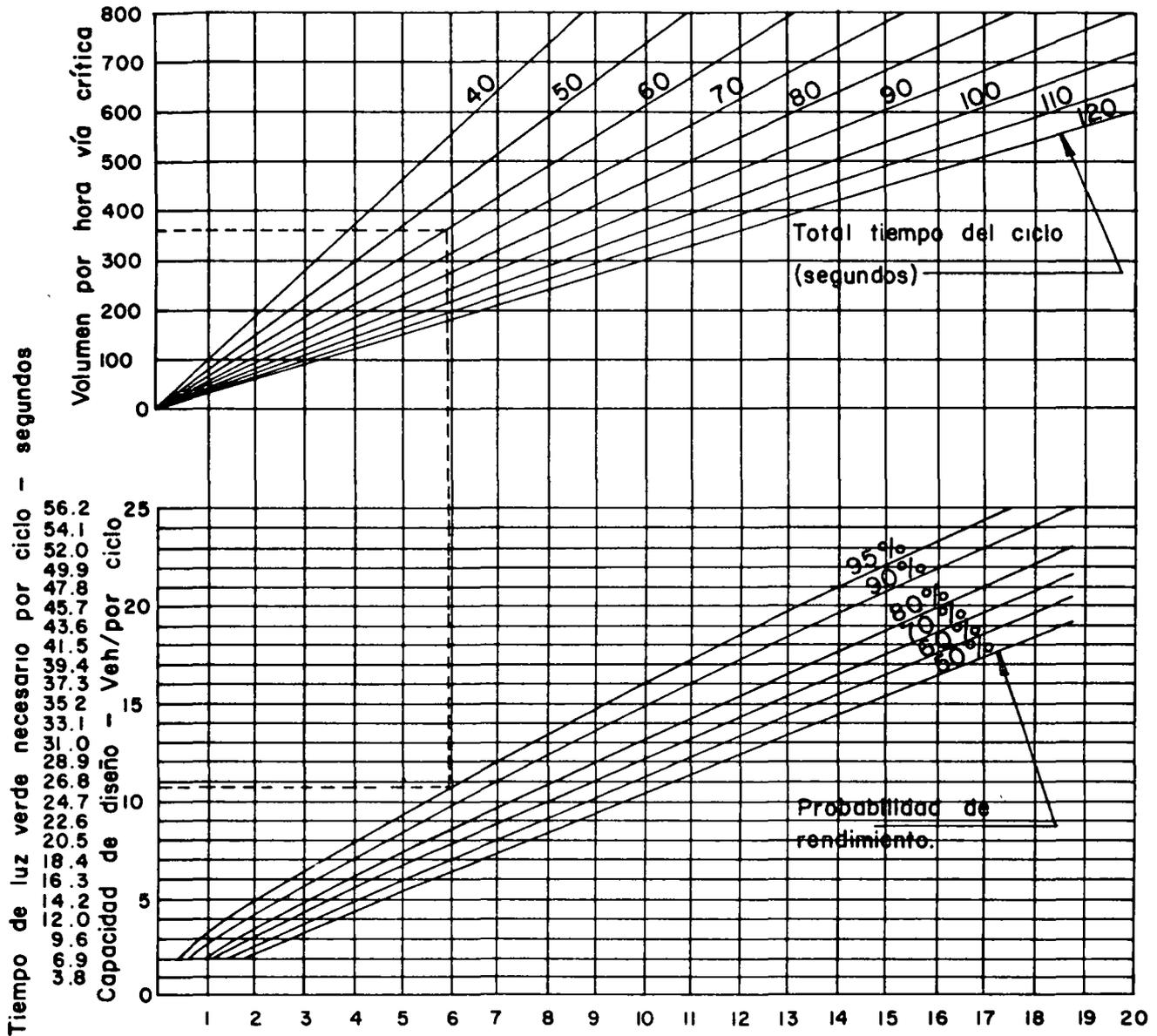
En algunos casos, donde los volúmenes de tránsito en cuestión son bajos, es importante recordar que el peaton puede ser el factor de control para decidir la cantidad de luz verde requerida. (Los peatones necesitan tiempo a una rata de aproximadamente .25 segundos por pie ancho de calle más 4 segundos para despejar la acera). Pero tampoco es necesario buscar el mismo grado de confiabilidad en cada caso. Si en el Problema #3, los volúmenes del tráfico fueran de 700 y 300 veh/hr. y si se considerara 95% y 70% de confiabilidad como límites aceptables, la solución de este ejemplo para un ciclo de 60 segundos tendrá que ser 41.5 segundos en la calle principal, lo que deja 13.5 segundos para la calle que cruza con 6 segundos de luz amarilla para el despeje. Dependiendo del ancho de la calle

principal puede ser que 16.5 segundos (13.5 de luz verde + 3 seg. de luz amarilla) podrán ser insuficiente para que un peaton pueda cruzar la calle. Si se selecciona un ciclo de 70 segundos, las asignaciones de tiempo aumentan a 46.5 y 17.5 segundos respectivamente. Esto debería ser lo bastante para dar tiempo adecuado a los peatones.

Otro punto. La gráfica suministra un método excelente para establecer los tiempos de señales independientes para volúmenes de tráfico que fluctúan durante el día. Es posible desarrollar una confiabilidad de 95% para el tránsito de la calle principal con la reducción de la confiabilidad para la calle secundaria que puede ser menos crítica durante las horas de afluencia máxima y proveer un nivel igual de confiabilidad durante las demás horas cuando puede ser que el tránsito de la calle secundaria sea tan importante como el tránsito de la calle principal. En el Problema #3, el volumen de una calle principal con 700 vehículos/hr. puede solucionarse con un 95% de confiabilidad si se fija la confiabilidad para la calle secundaria en un 70%. Durante las demás horas del día los volúmenes serán diferentes y el ciclo de 70 segundos podrá ser dividido para dar la misma consideración en términos de confiabilidad a ambos flujos de tránsito como se le asignó en el Problema #2.

Este trabajo fué publicado originalmente en Traffic Engineering noviembre, 1961, y fué incorporado en el Manual de Ingeniería de Tránsito (Traffic Engineering Handbook, capítulo II, Señalización de Tránsito).

# CURVAS PARA EL DISEÑO DE PROBABILIDADES DE CAPACIDAD DE CICLOS



CUADRO I





CROUSE-HINDS®

CROUSE HINDS DOMEX, S. A. DE C. V.



TOMO II



ASUNTO CONTROL DE TRANSITO  
TITULO PROCEDIMIENTO WEBSTER PARA DETERMINAR EL  
ESTABLECIMIENTO DE SEÑALES.

Resumen de Informes de Investigación

1. Investigación de Carreteras - Trabajo de  
Investigación N° 39 (1958

Establecimiento de Señales de Tránsito por:

F. V. Webster

Road Research Laboratory (Laboratorio  
de Investigaciones sobre Carreteras)  
Londres - Inglaterra

2. La Selección de un lapso de Ciclo para Señales  
de Tránsito con Tiempo Fijo, por:

A. J. Bone, B. V. Martin y T.N. Harvey  
Informe de Investigación N°R62-37 (No-  
viembre 1962)

Departamento de Ingeniería Civil  
Instituto Tecnológico de Massachussetts (MIT  
Cambridge, Mass.

1. DETERMINACION DE SEÑALES POR EL METODO WEBSTER

A. Criterios Preliminares

1. Dirección de los Vehículos Entrando a la Intersección.

- a. Cuando la señal se torna verde hay generalmente un tiempo de retraso de salida, al cual siguen lapsos casi iguales entre automóviles.
- b. La secuencia promedio de direcciones para vehículos de pasajeros después que la luz verde se prendió (sin que haya movimiento de cruce) aparece en la tabla siguiente:

<u>Posición en la línea</u>	<u>Tiempo de luz verde</u>	<u>Tiempo necesario para flujo continuo</u>	<u>Tiempo de arranque acumulado</u>
1	3.8 SEG.	2.1 SEG.	1.7 SEG.
2	3.1	2.1	1.0
3	2.7	2.1	0.6
3	2.4	2.1	0.3
5	2.2	2.1	0.1
6 y más	2.1	2.1	0.1

- c. Esta secuencia indica dos componentes de tiempo: el tiempo perdido empezando a moverse el tránsito, y una rata casi constante de flujo saturado en una dirección con un tiempo de 2.1 segundos.
- d. Con referencia a la tabla arriba indicada si todos los vehículos hubiesen adelantado con 2.1 segundos de intervalo, el tiempo necesario para que los 5 primeros vehículos pasaran hubiera sido de  $2.1 \times 5 = 10.5$  segundos, pero en realidad fué de 3.7 segundos o más. Este retraso real de salida, será necesario al empezar cada una de las fases en luz verde. La combinación de estos dos componentes de retraso de tiempo y de flujo de tiempo es primordial en el establecimiento de los tiempos para las señales de tránsito y para la evaluación de su rendimiento.

2. Volumenes de Vehículos Equivalentes

- a. Para poder utilizar las formulas basadas en unidades móviles para pasajeros, el efecto de los cruces y de vehículos comerciales se contará sumando unidades equivalentes de pasajeros.

b. Efecto de los Movimientos de Cruce

1. Vehículos cruzando a la izquierda tomarán más tiempo para despejar la intersección que los que siguen derecho cuando hayan otros vehículos bloqueando su paso. Ellos también bloquearan los vehículos que vienen en su propia vía a menos que haya espacio suficiente en la intersección para que los vehículos que siguen en línea recta puedan pasar los cruces hacia la izquierda que estarán interrumpidos. La cantidad de bloqueo depende de los volúmenes en la vía (o vías) opuestas. Un estudio sometido por Greenshields daba un valor promedio de 1.3 segundos a sumarse al tiempo de luz verde para cada cruce hacia la izquierda (incluyendo aquellos viniendo de direcciones opuestas) entrando en la intersección durante la misma fase de luz verde. Si suponemos que el espacio de tiempo de los vehículos que siguen derecho, sin contar el retraso de arranque, es de 2.1 segundos por vehículo, entonces si un cruce a la izquierda requiere 1.3 segundos más, su dirección será de  $2.1 + 1.3 = 3.4$  segundos o  $3.4/2.1 = 1.6$  veces el de los vehículos siguiendo derecho. Por lo tanto, cada vehículo que cruce a la izquierda será considerado equivalente a 1.6 vehículos siguiendo derecho.
2. Los vehículos que cruzan a la derecha necesitarán más tiempo de luz verde si el radio de cruce a la derecha es agudo, o sea, de 50 pies o menos. Por ejemplo, para un radio de 20 pies (el radio mínimo de un vehículo que cruza es de 30 pies) y una velocidad de cruce de 15 mph. el tiempo adicional por cruce a la derecha es de aproximadamente 1 segundo. Este incremento, cuando sumado a la dirección de una unidad de 2.1 segundos para los vehículos siguiendo derecho da 3.1 segundos por cruce a la derecha, equivalente a  $3.1/2.1 = 1.4$  vehículos de pasajeros siguiendo derecho.

c. Efecto de los Vehículos Comerciales

1. Por causa de su largo y generalmente de su posibilidad de aceleración más baja, los vehículos comerciales necesitan más tiempo para despejar una intersección que los vehículos de pasajeros. Greenshields ha sugerido que el vehículo comercial promedio equivale a 1.5 vehículos de pasajeros llegando a una inter-

sección con señal. Las condiciones que se asumen para este factor son que la vía es plana y que hay predominancia de camiones medianos o livianos.

d. Aproximación de varias vías

1. Tal como fué mencionado anteriormente, la vía que tiene el flujo con mas alto grado de saturación es la que se usa como base para asignar el tiempo de luz verde en una aproximación de cruce determinada.

B. Webster desarrolló una fórmula aproximada para determinar el tiempo óptimo para un ciclo en términos de retraso mínimo:

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - Y}$$

C<sub>o</sub> = Tiempo óptimo del ciclo en segundos

L = nL + R (supone el tiempo de luz amarilla como tiempo de luz verde). Total de tiempo perdido por ciclo.

n = Número de fases

L = Promedio de tiempo perdido por fase (generalmente sólo tiempo de arranque) (véase ilustración I)

R = Tiempo durante cada ciclo cuando todas las señales están en rojo simultaneamente, incluyendo intervalos separados para peatones, si los hubiere.

y = la máxima relación de flujo a saturación de flujo (v/s) para una fase determinada.

Y = Resumen para la intersección entera de los valores y correspondientes a cada fase.

v =  $V_L / .3600$  donde  $V_L$  = número de vehículos por hora en la vía de flujo máximo de una aproximación.

s = flujo de saturación ó rata máxima de descarga por vía en vehículos por segundo desde la cola durante el período de luz verde.

s = 1/G donde G = segundos de adelanto entre vehículos al momento de flujo máximo (saturación)

1. En este método, todos, o casi todo el tiempo de luz amarilla se supone puede ser usado para movimiento de los vehículos.
2. La fórmula de duración óptima de ciclo según Webster demuestra que el volumen total que pasa por la intersección puede ser aumentado a medida que se aumenta el tiempo del ciclo (ilustración 2). Pero al aumentar el tiempo del ciclo, el retardo promedio por vehículo o sea el retardo total de retardo en la intersección también aumenta.
  - a) Mantengase el tiempo de los ciclos de las intersecciones con señales lo más bajo posible y dentro de la escala de 40 a 120 segundos.

C. Webster desarrolló una fórmula aproximada para evaluar el retraso promedio por vehículo:

$$d = \frac{.45C (1 - \lambda)^2}{1 - \lambda X} + \frac{1620 X^2}{V_L (1-X)}$$

El retraso se relaciona con el grado de saturación del volumen que viene llegando donde  $d$  = promedio de retraso en segundos por vehículo (en una vía determinada).

$C$  = Tiempo del ciclo en segundos

$\lambda$  = proporción del tiempo de duración del ciclo que permanece efectivamente verde en una aproximación determinada =  $g'/C$ .

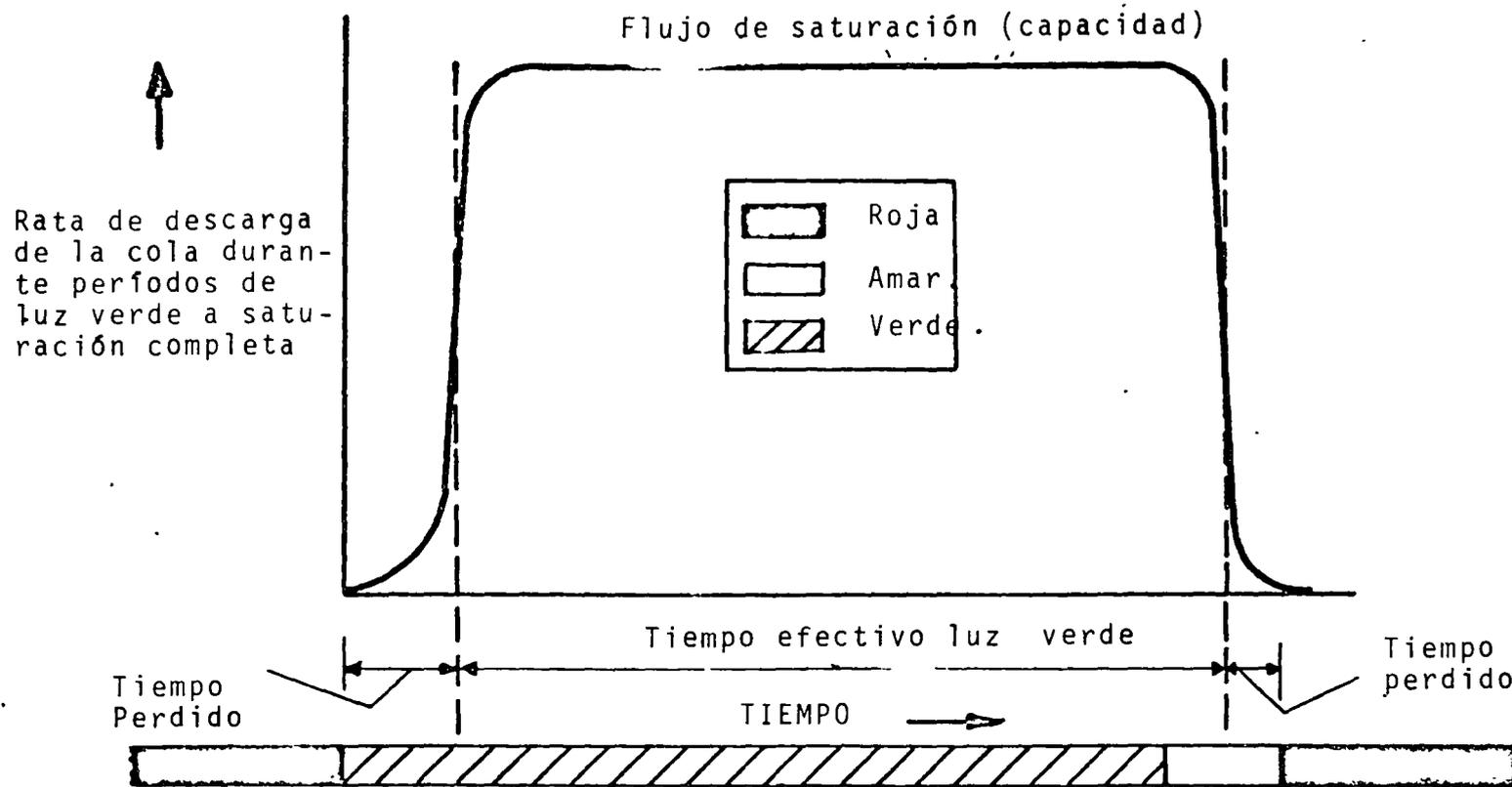
$g'$  = "luz verde efectiva" =  $g+a-L$

$g$  = intervalo en luz verde para la aproximación, en segundos

$a$  = intervalo en luz amarilla para la aproximación, en segundos.

$X$  = grado de saturación, o relación entre el flujo promedio real y el flujo máximo para una vía de aproximación =  $v (\lambda s)$ .

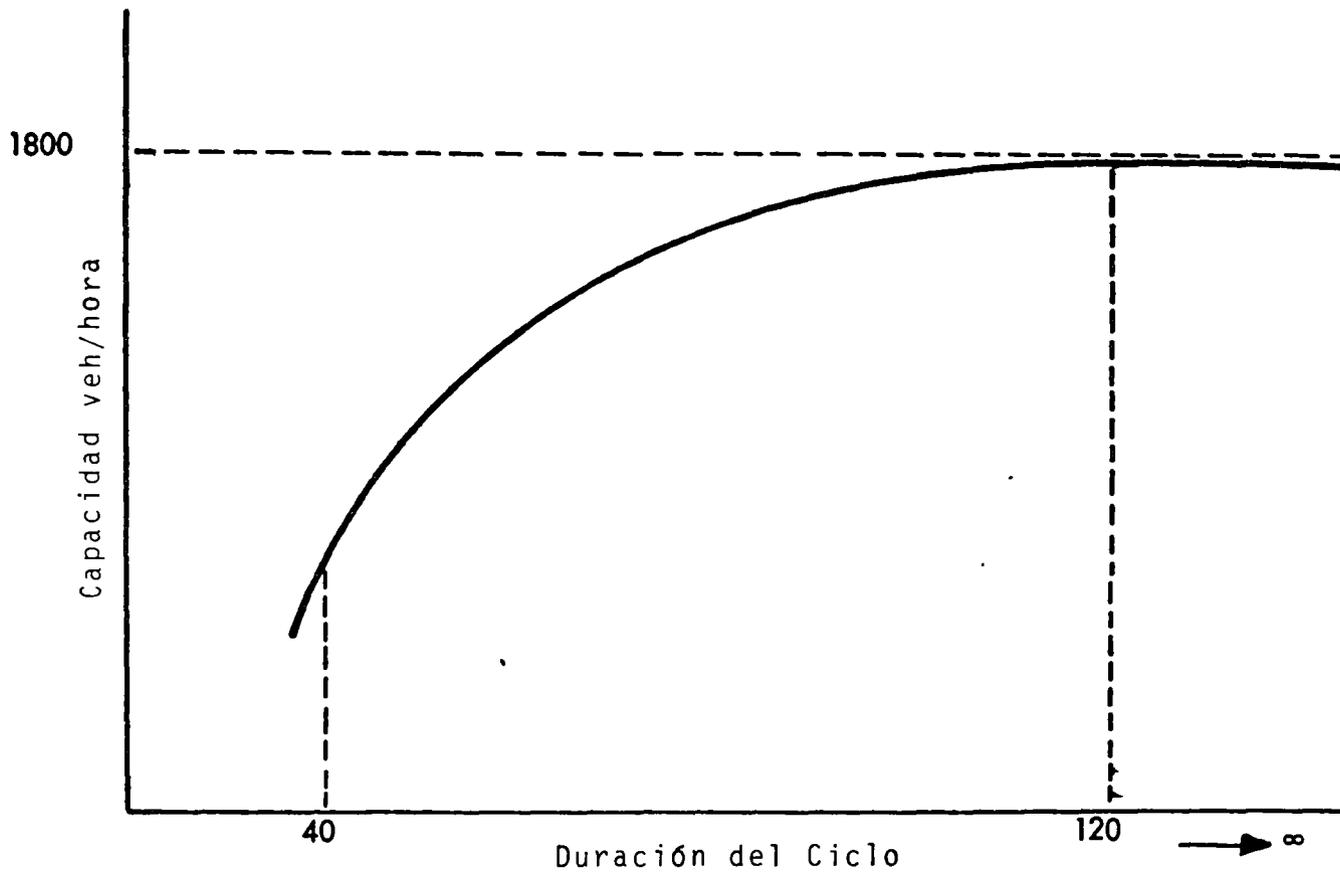
1. Para una intersección simétrica, los valores de retraso han sido calculados según la ecuación de retraso de Webster y se muestran en la Ilustración 3 calculados contra el largo del ciclo para varios valores del flujo total que entra en la intersección.



VARIACION DE LA RATA DE DESCARGA EN LA COLA CON EL TIEMPO DURANTE UN PERIODO DE LUZ VERDE TOTALMENTE SATURADO.

ILUSTRACION 1

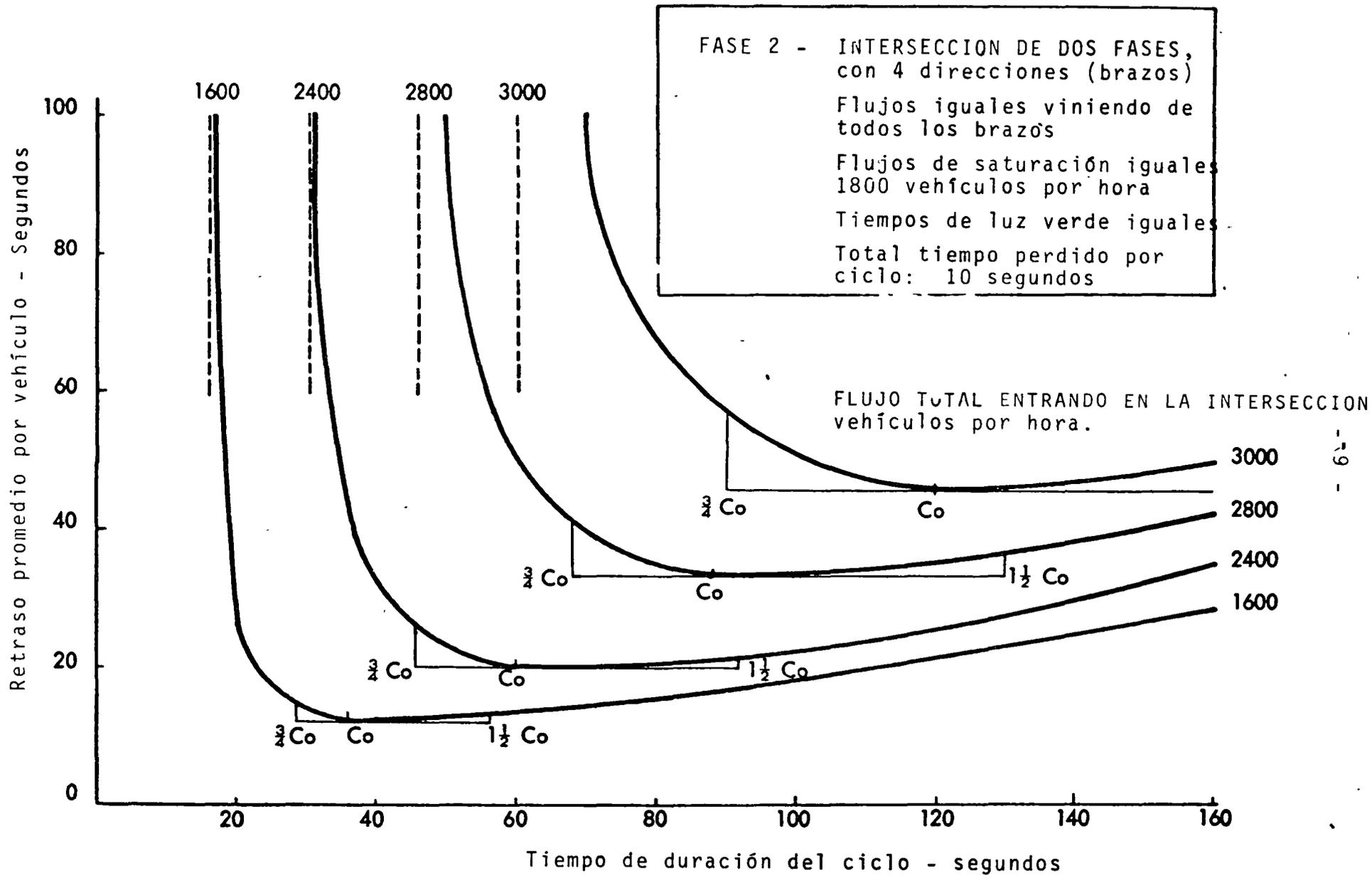
2. Este análisis demuestra un hecho muy importante: el retraso no aumenta a causa de la variación del tiempo del ciclo en proximidad del valor óptimo, siempre que quedan dentro de la escala 0,57 Co a 1.5 Co. Pero, al salirse de esta escala, el retraso aumenta en la medida que aumenta el tiempo del ciclo.



CAPACIDAD Y TIEMPO DE DURACION DEL CICLO

ILUSTRACION 2

3536



EFFECTO SOBRE EL RETRASO DE VARIACION DEL TIEMPO DEL CICLO

FIGURA 3

3536

3. El verdadero criterio de retraso por el cual debería juzgarse los tiempos de las señales es el retraso total de la intersección completa. Esto puede obtenerse sumando los retrasos totales, ( $D_T$ ), de todas las vías de aproximación que convergen hacia la intersección. El retraso total por vía se calcula como sigue:

$$D_T = \frac{d \cdot V_{act}}{3600}$$

donde

$D_T$  = retraso total por vía, en horas-vehículo por hora de operación de señal.

$d$  = retraso promedio por vehículo por hora, en segundos.

$V_{act}$  = Volumen real de vehículos en la hora-diseño.

4. Largo de la cola.

- a. El largo de una línea o cola de vehículos que esperan en la intersección donde hay una señal, es causa de preocupación. De haber largas colas de vehículos, el tráfico de intersecciones adyacentes puede resultar entorpecido.
- b. Las colas excesivas pueden interferir con los vehículos que tratan de cruzar a la izquierda o a la derecha. De esta manera, el largo esperado de la cola es uno de los criterios de evaluación del tiempo para una señal.

Webster desarrolló una fórmula para el largo promedio de la cola al principio de un período de luz verde:

$$N = \frac{vr}{2} + vd \text{ o } N = vr \text{ (cualquiera sea mayor)}$$

donde

$N$  = número de vehículos en la cola

$v$  = rata del flujo, en vehículos por segundo

$r$  = fase de luz roja, en segundos

$d$  = promedio de retraso por vehículo, en segundos

5. Cola máxima Probable.

Webster también calculó el largo máximo de cola que se puede esperar sea igualada o excedida en cualquier ciclo

de probabilidades de una ocurrencia de cola de ese tamaño en 20 ciclos (cuadro 1). Esta tabla de computación tomó en cuenta tanto los vehículos acumulados durante la fase de luz roja como los que pueden haber sido detenidos desde el ciclo precedente.

CUADRO 1

(Probabilidad de que la cola máxima en cualquier ciclo llegue a ser igual o mayor que el valor crítico es de 5 por ciento)

Grado de Saturación $x_s$	M	2.5	5.0	10.0	20.0	40.0
0.3	0.4	5	7	12	20	34
	0.6	4	5	9	15	24
	0.8	3	4	6	9	15
0.5	0.2	6	7	15	26	47
	0.4	5	7	12	20	35
	0.6	4	5	9	15	24
	0.8	3	4	6	9	15
0.7	0.2	7	9	15	25	44
	0.4	6	8	12	20	34
	0.6	5	7	9	15	25
	0.8	5	5	7	9	15
0.8	0.2	9	12	16	25	46
	0.4	8	11	14	21	35
	0.6	8	9	11	16	25
	0.8	7	8	9	11	16
0.9	0.2	19	18	22	30	49
	0.4	19	17	20	23	39
	0.6	19	16	17	21	34
	0.8	18	15	15	18	22
0.95	0.2	36	28	33	40	55
	0.4	35	27	30	35	47
	0.6	34	26	25	34	39
	0.8	34	25	27	27	32
0.975	0.2	74	63	65	62	84
	0.4	74	57	65	59	75
	0.6	69	61	62	54	65
	0.8	65	56	61	62	64

6. Probabilidad de que los Vehículos que van llegando entren en la intersección durante la primera fase verde que les toque.
- Como proposición general, los conductores desean pasar la señal de tránsito durante la primera luz verde. Si ellos son detenidos durante uno o más ciclos, este retraso los contraría, y además tienden a retrasar los demás vehículos. De ahí que un criterio más a tomarse en cuenta al determinar el tiempo del ciclo es de hacer los intervalos de luz verde lo suficientemente largos para que todos los conductores puedan pasar con la primera luz verde que les toque.
  - A fin de expresar estas relaciones en términos matemáticos, se hace uso de la similaridad entre las distribuciones observadas de los vehículos en un flujo de tránsito y la probabilidad de distribución de Poisson puede expresarse matemáticamente así:

$$P_{(x)} = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$$

donde:

$P_{(x)}$  es probabilidad de que exactamente  $x$  vehículos lleguen en un intervalo  $t$ .

$m$  = número promedio de vehículos llegando a  $t$

$x!$  =  $x$  factorial: es decir,  $x(x-1) \dots (2)(1)$

$e$  = base de logaritmos naturales: es decir: 2.71828

- Las probabilidades acumulativas de que  $x$  o menos vehículos lleguen por valores diferentes de  $m$  aparecen en la ilustración 4. El número promedio de vehículos llegando por ciclo por vía crítica se da por fórmula:

$$m = vc$$

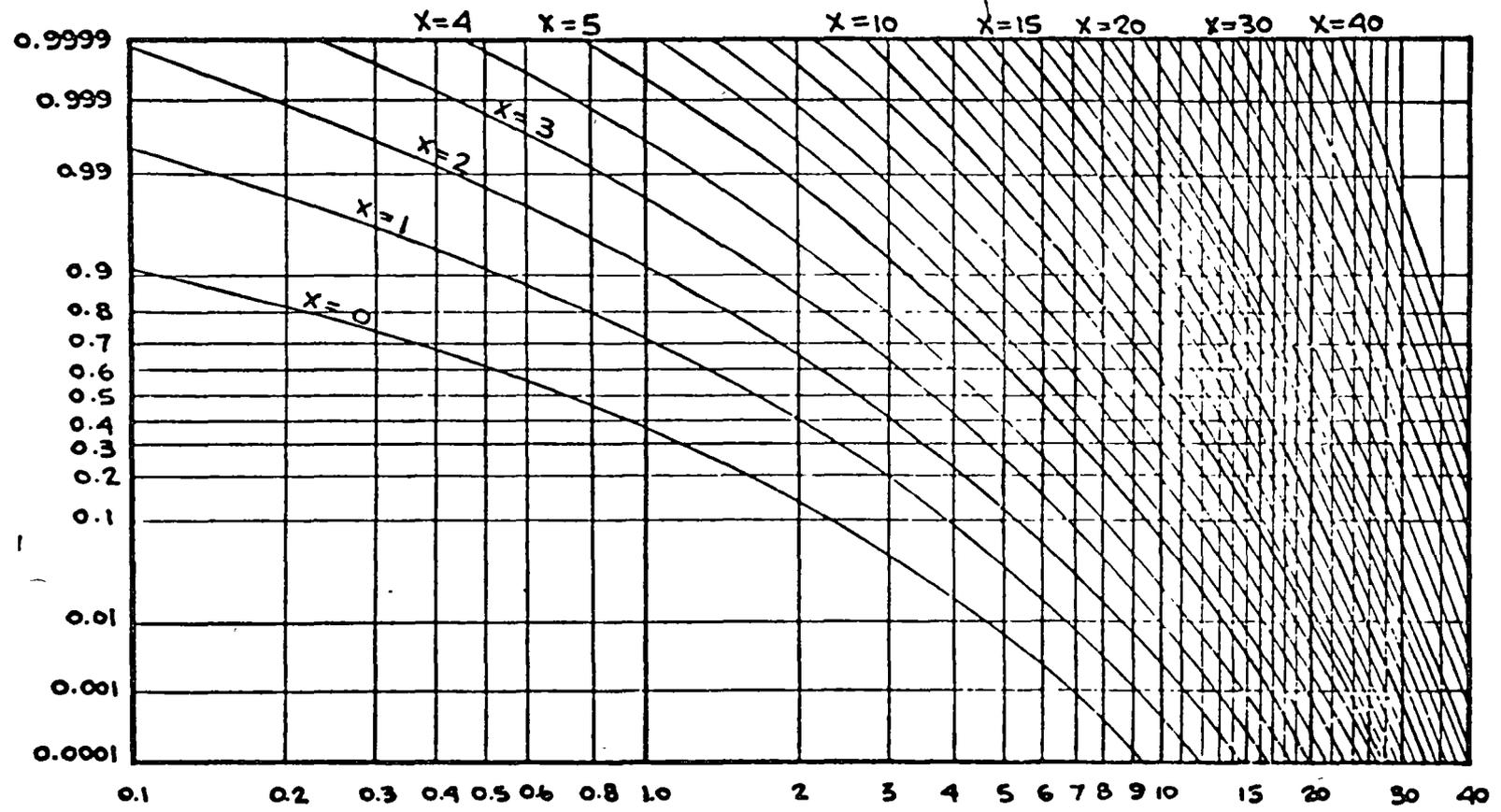
donde

$v$  = volumen del diseño en vehículos por segundo

$c$  = tiempo del ciclo en segundos

Probabilidad de X o Menos Vehículos

ILUSTRACION 4



NUMERO PROMEDIO DE VEHICULOS POR INTERVALO

Probabilidades cumulativas de que 'X' o menos vehículos lleguen durante el intervalo 't'

Adaptado de "Poisson and Traffic" por D.L. Gerlough y A. Schuhl, Fundación Eno para el Control de Trafico de Carreteras (ENO Foundation for Highway Traffic Control)

250

- d. El número máximo de vehículos ( $x_{\max}$ ) que puede entrar en un ciclo durante una fase dada se obtiene dividiendo el tiempo efectivo de luz verde por el intervalo de saturación:

$$x_{\max} = \frac{g'}{G}$$

donde:

$g'$  = tiempo efectivo de luz verde, segundos

$G$  = intervalo de saturación, segundos.

La definición de tiempo efectivo de luz verde ( $g'$ ) ha incluido el tiempo de luz amarilla como período de flujo de vehículos. Si se supone el tiempo de luz amarilla como si fuera de luz verde, el número máximo de vehículos que pueden entrar por ciclo y la probabilidad de que entren durante la primera fase de luz verde es mayor que la que se obtiene cuando todos los tiempos de luz amarilla son tomados como tiempo perdido. (ya que se reduce  $g'$  mientras que  $G$  permanece constante).

Problema a manera de ejemplo utilizando el método Webster:

Siendo:

Intersección aislada de la calle Jane y la Avenida Larkin. Haga referencia a la ilustración 5 para el esquema físico, los volúmenes de tránsito, el número de vehículos comerciales, el número de movimientos de cruce, y velocidad de aproximación.

Ya que al parecer los cruces hacia la izquierda no son problema, el tiempo de la señal consistirá de una operación en 2 fases.

Ya que los vehículos comerciales y los movimientos de cruce no pueden ser resueltos directamente en las fórmulas, el primer paso en este ejemplo será de expresar los datos en términos de automóviles de pasajeros siguiendo recto en volúmenes equivalentes de automoviles.

Se utiliza la formula siguiente para hacer la computación:

Equivalente de Automóviles de pasajeros siguiendo recto = (automoviles de pasajeros + vehiculos comerciales) x Factor de cruce + 1.5 vehiculo comercial

El valor del factor de cruce depende del movimiento direccional como sigue :

<u>Dirección del Movimiento</u>	<u>Factor de Cruce</u>
Cruces a la Izquierda	1.6
Siguiendo recto	1.0
Cruces a la derecha	1.4

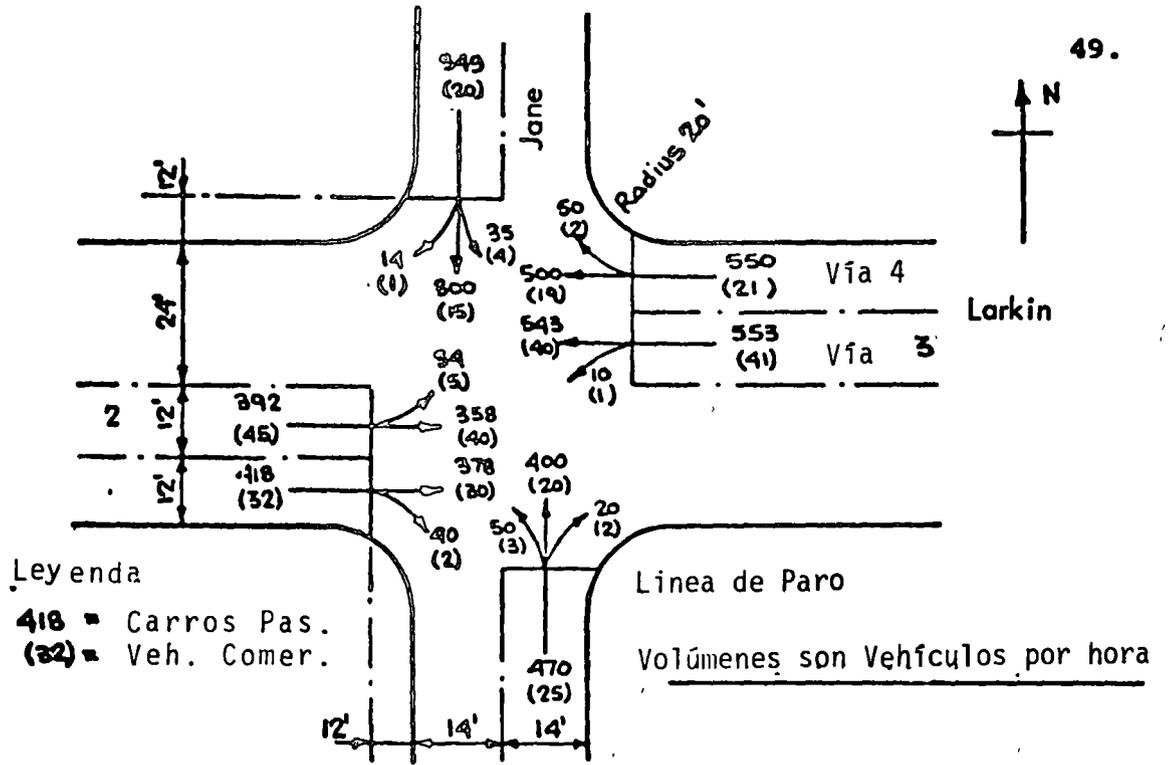
Se obtienen los equivalentes siguientes de automoviles de pasajeros siguiendo recto:

<u>Dirección hacia el Norte</u>	<u>Volumen Equivalente de automoviles de pasajeros</u>
Cruces a la izq. (53 + 39) = 1.6 + 1.5 x 3	151
Siguiendo derecho 400=1.5 x 20	430
Cruces a la der. (22 x 1.4) + = (1.5x2)	<u>34</u>
TOTAL	615

<u>En Dirección Sur</u>	<u>Volumen Equivalente de automoviles de pasajeros</u>
Cruces a la izq. (39+53) = 1.6 + 1.5x4	153
Siguiendo der. 300 + 1.5x15	322
Cruces a la derecha (15x 1.4 + (1x1.5) =	<u>23</u>
TOTAL	498

<u>En Dirección Este</u>	<u>Vía 1</u>	<u>Vía 2</u>
Cruces a la Izq.	0	(39+11) 1.6+(1.5x5) 87
Derecho 378 + 1.5 x 30		841
Cruces a la Der.(42 x 1.4) +(1.5x2)		<u>62</u>
TOTAL	485	505 990

Velocidad de aproximación 25 mph



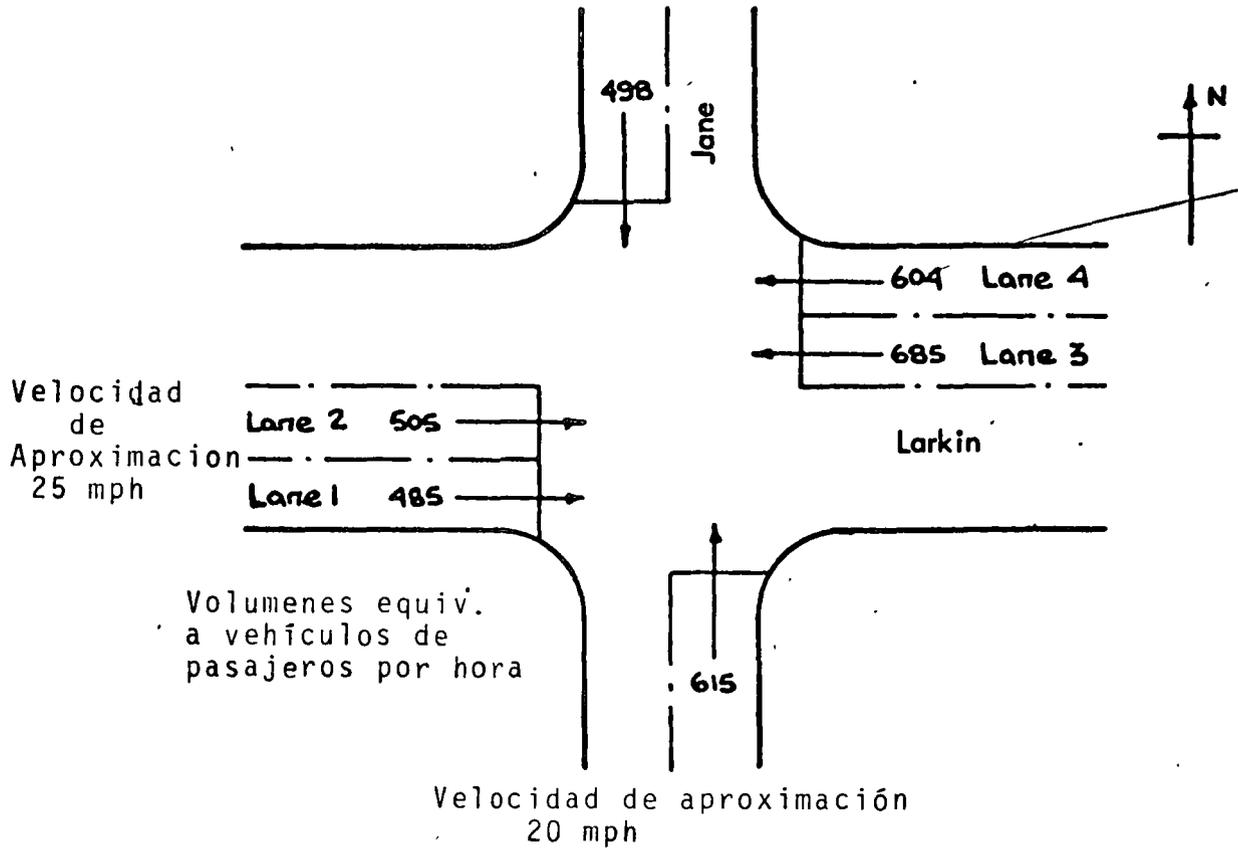
Velocidad de Aproximación 20 mph

ESQUEMA DE LA INTERSECCION Y VOLUMENES DE TRANSITO

ILUSTRAC. 5

En dirección Oeste

	<u>Vía 3</u>	<u>Vía 4</u>	
Cruces a la Izq. (11+39) 1.6 +(1.5x1)		0	82
Siguiendo der. 543+40x1.5		500+19x1.5	1131
Cruces a la Der. 0		(52x1.4)+1.5x2)	<u>76</u>
TOTAL	865		1289



VOLUMENES EQUIVALENTES EN CARROS DE PASAJEROS

FIGURA 6

Los volúmenes de las vías críticas para el tiempo de señales son:

N-S Direct	615 veh/hr.	(NB)
E- Direct	685 veh/hr.	(WB)

La ilustración 6 muestra los volúmenes equivalentes calculados arriba

Computación del Tiempo Optimo del Ciclo

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - Y}$$

Supongase un retraso promedio de arranque de 3.5 segundos (l = 3.5 seg.)

$$L = nL + R$$

$$Y = y_{NB} + y_{WB}$$

DATOS:

Número de fases	n = 2
Retraso de arranque	L = 3.5 seg.
Volumen de la vía crítica NB	$V_L = 615$ veh/hr $v = 0.171$ veh/seg
Volumen de la vía crítica WB	$V_L = 685$ veh/hr. $v = 0.190$ veh/sec.
Flujo de saturación	G = 2.1 seg.
Rata de flujo de saturación	S = 1/G = 0.476 veh/seg.
Relaciones de saturación	$y = \frac{v}{S}$ $y_{NB} = \frac{0.171}{0.0476} = 0.360$ $y_{WB} = \frac{0.190}{0.0476} = 0.400$

de modo que:

$$\begin{aligned} L &= nL + R \\ &= 2(3.5) + 0 \\ &= 7 \text{ seg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= y_{NB} + y_{WB} \\ &= 0.36 + 0.40 \\ &= 0.76 \end{aligned}$$

De allí que:

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} = \frac{1.5(7) + 5}{1 - 0.76} = 65 \text{ seg.}$$

Determinar el período de luz amarilla para los vehículos  
(Sección B-2, Cuadro 2)

Larkin            S = 30        w = 28        amarilla - 4.0 seg.  
Jane                S = 20        w = 44        amarilla - 4.0 seg.

Determinar los intervalos de luz verde por el Método Pro-  
porcional (Sección B-3)

Jane                G = 27 seg.

Larkin             G = 30 seg.

Computación de retraso por vehículo

$$d = \frac{0.45C (1 - \lambda)^2}{1 - \lambda} + \frac{1620X^2}{(1-X)}$$

NB Computación

C = 65

v = 0.171 veh/seg.

g' = g + a - 3.5

= 27.5

g'/C = 0.423

G = 2.1 seg.

S = 0.476 veh/seg.

$\chi_s = 0.85$

Retraso NB = 26.9 seg/veh.

El retraso total por ciclo de 65 segundos es de;

<u>Dirección de Aprox.</u>	<u>Volumen Veh./hr</u>	<u>Retraso Seg./Veh.</u>	<u>Retraso/hora Segundos</u>
Direc. Norte	495	25.8	12.790
Direc. Sur	369	18.4	6.800
Direc. Este (1)	440	15.6	6.830
(2)	437	15.2	6.840
Direc. Oeste(1)	594	24.8	14.700
(2)	571	18.7	10.650
TOTAL RETRASO			<u>58.610</u>

El retraso cumulativo alcanza por lo tanto a 16.3 horas de retraso por hora de operación de la señal

Probabilidad de que los Vehículos Entren durante la primera luz Verde.

Datos para Dirección NB

$$\begin{aligned} m &= vc = 0.171 \times 65 & x_{\max} &= g'/G = \frac{27.5}{2.1} \\ &= 11.1 & &= 13.1 \end{aligned}$$

De la ilustración 4, la probabilidad de entrar con la primera luz verde

$$= 73\%$$

Datos para la Dirección WB

$$m = 12.3 \qquad x_{\max} = 14.5$$

De la ilustración 3, la probabilidad de entrar durante la primera luz verde.

$$= 73\%$$

Cálculo de largo de las colas a formarse

Datos para la Dirección NB:

$$\begin{aligned} c &= 65 \text{ seg.} & r &= 34 \text{ seg.} \\ v &= 0.171 \text{ veh/seg} & d &= 26.9 \text{ seg/veh} \end{aligned}$$

Entonces

$$\begin{aligned} N &= \frac{vr}{2} + vd \text{ o } vr \\ &= 0.171 \times 34 + 0.171 \times 26.9 \text{ o } 0.171 \times 34 \\ &= 2.9 + 4.6 = 5.8 \\ &= 7.5 \end{aligned}$$

Por lo tanto, puede esperarse una cola promedio de 8 vehiculos.

Datos para determinación del largo máximo de una cola (1 en 20):

$$\begin{array}{ll} c = 65 \text{ seg.} & \lambda = 0.47 \\ x = 0.85 & M = 11.1 \\ s & \end{array}$$

De acuerdo con el Cuadro 1 la cola máxima que se puede esperar para ciclos de uno a veinte es de 17 vehículos.

Datos para Dirección WB

$$\begin{array}{ll} c = 65 \text{ seg.} & r = 31 \text{ seg.} \\ v = 0.19 \text{ veh/seg.} & d = 25.2 \text{ seg/veh} \end{array}$$

luego:

$$\begin{aligned} N &= 0.19 \times 31 + 0.19 \times 25.2 \text{ o } 0.19 \times 31 \\ &= 2.9 + 4.8 = 5.9 \\ &= 7.7 \end{aligned}$$

Por lo tanto puede esperarse una cola promedio de 8 vehículos.

Datos para determinación del largo máximo de una cola (1 en 20):

$$\begin{array}{ll} c = 65 \text{ seg.} & \lambda = 0.47 \\ x = 0.85 & M = 12.3 \\ s & \end{array}$$

De acuerdo con el cuadro 1 la cola máxima que se puede esperar para ciclos de uno a veinte es de 17 vehículos.

Las anteriores computaciones se basan en la suposición de que los períodos de luz amarilla hacen parte del tiempo verde "efectivo" - Los cálculos están repetidos para ilustrar el caso extremo de la luz amarilla como todo tiempo perdido.

El tiempo perdido L, se vuelve

$$\begin{aligned} L &= nL + R + a + o \\ &= 2 \times 3.5 + 0 + 4 + 4 \\ &= 15 \text{ seg. en vez de 7 seg..} \end{aligned}$$

Así:

$$C_0 = \frac{15 \times 15 + 5}{1 - 0.76}$$

= 115 seg. en vez de 65 seg.

Las variables afectadas en las computaciones de retraso y de largo de colas son  $g', \lambda, x, y, x$   
 $s, x, \max$

Las cifras que anteceden corresponden a la dirección hacia el Norte, con cifras comparativas correspondientes a la dirección hacia el Oeste y los demás tiempos de duración de ciclo aparecen en paréntesis en la Tabla 2.

Tal como se demostró en el Ejemplo, la medida en la que se supone la luz amarilla como tiempo de luz verde tiene un efecto importante sobre los resultados finales.

### Selección de Tiempo del Ciclo

Las computaciones que anteceden indican un tiempo óptimo de ciclo de 65 segundos por retraso mínimo, cuando la totalidad del tiempo de luz amarilla se utiliza, o uno óptimo de 115 segundos cuando ningún tiempo de luz amarilla es utilizado como si fuera verde. Asimismo de la Ilustración 7, el retardo por vehículo aumenta rápidamente mientras el tiempo del ciclo decrece a menos de 65 segundos, pero aumenta paulatinamente a medida que se aumenta el tiempo del ciclo entre los 65 y 115 segundos. La probabilidad de entrar durante la primera fase en verde también se vuelve inaceptable para tiempos de ciclo de menos de 65 segundos, hasta 115 segundos.

CUADRO 2

EFFECTO DEL TIEMPO DEL CICLO SOBRE EL RETARDO, EL LARGO DE LA COLA, y LA PROBABILIDAD DE QUE LOS VEHICULOS ENTREN CON LA PRIMERA LUZ VERDE.

Ejemplo

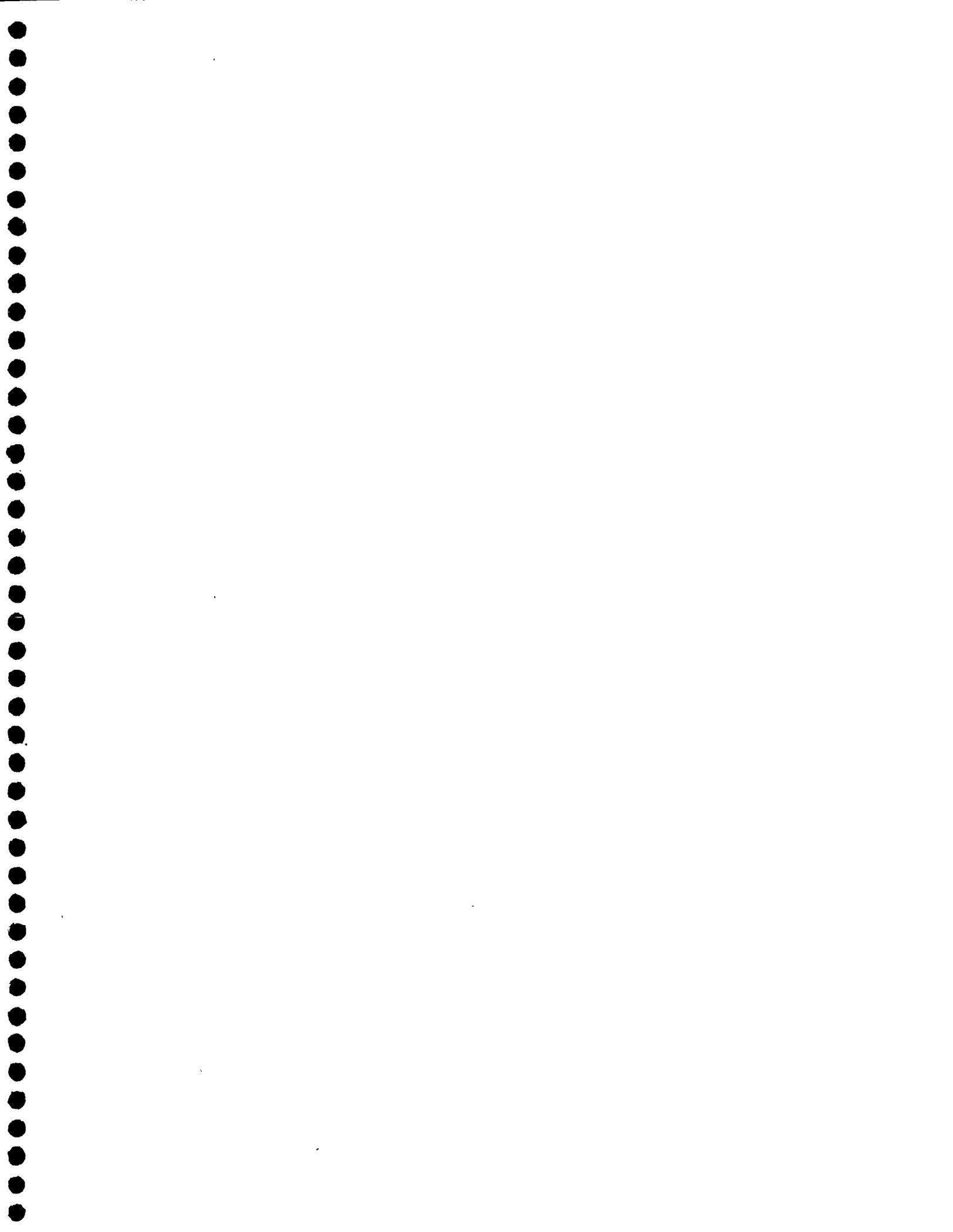
Tiempo de Ciclo en Segundos	Retardo Promedio por Vehículo segundos		Cola Máxima Igualada o Excedida 1 en 20 Ciclos +		% de Probabilidad de que los Vehículos que llegan entren con la primera luz verde	
	Dir. Norte **	Dir. Oeste* **	Dir. Norte **	Dir. Oeste* **	Dir. Norte **	Dir. Oeste* **
120	35(43)	31(39)	20(30)	21(26)	83(70)	82(75)
90	29(46)	27(42)	18(32)	18(30)	82(68)	82(69)
65	27(219)	25(197)	17(51)	17(73)	73(52)	73(54)
50	28(++)	26(++)	18(++)	18(++)	70(50)	68(43)
40	37(++)	30(++)	22(++)	19(++)	61(38)	65(40)

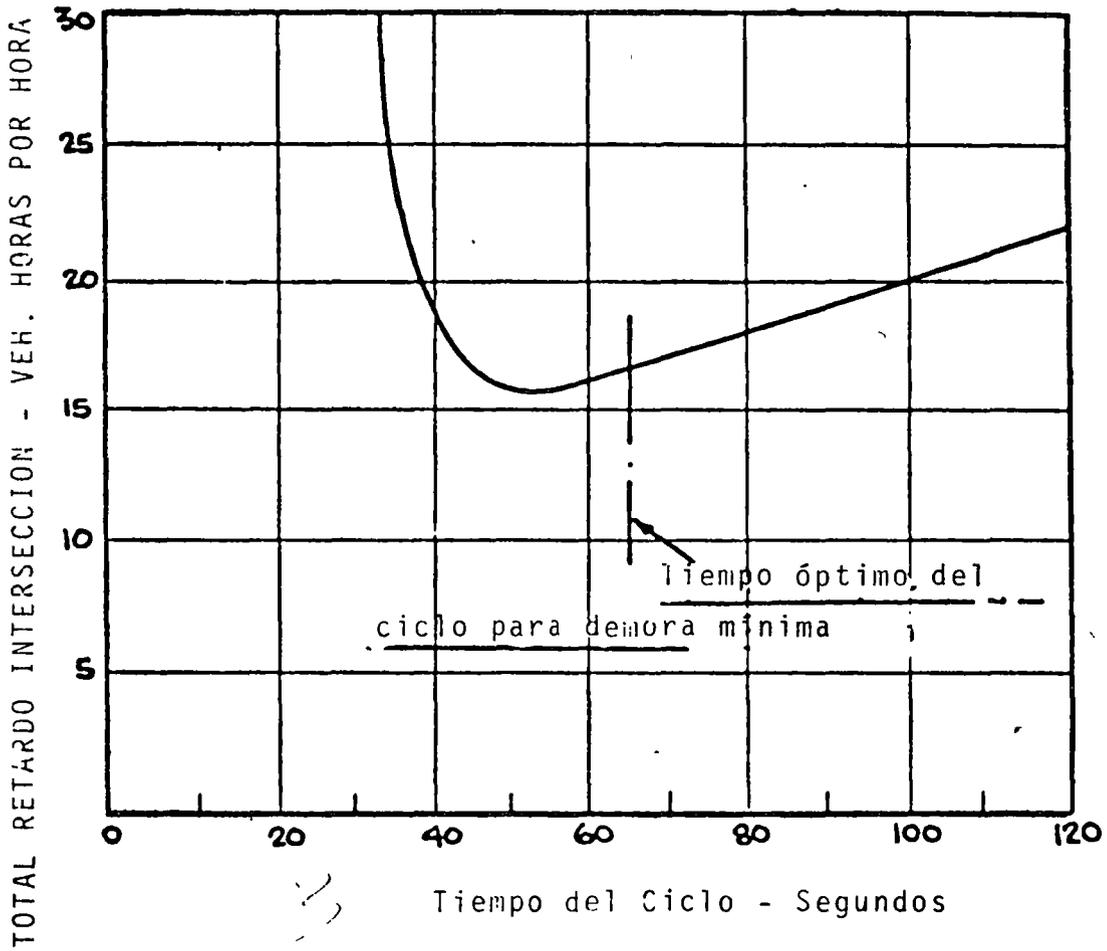
Vía hacia el Oeste N° 3

+ Número máximo probable de vehículos en la cola que se puede esperar o que puedan excederse en 1 de 20 ciclos (5% de probabilidad)

\*\* Valores en paréntesis están computados utilizando el tiempo de luz amarilla como totalmente perdido. Los demás valores están basados sobre un "tiempo efectivo de luz verde" como se usa en las formulas Webster en las cuales el tiempo de luz amarilla se agrega al verde.

++Formula no aplicable; saturación es más de 1.0





4 EFECTO DEL TIEMPO DEL CICLO EN RETARDO TOTAL EN LA INTERSECCION

FIGURA 7

El tiempo de ciclo más deseable, en términos de los tres criterios, por lo tanto, está en la gama de tiempos de ciclo entre 65 segundos y 115 segundos. Un análisis más detallado de esta gama muestra que para el aumento en tiempo de ciclo de 65 a 90 segundos el retardo por vehículo aumenta por aproximadamente 2 segundos y la probabilidad de entrar con la primera luz verde aumenta de 73 a 82 por ciento, cuando se considera a la luz amarilla como siendo verde. Para una luz amarilla considerada tiempo perdido, el retardo disminuye por 173 segundos por vehículo y la probabilidad aumenta de 52 a 68 por ciento.

Para la gama de 90 segundos a 115 segundos el retardo aumenta 5 segundos más mientras la probabilidad de entrar con la primera luz verde sólo aumenta de 82 a 83% (NB), cuando el tiempo de luz amarilla es tomado como de tiempo luz verde. Cuando se considera la luz amarilla como tiempo perdido el retardo por vehículo disminuye 3 segundos más y la probabilidad aumenta de 68 a 70 por ciento (NB)

Para la gama completa de tiempos de ciclo que van de los 65 a los 115 segundos el largo de la cola sólo aumenta de 17 a 20 vehículos, para uno en veinte ciclos. El largo de la cola es, por lo tanto, relativamente insensible al largo del ciclo en esta gama.

De estas consideraciones de las vías críticas el tiempo de ciclo más deseable claramente es de 90 segundos ya que el retraso por vehículo aumenta sólo ligeramente pero se obtiene una mejora significativa en la probabilidad de entrar durante la primera fase de luz amarilla. El efecto del uso de tiempo amarillo también resulta minimizado cuando se compara con 65 segundos. Sin embargo, antes de hacer una escogencia final el efecto del tiempo de ciclo sobre retraso total en la intersección (que se muestra en el Cuadro 3) tiene que ser considerado.

El retraso total mínimo se presenta a un tiempo de ciclo de 55 segundos y aumenta de este valor de 15.8 vehículos horas por hora a 18.8 a 90 segundos y 22.0 horas a 115 segundos. Otra vez se presenta un aumento desproporcionado entre los 90 y 115 segundos.

Si el ciclo de 90 segundos es el que se selecciona de preferencia al de 65 segundos, querrá decir que el retardo por vehículo se incrementará en 2 segundos, el retardo total para la intersección se incrementará por 2.5 vehículos horas por hora, pero la probabilidad de entrar en la primera luz verde estará mejorada en un 10% y el efecto de

utilización de la luz amarilla será substancialmente reducido. Las colas tendrán un largo aproximadamente igual en cada caso. Con esta información, el ciclo de 90 segundos es considerado el mejor para satisfacer las condiciones del ejemplo.

CUADRO 3

EFFECTO DEL TIEMPO DEL CICLO SOBRE  
EL RETRASO TOTAL DE LA INTERSECCION

Tiempo del Ciclo Seg.	Retardo Total Veh/Hrs/Hr de operación de la Señal	Tiempo del Ciclo Seg.	Retraso Total Veh. Hrs/hr de operación señal
20		80	17.7
30		90	18.8
40	18.4	100	20.1
50	15.9	110	21.4
60	16.0	120	22.7
70	16.7	130	24.0

ASUNTO CONTROL DE TRAFICO  
TITULO ASIGNACION DE TIEMPOS Y FASES EN LAS INTERSECCIONES  
ENUNCIACION DE PROBLEMAS

Damos anexo una serie de problemas a resolver como ejercicio que ilustran los varios procedimientos utilizados y los factores a considerar para la determinación del tiempo de los ciclos, y de los intervalos..

PROBLEMA 1

Siendo:

A Datos de Tránsito

<u>Dirección</u>	<u>Volúmen</u>	<u>Vfas</u>	<u>CLV</u>
Norte	1200	3	
Sur	1000	2	
Este	500	2	
Oeste	400	1	

B Datos de Señal

60 seg. tiempo del ciclo

3 seg. luz amarilla

operación de 2 fases

Determinar:

1. Divisiones del ciclo en segundos y porcentajes
2. Verifíquese las probabilidades de rendimiento.

PROBLEMA 2

Siendo:

	<u>Calle Principal</u>	<u>Calle de Cruce</u>
Ancho	68	36
Volumen de la vía crítica	600	200
Cruce de Peatones	200	400

Hay comercios a lo largo de la Calle Principal  
Velocidad 20 mph

Determinar:

1. Tiempo del ciclo -
2. División del Ciclo en Segundos
3. Usaría usted tiempos calculados para el ciclo en la práctica - porqué?

Requerimientos:

- 1 Dar tiempo mínimo de luz verde para el cruce de peatones.
- 2 Intervalos de luz verde deben ser en proporción a los volúmenes de la vía crítica.

PROBLEMA 3

Siendo:

Intersección Aislada de la Calle Broadway y Maple

	<u>Broadway</u>	<u>Maple</u>
Ancho del pavimento	60 pies	44 pies
Volumen de la Vía Crítica	600 Veh/hr.	400 Veh/hr.
Velocidad de Acceso	30 mph	20 mph
Volumen de Peatones	300/hr	200/hr
Volumen crítico hacia la izquierda	30/hr	50/hr.
Avances	Igual en ambas calles	

Procedimiento:

1. Determinar el número de fases requeridas
2. Siga el procedimiento descrito en la guía 3523 y determine el tiempo de intervalo.

PROBLEMA 4°

Siendo:

La Calle State es una calle con dirección norte-sur y tiene un ancho de 60 pies con estacionamiento en ambos lados. La Avenida Highland intersecta con la Calle State en ángulos derechos y tiene 40 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados. Volúmenes de afluencia máxima se demuestran a continuación. (Ambas calles operan como calles de doble vías)

Horas Máxima afluencia

	<u>Vía Norte</u>	<u>Vía Sur</u>	<u>Vía Este</u>	<u>Vía Oeste</u>
Atravesando	700	400	225	180
Izquierda	132	75	50	35
Derecha	<u>48</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>25</u>
	880	510	325	240

Encuentre:

1. Determinar la disposición de la vía para poder operar esta intersección señalizada eficientemente.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determinar la fase más eficiente y el nivel aproximado de servicio.

PROBLEMA 4b

Siendo:

La calle State y la Avenida Highland tienen los mismos anchos de pavimento y condiciones de estacionamiento como en el Problema 4a, pero tienen proyectado el siguiente volumen de afluencia máxima para 10 años:

	<u>Vía Norte</u>	<u>Vía Sur</u>	<u>Vía Este</u>	<u>Vía Oeste</u>
Atravesando	750	675	320	300
Izquierda	150	100	60	50
Derecha	<u>100</u>	<u>150</u>	<u>80</u>	<u>50</u>
	1000	925	460	400

Encuentre:

1. Determine la disposición de la vía para operar esta intersección señalizada (puede que tenga que quitar el estacionamiento y proveer canales para cruce a la izquierda).
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determine las fases más eficientes y el nivel aproximado de servicio.

PROBLEMA 5

Siendo:

La Calle Chicago es una calle norte-sur, de dos vías y 60 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados. la calle Davis es una calle con dirección oeste, de una vía y 40 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados. Los volúmenes a la Hora de Máxima afluencia se demuestran a continuación:

	<u>Chicago Via Norte</u>	<u>Chicago Vía Sur</u>	<u>Davis Vía Oeste</u>
Atravesando	600	800	500
Izquierda	150	-	50
Derecha	-	50	50

Encuentre:

1. Determinar la disposición de la vía para operar esta intersección eficientemente.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determine las fases más eficientes y el nivel aproximado de servicio de esta intersección señalizada.

PROBLEMA 6

Siendo:

La Calle Kimball es una calle norte-sur de dos vías y tiene un ancho de 72 pies y una división en el medio de 14 pies. La Calle Spring es una calle de dos vías que va de este a oeste, de 72 pies de ancho y una división en el medio de 14 pies. Ambas calles tienen estacionamiento en ambos lados.

El Volumen proyectado de Hora de Afluencia Máxima es como se demuestra:

	<u>Vía Norte</u>	<u>Vía Sur</u>	<u>Vía Este</u>	<u>Vía Oeste</u>
Atravesando	881	435	1098	538
Izquierda	209	115	327	115
Derecha	232	160	210	116

Encuentre:

1. Determinar la disposición geométrica de las calles para poder manejar este volumen proyectado.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determine las fases más eficientes y el nivel aproximado de servicio.

ASUNTO: CONTROL DE TRANSITO

TITULO: TIEMPO EN INTERSECCIONES Y SOLUCIONES  
DE PROBLEMAS DE FASE

Siendo:

A. Datos de Tráfico

Dirección	Volumen	Vías	Vol.Vía Crit.
Dir. Norte	1200	3	400
Dir. Sur	1000	2	500* Va
Dir. Este	500	2	250
Dir. Oeste	400	1	400* Vb

\*Movimientos Críticos

B. Datos de Señales

60 seg. duración ciclo  
3 seg. luz amarilla  
operación de 2 fases

Procedimiento:

1. Determine los intervalos de luz verde por el método proporcional.

a. Intervalo luz verde Norte- Sur

$$G_a = \frac{V_a}{V_a + V_b} (C - Y_a - Y_b)$$

$$G_a = \frac{500}{500 + 400} (60 - 3 - 3)$$

$$= \frac{5}{9} (54) = 30 \text{ segundos}$$

b. Intervalo Este-Oeste

$$G_b = \frac{400}{500 + 400} (60 - 3 - 3)$$

$$= \frac{4}{9} (54) = 24 \text{ seg.}$$

c Tiempo de Señal (Ciclo partido)

<u>Intervalo</u>	<u>Segundos</u>	<u>Porcentaje</u>
Verde - Norte y Sur	30	50
Amarilla	3	5
Verde - Este - Oeste	24	40
Amarilla	<u>3</u>	<u>5</u>
TOTAL	60	100

2. Chequear Probabilidad de Ejecución

a. Anote Figura 1 con valores para la Fase Norte y Sur

Volumen Crítico de Via = 500 veh/hr.

Tiempo Total de Ciclo - 60 seg.

Tiempo de Luz Verde = 30 seg.

Lea: Probabilidad de Ejecución = 90%

b. Anote Figura 1 con valores para la Fase Este Oeste

Volumen Crítico de Vía = 400 veh/hr.

Tiempo Total de Ciclo = 60 seg.

Tiempo de Luz Verde - 24 seg.

Lea: Probabilidad de Ejecución = 85%

PROBLEMA 2

Siendo:

	<u>Calle Principal</u>	<u>Calle de Cruce</u>
Ancho	68	36
Volumen Crítico de Vía	600	200
Cruce de Peatones	200	400

Comercios situados en Calle Principal  
Velocidad 20 mph.

Determine:

1. Tiempo de ciclo
2. Ciclo partido en segundos
3. Usaría Ud. largo de ciclo calculado en la practica - porqué?

Requerimientos:

1. Provea tiempo mínimo de luz verde para cruce de peatones.
2. Intervalos luz verde deberían ser en proporción a los volúmenes críticos de vía.

Procedimiento:

1. Asuma Operación de 2-Fases
2. Determine el Período de Tolerancia de Luz Amarilla para Vehículos (y).
  - a. Principal      s = 20      w = 36      y = 4.0
  - b. Cruce          s = 20      w = 68      y = 5.5
- c. Chequear Mínimo Tiempo Luz Verde para Peatones
  - a. Cruce crítico en la Calle Principal con los peatones cruzando en la señal de Cruce Verde
  - b. Tiempo mínimo requerido de luz verde para Cruce de Calle es:

$$G = 7 + \frac{D}{s} = y$$

$$G = 7 + \frac{68}{4} - 5.5 + 18.5 \text{ seg}$$

4. Use el Metodo Proporcional para Determinar el Tiempo de Ciclo.

a. Calle de Cruce

$$G_c = \frac{V_c}{V_m + V_c} (C - Y_m - Y_c)$$

$$\begin{aligned} G_c &= 18.5 \text{ seg. (mínimo)} \\ V_c &= 200 \text{ veh/hr.} \\ V_m &= 600 \text{ veh/hr.} \\ Y_m &= 4.0 \text{ seg.} \\ Y_c &= 5.5 \text{ seg.} \end{aligned}$$

$$18.5 = \frac{200}{600 + 200} (C - 4.0 - 5.5)$$

$$18.5 = 1/4 (C - 9.5)$$

$$4 (18.5) = (C - 9.5)$$

$$74 = C - 9.5$$

$$C = 83.5$$

Use: 80 seg. ciclo

b. Partidura del ciclo es:

	<u>Seg.</u>
Verde-Calle Prin.	52.0
Amarilla	4.0
Verde-Calle Cruce	18.5
Amarilla	<u>5.5</u>
TOTAL	80.0

5. Chequear Probabilidades de Ejecución.

a. Anote Figura 1 con Valores para Calle de Cruce

Volumen crítico de vía	=	200 veh/hr.
Tiempo Total Ciclo	=	80 seg.
Tiempo Luz Verde		18.5 seg.

Lea: Probabilidad de Ejecución: 85%

Tiempo Verde en calle de Cruce no puede ser reducido debido al tiempo mínimo de luz verde que se requiere para los peatones.

PROBLEMA 2 (continuado)

b. Anote Figura 1 con Valores para la Calle Principal

Volumen Vía crítica = 600 veh/hr.

Tiempo Total del Ciclo = 80 seg.

Tiempo Luz Verde = 52.9 seg.

Lea: Probabilidad de Ejecución = 95% +

El tiempo de Luz verde y total del tiempo del ciclo podría ser reducido así:

<u>Ciclo</u>	<u>Luz Verde Calle Principal</u>	<u>Ejecución</u>
70	42	95%
60	32	85%

PROBLEMA 3

Siendo: Intersección Aislada de calles Broadway y Maple

	<u>Calle Broadway</u>	<u>Calle Maple</u>
Ancho del Pavimento	60 pies	44 pies
Volumen Vía Crítica	600 veh/hr	400 veh/hr
Velocidad de Acceso	30 mph	20 mph
Volumen de Peatones	300/hr	200/hr.
Vías de avance	Igual en ambas calles	

Procedimiento:

1. Suponga una operación de 2-fases ya que el volumen para el cruce a la izquierda no es crítico y volúmenes de peatones son moderados.
2. Asuma un tiempo de ciclo de 50 segundos.
3. Determine el período de luz amarilla para vehículos (y).

Broadway	s = 30	w = 44	y = 4.0 segundos
Maple	s = 20	w = 60	y = 5.0 segundos

4. Determinar intervalos verde por el Metodo Proporcional.

$$\begin{aligned} \text{a. Broadway } G_a &= \frac{V_a}{V_a + V_b} (C - Y_a - Y_b) \\ G_a &= \frac{600}{600 + 400} (50 - 4 - 5) \\ &= \frac{6}{10} (41) = 24.6 \text{ segundos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Maple } G_b &= \frac{V_a}{V_a + V_b} (C - Y_a - Y_b) \\ G_b &= \frac{400}{600 + 400} (50 - 4 - 5) \\ &= \frac{4}{10} (41) = 16.4 \text{ segundos} \end{aligned}$$

PROBLEMA 3 (cont.)

5. Chequear el tiempo mínimo de luz verde para peatones.

a. El cruce crítico es Broadway (60 pies) y tiempo fase para Maple es 16.4 segundos de luz verde y 5.0 segundos de luz amarilla.

b. Tiempo mínimo de luz verde requerido es: (Sección B-4).

$$G = 7 + \frac{D}{S} - Y$$

$$G = 7 + \frac{60}{4} - 5 = 7 + 15 - 5 = 17 \text{ seg.}$$

Intervalo Luz Verde para Maple, Calcular a 16.4 seg.  
Ajuste los Intervalos de Luz Verde: Maple 17 seg.,  
Broadway 24 seg.

6. Chequear el tiempo del ciclo

a. Anote Figura 1 con valores para Broadway:

Volumen de vía crítica	= 600 veh/hr.
Tiempo Total del Ciclo	= 50 segundos
Tiempo de Luz Verde Provisto	= 24 segundos
Leer: Probabilidad de Ejecución	= 65%

b. Anote Figura 1 con valores para Maple

Volumen de vía crítica	= 400 veh/hr.
Tiempo Total del Ciclo	= 50 seg.
Tiempo de Luz Verde Provisto	= 17 seg.
Leer: Probabilidad de Ejecución	= 65%

c. Ya que la confiabilidad de ejecución es mayor del 50% (llegadas promedio por ciclo), los tiempos de ciclos y divisiones son adecuados. Si se desea una confiabilidad de ejecución más elevada, entonces debe usarse intervalos más largos de luz verde y ciclo de tiempo mas largo.

PROBLEMA 4a

Siendo:

La Calle State es una calle norte-sur que tiene un ancho de 60 pies con estacionamiento en ambos lados. La Avenida Highland atraviesa la Calle State en angulos derechos y tien 40 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados. Volúmenes en horas de afluencia máxima son demostrados. (Ambas calles operan como calles de doble vía).

Hora de Afluencia Máxima

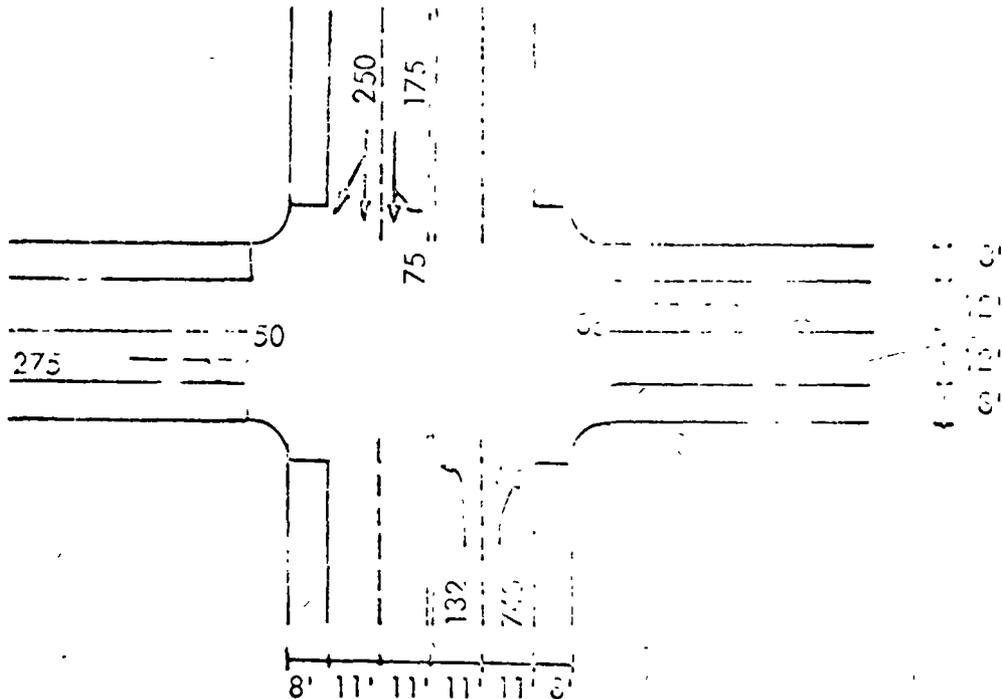
	<u>Hacia Norte</u>	<u>Hacia Sur</u>	<u>Hacia Este</u>	<u>Hacia Oeste</u>
Atravesando	700	400	225	180
Izquierda	132	75	50	35
Derecha	48	25	50	25
	<u>880</u>	<u>500</u>	<u>325</u>	<u>240</u>

Encuentre:

1. Determinar la disposición de la vía para poder operar esta intersección señalizada eficientemente.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determinese las fases más eficientes y el nivel de servicio aproximado.

Procedimiento:

1. Dibuje la disposición de las vías para las intersecciones y asigne volúmenes.



PROBLEMA 4a (cont.)

2. Determinar si se necesita más de una operación de 2 fases.

a. Chequear cruces a la izquierda contra volumen total opuesto (necesita chequear solamente dos accesos críticos)

(1) Accesos Norte-Sur

Cruzando y a la Derecha	748	425
Izquierda Opuesta	75	132
	<u>823</u>	<u>557</u>

(2) Accesos Este-Oeste

Cruzando y a la Derecha	205	275
Izquierda Opuesta	50	35
	<u>255</u>	<u>310</u>

El total de los dos accesos críticos es  $823 + 310 = 1133$

El total de los dos accesos críticos de cruces a la izquierda contra el volumen total opuesto no puede exceder 1200.

Ya que 1133 es menos de 1200 use una operación de 2 fases.

b. Chequear movimiento de "Vía crítica" para determinar el nivel aproximado de servicio. (De nuevo solo se necesita chequear solamente dos accesos críticos)

(1) Chequear cruces a la izquierda contra volumen de vía crítica.

(2) Accesos Norte-Sur

Cruzando y a la Derecha	250	748
Izquierda Opuesta	132	75
	<u>382</u>	<u>823</u>

(3) Accesos Este-Oeste

Cruzando y a la Derecha	205	275
Izquierda Opuesta	50	35
	<u>255</u>	<u>310</u>

El total de los movimientos en las dos vías críticas es  $823 + 310 = 1200$

La Intersección Opera a LØ C.

PROBLEMA 4 (cont.)

3. Finalmente, haga un chequeo para determinar si la operación de dos-fases puede ser acomodada por hora de tiempo de luz verde.

a. Usar los movimientos de vfa crítica

N - S	748 pcph x 2.5 seg.	=	1870 seg.
	75 pcph x 3.6 seg.	=	270 seg.
E - O	275 pcph x 2.5 seg.	=	738 seg.
	35 pcph x 3.6 seg.	=	<u>123</u> seg.
			3101 seg.

Este método de progreso no incluye el tiempo de luz amarilla, pero 3101 segundos es menos de 3600 segundos.

O.K. funcionará como dos-fases

PROBLEMA 4b

Siendo:

La calle State y la Avenida Highland tienen los mismos anchos de pavimento en la calle y las mismas condiciones de estacionamiento como en el problema 4a., pero tienen los siguientes Volúmenes de Afluencia Máxima proyectados por 10 años.

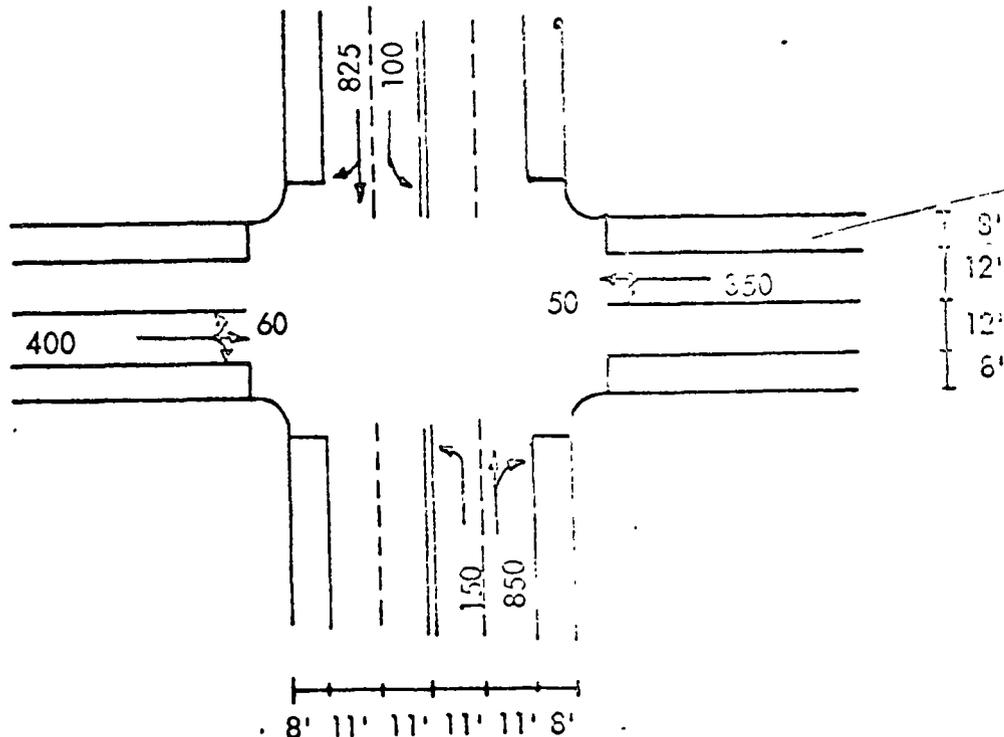
	Hacia <u>Norte</u>	Hacia <u>Sur</u>	Hacia <u>Este</u>	Hacia <u>Oeste</u>
Atravesando	<u>750</u>	<u>675</u>	<u>320</u>	<u>300</u>
Izquierda	150	100	60	50
Derecha	<u>100</u>	<u>150</u>	<u>80</u>	<u>50</u>

Encuentre:

1. Determinar la disposición de la vía para operar esta intersección señalizada, (Pueda que tenga que suprimir el estacionamiento y poner vías de cruce a la izquierda)
1. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determinar las fases más eficientes y el nivel de servicio aproximado.

Procedimiento:

1. Dibuje la intersección con la disposición actual de las vías y asigne volúmenes.



Asuma que los cruces a la izquierda de la vía Sur y la Vía Norte son lo suficientemente pesados como para utilizar una vía completa

PROBLEMA 4b (cont.)

2. Determinar si se requiere más de una operación de dos-fases.

a. Chequear cruce a la izquierda contra total opuesto de tráfico (total de dos accesos críticos no puede exceder de 1200 carros de pasajeros por hora de tiempo de luz verde)

(1) Accesos Norte-Sur

Atravesando y a la Derecha	825	850
Izquierda Opuesta	<u>150</u>	<u>100</u>
	975	950

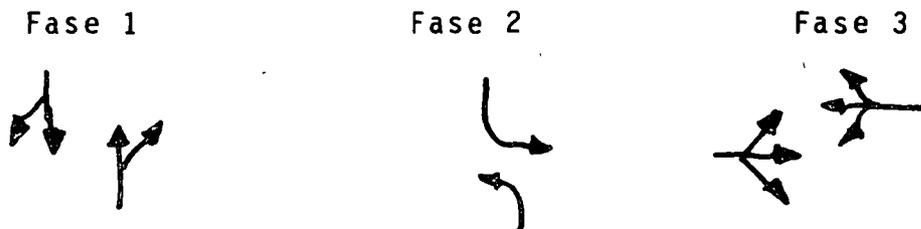
(2) Accesos Este-Oeste

Atravesando y a la Derecha	400	350
Izquierda Opuesta	<u>50</u>	<u>60</u>
	450	510

El total de los dos accesos críticos es  $975 + 450 = 1425 > 1200$ .

La intersección necesita una operación de señales multi-fase.

b. Pruebe la siguiente operación de 3-fases con la disposición actual de las vías.



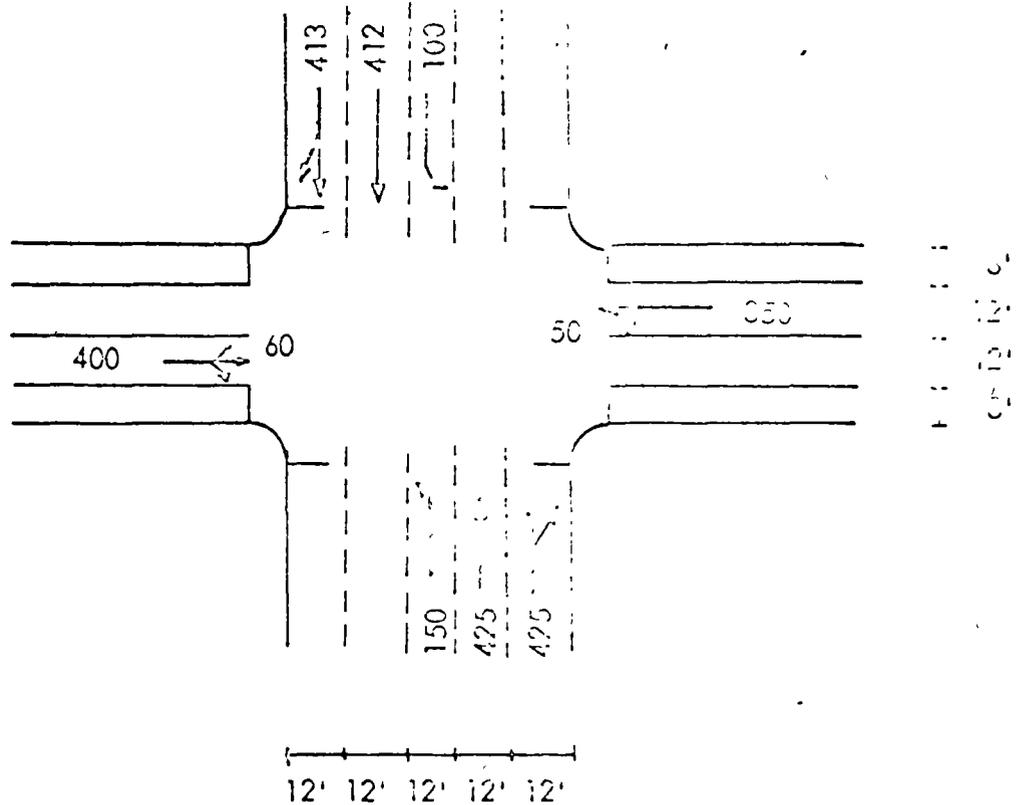
Chequear el movimiento de la vía crítica para determinar el nivel aproximado de servicio.

$$\begin{aligned} V_1 &= 850 \\ V_2 &= 150 \\ V_3 &= 450 \\ \hline \sum V &= 1450 \approx 1500 \text{ casi LØS E} \end{aligned}$$

Necesita mejorar la operación de la intersección

PROBLEMA 4b (cont).

- c. Suprima el estacionamiento en la Calle State, ponga una vía exclusiva para cruce hacia la izquierda y use operación de 3 fases.



De nuevo chequee volumen de la "via crítica"

$$\begin{aligned}
 V_1 &= 425 \\
 V_2 &= 150 \\
 V_3 &= 450 \\
 \Sigma V &= 1025 < \text{igual como LØS B}
 \end{aligned}$$

3. Haga un chequeo progresivo de los movimientos de la "vía crítica"

Fase 1	425 pcph	x 2.5 seg.	=	1063 seg.
Fase 2	150 pcph	x 2.5 seg.	=	375 seg.
Fase 3 Atrav.	400 pcph	x 2.5 seg.	=	1000 seg.
Fase 3 Izq.	50	x 3.6	=	180 seg.
				<hr/> 2613 seg.

OK - Funcionará

Siendo:

Calle Chicago es una calle norte-sur, de dos vías, 60 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados. La calle Davis es una calle hacia el oeste, de una vía, 40 pies de ancho con estacionamiento en ambos lados.

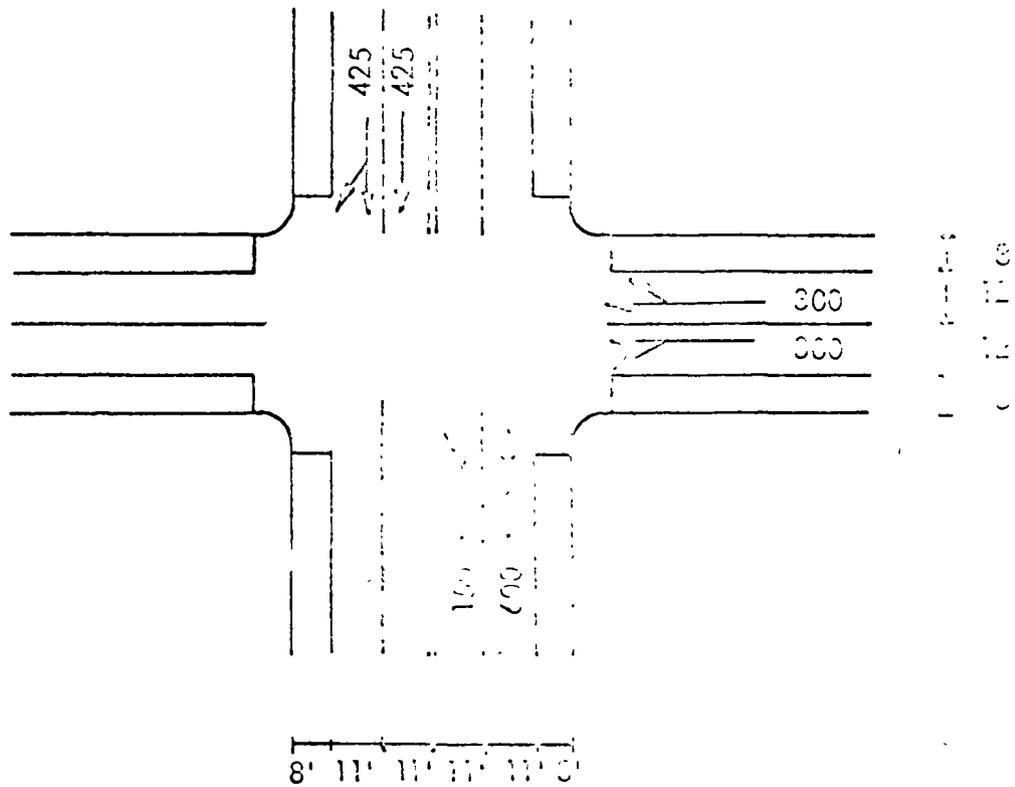
	<u>Chicago Hacia Norte</u>	<u>Chicago Hacia Sur</u>	<u>Davis Hacia Oeste</u>
Atravesando	600	800	500
Izquierda	150	-	50
Derecha	-	50	50

Encuentre:

1. Determinar la disposición de la vía para operar esta intersección eficientemente.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determinar las fases y el nivel de servicio aproximado para esta intersección señalizada.

Procedimiento:

1. Dibuje la intersección de la disposición de las vías y asigne los volúmenes.



(Suponga que los cruces de la izquierda hacia el norte tomarán una vía separada)

PROBLEMA 5 (cont.)

2. Determinar si se necesita más de una operación de dos-fases.

a. Para determinar si todos los cruces a la izquierda pueden ser acomodados durante una hora de luz verde para una calle de dos vías que intersecta una calle de una vía, use la siguiente ecuación.

$$V_L = 1200 \left( \frac{V_A}{V_A + V_B} \right) - V_0$$

Donde  $V_A$  y  $V_B$  son los volúmenes de vía crítica para los accesos críticos. ( $V_A$  es para la calle de dos vías y  $V_B$  es para la calle de una vía).

$$V_L = 1200 \left( \frac{600}{600 + 300} \right) - 850$$

$$V_L = 1200 (2/3) - 850 = 50 \text{ pcph}$$

o un mínimo de 1.6 vehículos por fase por ciclo. En ningún caso, pueden acomodarse 150 cruces a la izquierda bajo la operación de 2-fases.

b. Use operación de 3-fases.

(1) Fase 1



Fase 2



Fase 3



Chequear los movimientos de la "vía crítica" para determinar el nivel de servicio aproximado.

$$V_1 = 425$$

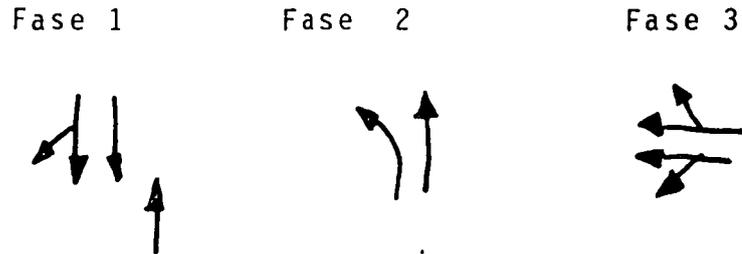
$$V_2 = 600$$

$$V_3 = 300$$

$$\sum V = 1325 \text{ pcph} - \text{alrededor de LOS D}$$

PROBLEMA 5 (cont.)

(2) Pruebe otro método de fases



Revise los movimientos de la "vía crítica" para LOS

$$V_1 = 425$$

$$V_2 = 175$$

$$V_3 = 300$$

---

$$\Sigma V = 900 \text{ pcph aproximadamente } L\emptyset \text{ A}$$

Este segundo método es más eficiente

3. Haga un chequeo progresivo de los movimientos de la "vía crítica"

Fase 1	425	pcph x 2.5 seg.	=	1063	seg.
Fase 2	175	pcph x 2.5 seg.	=	438	seg.
Fase 3	300	pcph x 2.5 seg.	=	<u>750</u>	seg.
				2251	seg.

Funcionará como 3-fases

PROBLEMA 6

Siendo:

La calle Kimball es una calle de norte a sur, de dos vías, que tiene un ancho de 74 pies y una división en el medio de 14 pies. La calle Spring es una calle de este a oeste que también tiene 74 pies de ancho y una división en el medio de 14 pies. Ambas calles tienen estacionamiento en ambos lados.

El Volumen de Afluencia Máxima proyectado es así:

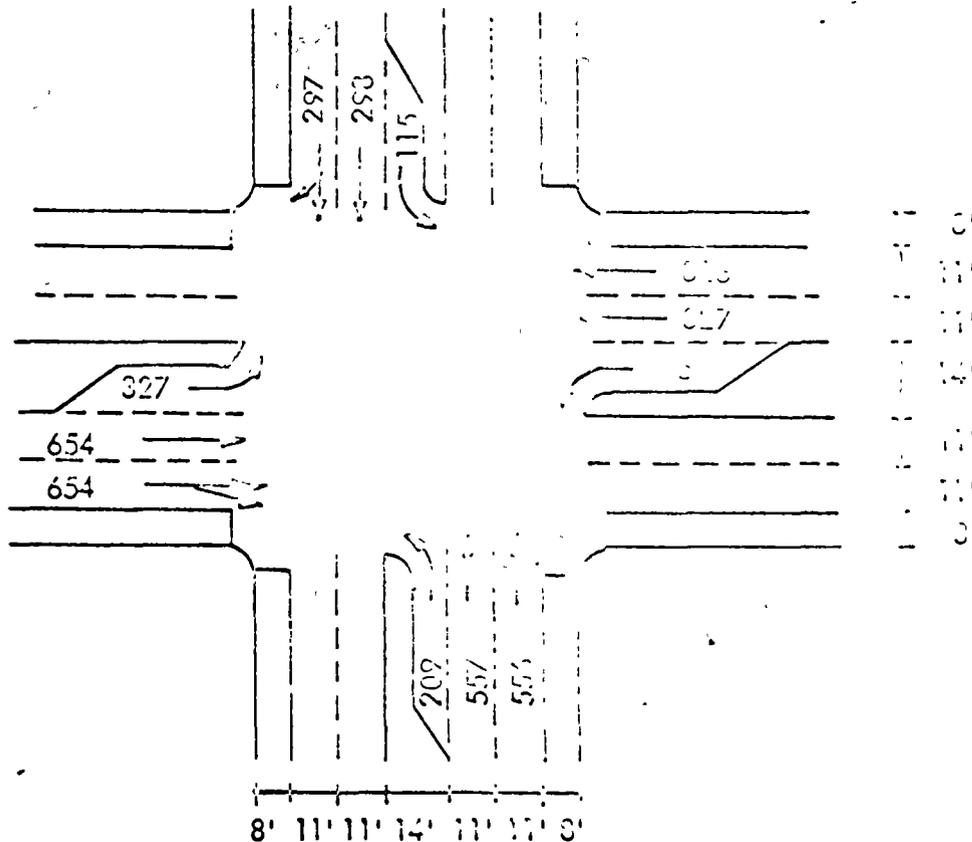
	Hacia Norte	Hacia Sur	Hacia Este	Hacia Oeste
Atravesando	881	435	1098	538
Izquierda	209	115	327	115
Derecha	232	160	210	115

Encuentre:

1. Determinar la disposición geométrica de la vía para poder manejar este volumen proyectado.
2. Por medio de la técnica de movimientos críticos, determine la fase más eficiente y el nivel de servicio aproximado.

Procedimiento:

Dibuje la disposición de la intersección de la vía y asigne los volúmenes.



PROBLEMA 6 (cont)

2. Determinar si una operación de 2-fases puede manejar el volumen arriba indicado.

a. Chequear el volumen de cruces a la izquierda contra total opuesto de tráfico. (Solo por dos accesos críticos)

(1) Accesos Norte-Sur

Atravesando y a la Derecha	1113	595
Izquierda Opuesta	115	209
	<u>1228</u>	<u>804</u>

(2) Accesos Este-Oeste

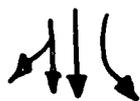
Atravesando y a la Derecha	653	1308
Izquierda Opuesta	327	115
	<u>980</u>	<u>1423</u>

El total de los dos accesos críticos es  $1228 + 1423 = 2651 > 1200$ .

Necesita fases-múltiples

b. Se necesitarán 4-fases ya que el alto volumen de cruce hacia la izquierda es opuesto por movimientos de cruce altos en todos los accesos.

(1) Fase 1                      Fase 2                      Fase 3                      Fase 4



Chequear el movimiento de "vía crítica"

$$V_1 = 298$$

$$V_2 = 557$$

$$V_3 = 654$$

$$V_4 = 327$$

$$\Sigma V = 1836 \text{ pcph} > 1500 \text{ no funcionará}$$

PROBLEMA 6 (cont)

(2) Pruebe un método alternativo de fases

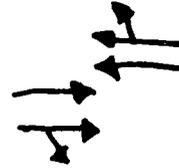
Fase 1



Fase 2



Fase 3



Fase 4



Chequee el volumen de "vía crítica"

$$V_1 = 557$$

$$V_2 = 209$$

$$V_3 = 654$$

$$V_4 = 327$$

---

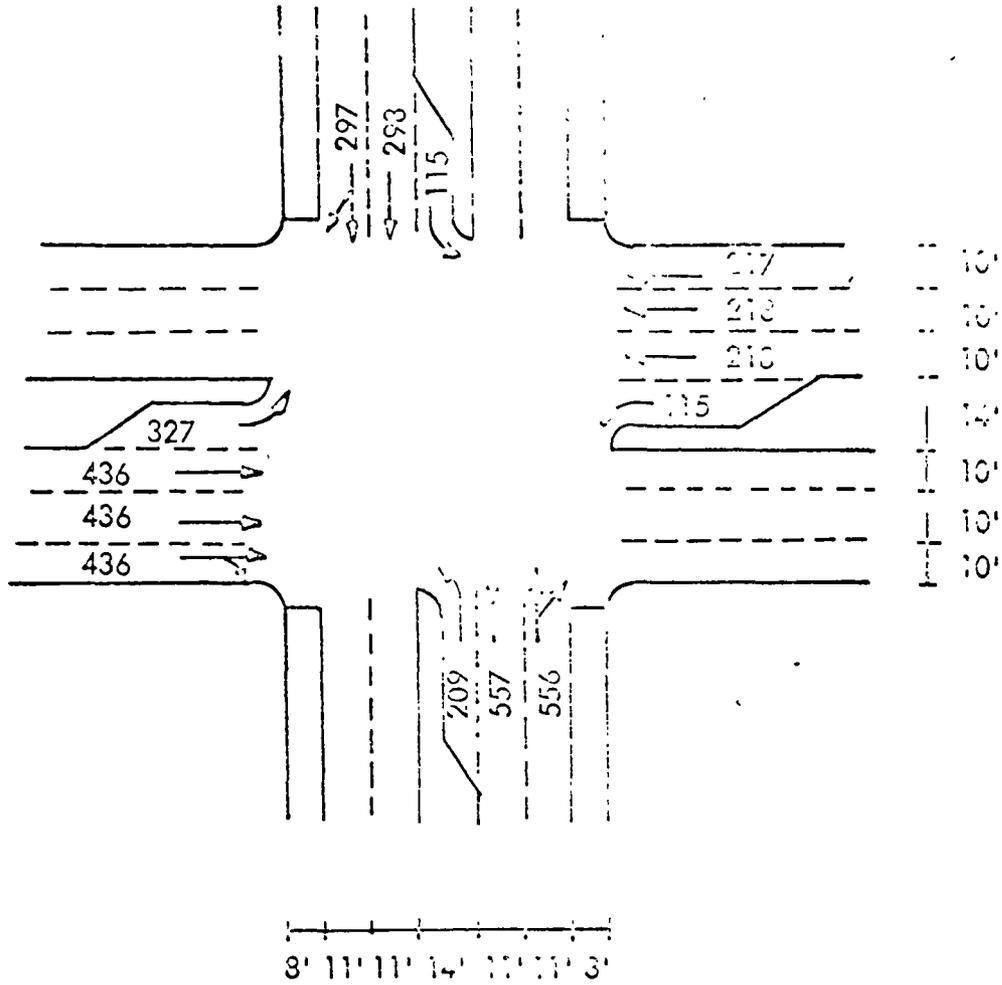
$$\Sigma V = 1747 \text{ pcph}$$

Este método de fases es más eficiente pero es más de 1500 pcph, por lo tanto, no funcionará.

Se necesitan más vías de cruce directo

PROBLEMA 6 (cont)

- (3) Suprima el estacionamiento en la calle este-oeste y use el método más eficiente de 4-fases arriba demostrado.



Chequear volumen de "vía crítica"

$$V_1 = 557$$

$$V_2 = 209$$

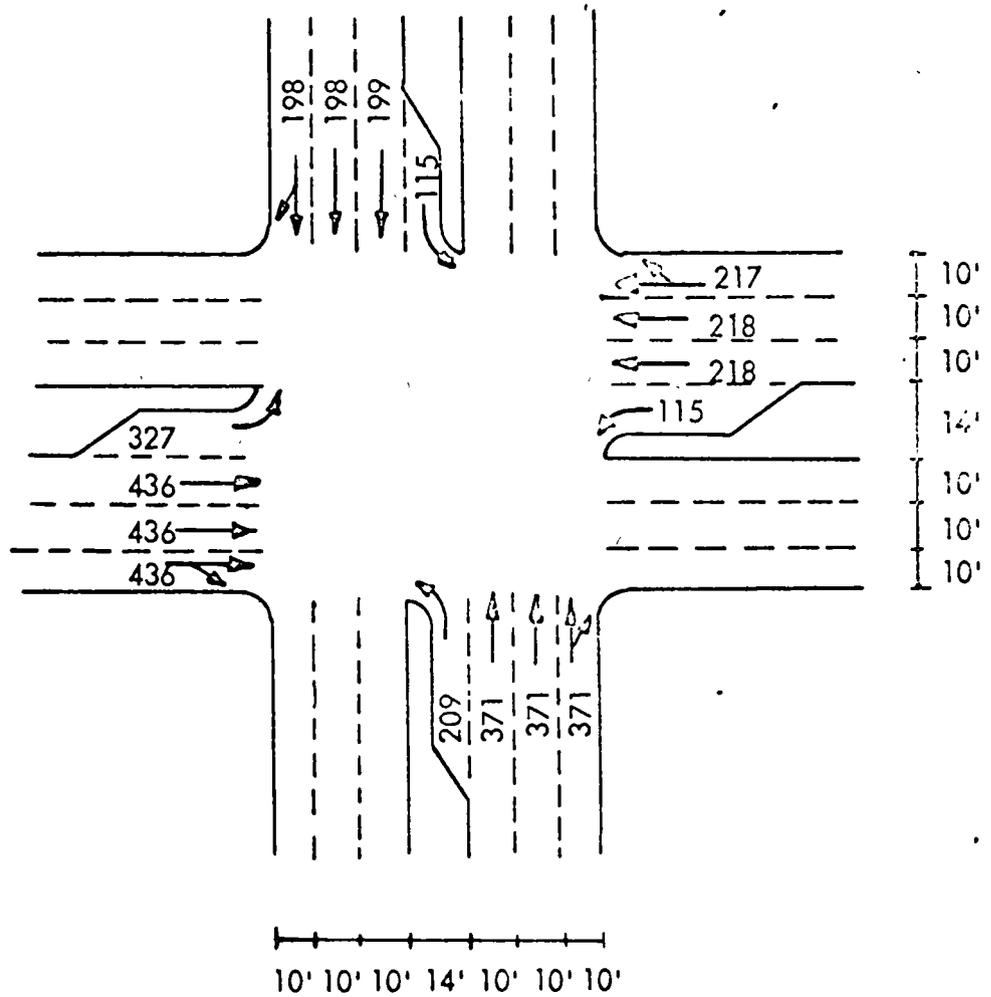
$$V_3 = 436$$

$$V_4 = 327$$

$$\Sigma V = 1529 > 1500 \text{ funcionar a } L\emptyset \text{ E}$$

No es lo suficientemente bueno

- (4) Suprima el estacionamiento de la calle norte-sur así como el de la calle este-oeste. Todavía requiere una operación de 4-fases, ahora más que nunca porque los vehículos que cruzan hacia la izquierda deben cruzar 3-vías.



Chequear movimientos de la "vía crítica"

$$V_1 = 371$$

$$V_2 = 209$$

$$V_3 = 436$$

$$V_4 = 327$$

---


$$\Sigma V = 1343 > 1200 \text{ alrededor de LOS D}$$

PROBLEMA 6 (cont.)

3. Haga una revisión progresiva de los movimientos de la vfa crítica"

Fase 1	371	pcph	x 2.5 seg.	=	928 seg.
Fase 2	209	pcph	x 2.5 seg.	=	522 seg.
Fase 3	436	pcph	x 2.5 seg.	=	1090 seg.
Fase 4	327	pcph	x 2.5 seg.	=	818 seg.
					<u>3358 segundos</u>

Este tiempo no incluye luz amarilla

3358 segundos + Luz amarilla deberfa ser igual a menos de 3600 segundos.

SISTEMAS DE SEÑALES DE TRANSITO COMPUTEURIZADAS

-- Un Futuro --

J.L. Schlaefli

Quinta Reunión Anual  
Distrito 4

Instituto de Ingenieros de Tránsito  
Chicago, Illinois

Julio de 1971

# SISTEMAS DE SEÑALES DE TRANSITO COMPUTEURIZADAS

-- Un Futuro --

J.L. Schlaefli, Gerente  
Programa de Ingeniería para Operaciones de Tránsito  
Instituto de Investigaciones de Standford  
Menlo Park, California 94025

## Introducción

Llevar a su punto óptimo las operaciones de calle ha sido una tarea importante para los ingenieros de tránsito por más de los últimos 40 años. Modificar las calles de ciudades que fueron construidas mucho antes de que se inventara el automóvil para dar abasto a los altos volúmenes de tránsito pide ingeniosidad e imaginación del más alto calibre. Recientemente, el control de sistemas de tránsito con una computadora digital apareció como un instrumento nuevo muy importante para el ingeniero del tránsito. Muchas ciudades ya han instalado sistemas para el tránsito controlados por computadoras. Los informes dan cuenta de los beneficios que traen estas instalaciones en términos de eficiencia para mejorar el flujo del tráfico, en seguridad, y de la nueva flexibilidad de aplicación de las estrategias de control de tránsito (1,2,3,4\*). El potencial de estos sistemas para aumentar la capacidad y mejorar las operaciones del tránsito ya ha sido demostrado. En un futuro próximo, nuevas aplicaciones ofrecerán muestras aun mejores de las capacidades inherentes al Hardware de la computadora digital y los conocimientos necesarios de programación para poderse aplicar esos sistemas a los problemas apremiantes de congestión de tránsito.

-----  
Los números arriba de la línea indican referencias de la lista al final de este trabajo.

El propósito de este trabajo es de discutir la experiencia habida con la computadora digital y el futuro de esta en los sistemas de señales de tránsito. El enfoque que hacemos es el de examinar los datos sobre sistemas existentes que están en operación. Del mismo modo que en muchos otros campos nuevos, la documentación sobre estos sistemas es escasa. La evaluación que hacemos en este trabajo está basada en gran parte sobre el conocimiento directo del autor. Esta experiencia fue ganada con visitas a las redes de señales de tránsito que están controladas con computadoras digitales y con discusiones extensas con los ingenieros de tránsito y con ingenieros de electricidad responsables por la operación y el mantenimiento de estos sistemas.

Del modo en que el futuro de las computadoras digitales está dirigido en materia de sistemas de señales de tránsito, sus aplicaciones a los problemas específicos del ingeniero de operaciones de tránsito debería ser considerado. A fin de hacerlo más útil, este trabajo debería adelantar respuestas a los siguientes tipos de preguntas:

- . En qué consisten algunos de los importantes desenvolvimientos en control de tránsito por computadora digital?
- . Cuanto costaron estos desenvolvimientos y como se justificó el costo?
- . Cual ha sido el verdadero beneficio de la implementación del sistema?
- . Que lecciones pueden aprenderse de esta experiencia en desarrollo?

#### Sistemas Representativos

Tal como se ha afirmado arriba, la verdadera experiencia de operación se utilizará para describir el uso de las computadoras digitales en el control del tránsito. Se ha seleccionado para la discusión las instalaciones en ocho ciudades. Naturalmente, hay docenas de detalles técnicos y operacionales relativos a estos sistemas. Aquellos que consideramos de mayor relieve para los fines de este trabajo se resumen en el Cuadro I y son discutidos abajo para cada instalación representativa.

Nueva York ( 5, 6)

Nueva York ha sido comprendida en un programa comprensivo para mejorar su sistema de señales de tránsito desde hace cierto número de años. Durante la Primavera de 1968, la ciudad decidió implementar un sistema de control de tránsito basado en la computadora IBM 1.800. El primero de doce sistemas ibm 1.800 entró en capacidad operativa en mayo de 1969 y está controlando el tránsito en las arterias principales de Queens. Unas 433 intersecciones están actualmente bajo control. Las decisiones de control están basadas en datos históricos de tránsito y sobre una vigilancia llevada a cabo con detectores ultrasónicos colocados en algunos sitios seleccionados a lo largo de las calles arteriales bajo control. Cuando las doce computadoras de sistema IBM 1.800 estén en capacidad de operación -- lo que ahora está proyectado para después de 1975, 7.500 intersecciones estarán bajo control de computadora digital, lo que representará el sistema más grande del mundo.

El Comisionado del Tránsito de la Ciudad de Nueva York es responsable por el desarrollo y operación del sistema. Se ha adaptado controles de tipo simple, con un solo disco, electromecánicos, para ser usados por el sistema, y la comunicación de información de los detectores y entre la computadora y los controles se hace por líneas telefónicas con grado para señales, las cuales líneas son alquiladas. La instalación del segundo sistema IBM 1800 se vió significativamente retrasada por las largas negociaciones legales que hubo que hacerse con la Compañía telefónica.

Cuadro 1  
SISTEMAS DE CONTROL DE TRANSITO REPRESENTATIVOS CONTROLADOS POR COMPUTADORA

Ciudad	Tipo de Red	Intersección/ Detectores	Tipo de Computadora	Oficina Responsable	Estado del Sistema	Tipo de Control	Tipo de Detector
Nueva York	Arterial (Queens)	433 (7500)/ Pocas	Digital	Comisionado de Transito	Operacional 24 horas	Electromec.	Ultrasónico
Londres	Arterial red	100 (400)/ 350 (900)	Digital	Desarrollo & Tránsito	Operacional 24 horas	Accionado p. veh.	Presión bajo pav.
Baltimore	Ciudad total	900/ 1000	Digital	Comisionado de Tránsito	Desarrollo	Nuevo control oper.	Ultrasónico
Toronto	Area total	864/ 600	Digital	Metro Carr. & Transito	Operacional en hr. afl. max.	Electromec.	Circuito
Glasgow	Red (CBD)	80/ 140	Digital	Ing. de la ciudad	Operacional 24 horas	Accionado p. veh.	Presión & circuito
San Jose	Red (CBD) Arterial	60/420	Digital	Departam. de tráns.	Operacional hrs. afl.max.	Electromec.	Circuito
Charleston S.C.	Arterial Red (CBD)	90/ 87	Digital Análogo	Dept. de Transito	Operacional 24 horas	Accionado p. veh.	Circuito

Cuadro I (continua)

Ciudad	Tipo de Comunicación	Sistema de computación	Tipos de exposición	Funciones de control	Funciones de la computadora	Estratégias de control
Nueva Y.	Telef. c/ grado de señal	IBM 1800, IBM 360/50 disco tape, TV, tarj.	Mapa, CRT	Respaldo, est. fases, conflic. a veces	Adv. & t. de f. det. rast. con- trol, report	Tiempo fijo dur. el dia, "micro- circuito" posible
Londres	Cable directo algo de Multip.	Dos Plessey XL9 disco, tape de papel, TV	Mapa, TV, CRT	Lo mismo más accion. p. veh.	Adv. & tiempo de fase, det. rast. contr.rpt.	T. fijo dur. dia, optimiz. offline
Baltimore	Multiplex dedicado	Nuevo	Mapa, CRT, Proj. tras.	Igual que Lon más salto de fase	Adv. & t. de f. det.rast.cont.rpt.	T. fijo dur. dia, "split" variable, crit. int.
Toronto	Multiplex por telef.	UN 1107, UN418 tape, tambor tarjeta, print	Mapa	Igual que Lon sin salto de fase	Adv. & t. det. rast.cont.rpt.	T. fijo dur. dia, "split variable
Glasgow	Cable directo algo de Mult.	Myriad I TV tape de papel, drum	Mapa	Igual que Lon sin salto de fase	Adv. & t. de f. det.ast.cont.rpt.	Igual que Lon
San Jose	Cable directo	IBM 1800, disco tarj. TV, copiad.	Mapa	Mismo que NY	Adv. & t. de f. det. ast.c. rpt.	Igual que NY
Charles- ton, SC.	Cable directo	PR analog., PDP-8 tape papel, TV	Mapa, TV	Respaldo, todo en fase y tiemp. accionado p. veh skip.(salto)	Funciones PR det. rast. report.	Fijo durante el dia, tipo PR.

Actualmente, el sistema de Nueva York tiene dos IBM 1800s ubicados en el primer piso del Cuartel General del Departamento de Tránsito en su oficina de Queens. Otra IBM 360/50, mas grande, tambien está colocada y en última instancia servirá para proveer administración de los datos y control de alto nivel de las doce IBM 1800. Un mapa expone el estado de la señal en cada una de las intersecciones controladas en Queens que está en operacion junto con varios otros tableros de exposición tipo cathode ray tube (CRT). El CRT presenta el estado de la intersección y de los alarmas en caso de falla. Los controles electromecánicos mencionados anteriormente funcionan como relojes de respaldo y secuencias de fases para cada intersección. Los controles más nuevos ahora se estan instalando y tienen capacidad para semiaccion de intervalos. La computadora provee señales para adelantar las fases y las duraciones de tiempos de fases desde el sitio central de control. La computadora tambien ejecuta las funciones de rastreador detector, de control de circulación, reporta el estado del control, y resume los parámetros de flujo del tránsito. Básicamente, las estrategias de tiempo del dia, control de tiempo fijado se están aplicando en Nueva York. El sistema IBM 1800 naturalmente es capaz de "feed back" de tiempo real, como modo de control de tránsito cuando se le arma con los "inputs" necesarios para ser detector.

Londres 8, 9, 10, 11.

El control de tránsito con computadoras fue iniciado en Londres en 1963. Al principio, 100 intersecciones del Oeste de Londres fueron controlados por una computadora digital y aproximadamente 350 detectores fueron usados por el sistema. El sistema actualmente está en proceso de expansión para incluir 300 intersecciones en el area Central de Londres con 550 detectores adicionales. El instituto responsable de este desarrollo y operación es el Departamento de Tránsito Desarrollo del Consejo de Greater London. Actualmente, el sistema del Oeste de Londres es operacional 24 horas del dia. Los controles accionados por vehiculos y los detectores bajo el pavimento, hecho al estilo

Ingles, fueron incorporados al sistema original. Las comunicaciones son suministradas por un sistema de cable directo sobre el cual algunos de los datos son tratados con Multiplex. El sistema inicial incluye dos computadoras digitales de tipo Plexxey SL9, un disco, cinta ("tape") de papel, y máquina de escribir. Hay circuito cerrado de TV en casi todas las intersecciones del sistema, un mapa, y se usan expositores CRT muy comprensivos. La policía juega un papel muy activo en el control del tránsito desde el centro de computación. Durante las horas de tránsito intenso el control funciona en gran medida al igual que lo descrito arriba con respecto a Nueva York, en el sentido de que provee un reloj de tiempos para complemento, fases, detección de conflictos, y algo de tiempos de intervalo. En horas que no son de gran afluencia, (horas huecas) el sistema de Londres puede volver a una modalidad local, actuado por los vehículos. Las principales funciones de la computadora son de adelantar las fases de señales, establecer tiempos de fases, rastrear los datos en los detectores, calcular los parámetros de control y producir informes de producción (output) a alto nivel para ser usado como material de trabajo o para el CRT.

Igual que en Nueva York, el sistema en Londres opera de acuerdo a una estrategia de control optimizada, con tiempo fijo según la hora del día, con cuadro de referencia. Las optimizaciones fuera de línea, que usan los datos sobre tránsito recogidos de los detectores, forman la base para el diseño del procedimiento de cuadros de referencia.

#### Baltimore, Maryland

Baltimore ha operado quizás el más extensivo sistema de control de tránsito con computadora análoga de los Estados Unidos. La ciudad actualmente está empeñada en un gran proyecto de mejora para convertir el sistema análogo al sistema de computadora digital.

Este es el único ejemplo dado en este trabajo de un sistema que no está completamente desarrollado u operacional. Se le considera aquí por cuanto representa el diseño funcional de un sistema de control de tránsito completamente nuevo. Todas las señales de tránsito de la ciudad de Baltimore estarán eventualmente bajo el control del nuevo sistema. Esto quiere decir que unas 900 intersecciones y unos 1.000 detectores serán incorporados.

La responsabilidad del desarrollo y manejo del sistema está depositada en el Comisionado de Tránsito. Un nuevo control "solid - State", diseñado específicamente para ser aplicado en Baltimore será especificado. La selección final del tipo de detector que deberá ser usado no ha sido hecha aún, pero seguramente que los detectores ultrasónicos como los usados en la ciudad actualmente jugarán un papel preponderante. Las comunicaciones serán llevadas a cabo por medio de un sistema de "hard wire" dedicado, usando Multiplex con división de tiempo (TDM). El sistema de computadoras aun no ha sido seleccionado, pero debería representar el control operativo en el proceso de las computadoras digitales tipo control.

Se usará un mapa ilustrativo, CTR, y un cuadro ilustrativo. Las funciones del control serán similares a las descritas anteriormente, si bien se especificará una capacidad de saltar fases. También aquí, las funciones de la computadora son parecidas a las de los sistemas de Nueva York y Londres. Inicialmente, se aplicarán estrategias de control a tiempo fijo durante el día, pero el sistema de Baltimore desarrollará e implementará estrategias de control para las intersecciones críticas y "división variable".

Toronto, Canada 12,13,14,15,16.

El control de señales de Tránsito por computadora en Toronto metropolitana fue uno de los primeros grandes proyectos de su tipo emprendidos en Norteamérica. El desarrollo del sistema tuvo lugar desde 1959

Actualmente todas las señales, con excepción de unas 50 situadas en el area de la Toronto Metropolitana Mayor (es decir, 864 intersecciones señalizadas) y 600 detectores ya están incorporados.

El Metropolitan Roads & Traffic Department (Departamento Metropolitano de Carreteras y Tránsito) es la dependencia gubernamental que está a cargo de manejar y desarrollar el sistema.

En Toronto, la computadora controla el tránsito durante las horas de afluencia máxima solamente. Durante las demás horas, de menos afluencia, se usa la computadora para otras tareas de computación. Se usan controles electromecánicos de reloj simple en Toronto, con el disco para hacer funcionar el sistema coordinado con tiempo fijo cuando la computadora no está conectada en "on line".

Los detectores de circuito se usan para vigilancia del tránsito y se usa un sistema de comunicaciones por teléfono. Una computadora digital de gran escala, la Univac 418, suministra capacidad de computación al sistema. Unidades con cintas magnéticas, tambor-memoria, input/output de tarjetas, y un impresor de líneas constituyen periferales asociados con las dos computadoras. El método principal de exposición y referencia del sistema es un mapa a gran escala mostrando el estado de todas las señales que están bajo el control de la computadora. Las funciones del control son bastante iguales a las de Londres en la medida que proveen refuerzo al reloj de tiempos, secuencias de fase, y en algunos casos un control de refuerzo semi-actuado. El control no tiene capacidad para hacer saltar las fases. La computadora provee hojas de registro de datos, registro de tiempos de señales en todos los intervalos, detectores rastreadoras, y envia así como recibe, pulsaciones hacia y desde el control, ejecutando cálculos de control y produciendo informes de actuaciones similares a los casos mencionados arriba.

También en Toronto se usan patrones fijos para las horas del día. Sin embargo unas 80 intersecciones tienen capacidad para control dividido ciclo por ciclo. Los patrones de control a tiempo fijo varían por intervalos de 15 minutos.

Glasgow, Inglaterra 17,18,19,20,21,22.

El experimento llevado a cabo en Glasgow con control de tránsito con computadoras es uno de los mas comprensivos hasta ahora. El sistema de Glasgow controla 80 intersecciones con aproximadamente 240 detectores en el área del centro de la ciudad (downtown). El British Road Research Laboratory (Laboratorio Británico de Investigaciones de Carreteras) ha llevado a cabo un gran número de experimentos de control en Glasgow pero actualmente el sistema está bajo el control operacional del Ingeniero de la Ciudad.

En Glasgow, los controles accionados por vehículos de tipo Británico standard fueron convertidos de modo a poder ser usados con computadoras. Los detectores usados son a la vez colchonetas de presión y circuitos magnéticos. La mayor parte de las comunicaciones se hace por un sistema de cable directo dedicado. Sin embargo, se usa asimismo un poco el Multiplex. Una computadora Myriad I maneja el sistema y tiene cinta de papel, máquina de escribir, y almacenaje de tambor auxiliar a manera de periferales.

El cuadro de exposición principal lo constituye un mapa a gran escala del area controlada de la ciudad mostrando las fases de señales y las actuaciones de los detectores. Las funciones del control y de la computadora se parecen a las descritas para Londres. Mucha de la tecnología de Londres se desarrolló en Glasgow. Cuando no se está usando el sistema en experimentos de control de tránsito, la estrategia operacional es la que provee los patrones

fijos de salida para las horas del día que fueron desarrolladas por los programas "off line" de optimización.

San Jose, California 23

San Jose fue la primera aplicación importante de las computadoras digitales al control del Tránsito en los Estados Unidos. Actualmente la red del centro de la ciudad (downtown) y de una arteria principal están bajo control de la computadora. Aproximadamente 60 intersecciones con 420 detectores constituyen el sistema.

El sistema de San Jose es el más instrumentado del mundo.

El manejo del sistema es responsabilidad del Departamento de Tránsito, y la computadora se usa durante la mañana y en la tarde, en horas de afluencia máxima de San Jose. Se usan controles electromecánicos modificados, similares a los mencionados para Nueva York. Se usan detectores de circuito magnético por toda la red y se provee un circuito para cada vía en cada cuadra del sistema.

Un sistema de "hardwire" dedicado fue desarrollado por la ciudad y se está usando. El sistema de "hardware" para la computadora lo constituye una IBM 1800 con periferales que comprenden un disco, un lector de tarjetas, una perforadora de tarjetas, máquina de escribir, e impresora.

Se provee un mapa simple para exposición y referencia, que da el estado de las intersecciones y una indicación de la fase de señal.

Las funciones de computadora y control son similares a las descritas para Nueva York, y las estrategias de control usadas operacionalmente son básicamente del tipo de tiempo fijo para las horas del día.

Charleston, South Carolina 24, 25

La ciudad de Charleston, Carolina del Sur, ha desarrollado un sistema único para controlar el tránsito por medio de computadoras. Este sistema usa una combinación de computadoras análogas y digitales. El sistema controla unas 90 intersecciones en un área de 9 millas cuadradas. Unos 87 detectores que pueden ser usados para muestreo de volúmenes de tránsito, su velocidad, y su densidad, están distribuidos por sitios estratégicos a través de toda la red. Este sistema fue desarrollado y es manejado por el Departamento de Tránsito y transporte y funciona durante las 24 horas del día. Los controles locales son de dos y tres fases, del tipo responsivo al tránsito, y cada uno con sus propios detectores. Se usan circuitos magnéticos, y un sistema de comunicaciones con cable directo dedicado trae información y comunicaciones de voz hasta el centro de control. El sistema de computadoras es básicamente una serie de computadoras análogas de tipo PR conectadas con una computadora digital PDP-8L. La PDP-8L tiene cinta de papel y máquina de escribir para el "input". El sistema tiene circuito cerrado de TV hasta varios puntos clave de la red y usa un mapa para exponer el estado de las señales en todas las intersecciones. Los controles establecen todos los tiempos de intervalos a nivel local. Proveen tiempos de referencia y tienen capacidad para saltar las fases. La computadora análoga selecciona los patrones de control de tránsito y controla todas las instrucciones para la operación del sistema. La computadora digital provee funciones auxiliares tales como acumulación de estadísticas y la ejecución de funciones de prueba del sistema. Básicamente, estrategias de control de tiempos fijos para ciertas horas del día, que son empleadas del mismo modo que suele

usarse en un sistema de tipo PR.

Surfers Paradise, Queensland 26,27.

Surfers Paradise es una pequeña comunidad costera cercana a Brisbane, Australia. Un sistema de control con computadora digital fue instalado en fines de 1969, en 27 intersecciones de lo que funciona como dos arterias paralelas. Unos 66 detectores son usados para alimentar ("feed back") la computadora digital con información. El sistema fue desarrollado e implementado por el Comisionado de Main Roads, Main Roads Department, y es operacional las 24 horas del día. Se usan controles electromecánicos, y también "solid state", así como detectores con circuitos magnéticos y un sistema de comunicaciones de cable directo dedicado.

Una computadora Honeywell 516 de control de proceso con cinta de papel y máquina de escribir a manera de periferales, constituyen el corazón del sistema.

Para exposición y referencia se usa un mapa y un CRT, junto con un sistema de TV con circuito cerrado para observar el flujo del tránsito por las arterias.

Las funciones del control son similares a las de otros sistemas de control con computadoras digitales ya descritos. El sistema de Surfers Paradise tiene capacidad para saltar las fases.

Las funciones de la computadora también son similares porque proveen adelanto de fase, tiempos para las fases, rastreo de los detectores, cálculo de controles, e informes de actuación resumidos.

Básicamente se aplica una estrategia de tiempo fijo para horas del día (no de afluencia máxima), pero continuamente se va sobreponiendo un control de división variable sobre todas las señales del sistema.

### Beneficios y Costos del Sistema

Las dificultades aparecen cuando se interroga a quienes hicieron los trabajos de desarrollo y se revisa la literatura existente para determinar los costos y beneficios reales del sistema. Muchas veces los sistemas fueron desarrollados con una combinación de recursos, y resulta difícil determinar los costos de los servicios suministrados por las ciudades propiamente dichas. Los beneficios de control, por otra parte, están bien dentro de las posibilidades de los ingenieros de tránsito para ser determinados. El problema es que el sistema de control de tránsito por computadora muchas veces abarca un área importante de la ciudad, lo que vuelve los experimentos de campo "antes y después" lentos y costosos. De cualquier manera, los sistemas representativos discutidos anteriormente han sido analizados en la forma más completa posible y la información referente a costos y beneficios está compendiada en el Cuadro 2. El cuadro 2 muestra los costos de instalación de los sistemas en millones de dólares. A fin de considerar este costo dentro de la perspectiva correcta, el número de detectores por intersección ha sido calculado. Este número representa la complejidad del sistema de equipos de campo y de comunicaciones, que es un elemento primordial del costo del sistema. Como se ha notado, las relaciones entre los detectores y las intersecciones varían desde mucho menos que 1 en Nueva York hasta aproximadamente 7 a 1 representando 1 detector en cada vía de cada cuadra en San José. La mejor información de costos que se pudo obtener indica que los costos por intersección varían de aproximadamente \$1.600 en Nueva York hasta aproximadamente \$15.000 en Surfers Paradise. En Nueva York, el costo de \$700.000 corresponde al equipo de computadora solamente.

Cuadro 2  
COSTOS Y BENEFICIOS DEL SISTEMA REPRESENTATIVO

Ciudad	Costo del Sistema (millones)	Detectores por Intersección	Costo por Intersección	Resultado del Control	Beneficio (millones)
Nueva York	\$0.7	1	\$1.6	20 a 40% reducción en tiempo de viaje?	?
Londres	1.3	3.5	13.0	9% reducción del tiempo de viaje	\$5.4
Baltimore	4.5	1.1	5.0	?	?
Toronto	4.0	0.7	4.7	8 a 37% reducción del retraso	?
Glasgow	0.8	3.0	10.0	12% reducción en el tiempo de viaje	\$1.2
San Jose	0.5	7.0	8.4	10 a 12% de reducción del retraso	?
Charleston, S.C.	0.6	1.0	6.7	?	?
Surfers' Paradise	0.4	2.5	15.0	?	?

Al revisar los datos de costo, se cree que las cifras referentes a Londres, Glasgow, Charleston y Surfer's Paradise son las más exactas por largo trecho. El alto costo de instalación del centro de control y de los "hardware" y "software" de las computadoras digitales de base refuerzan la suposición de que los costos por intersección decrecerán a medida que se incorpore más intersecciones. En Surfer's Paradise, las próximas 50 intersecciones que se incorporen al sistema necesitarían muy poco costo en "hardware" o "software". Por lo tanto, el costo por intersección para las próximas 50 sería mucho menor que los \$15.000 mostrados en el Cuadro 2. Si se considera la información correspondiente a Londres, Glasgow, Charleston y Surfer's Paradise, \$10.000 a \$12.000 por intersección parece ser una estimación razonable para la consecución e instalación. Sin embargo, este número debería ser tratado con cuidado ya que aun parece haber una cantidad considerable de costos desconocidos.

Tal como se ha declarado arriba, la aplicación de sistemas de control por computadora en las redes citadinas no han sido evaluadas extensivamente. Se hicieron algunos estudios referentes a retraso y velocidad en las arterias de Nueva York, las cuales demostraron una reducción de 20 a 40% en tiempo de viaje. Sin embargo, no parece haber intento alguno de medir las pérdidas en tiempo de viaje que se añaden al tránsito que viene de las calles secundarias. Por lo tanto, resulta difícil poner un valor en dólares al beneficio de las reducciones en tiempos de viajes.

San José anotó una reducción en retraso de 10 a 12 por ciento, basado en una evaluación hecha en campo con muestreos esporádicos.

Sin embargo, hay una interrogante seria respecto a si las reducciones en retraso se debieron a la implementación del sistema con computadora propiamente dicho, o por el esfuerzo intensivo de ingeniería de tránsito que se llevó a cabo al mismo tiempo. Las reducciones de 8 a 37 por ciento fueron medidas en varios estudios con muestreos hechos al azar en Toronto. Aquí tampoco se hicieron evaluaciones extensivas.

Glasgow, Escocia, es el sitio donde quizás se hicieron las evaluaciones más extensivas de los resultados del control de tránsito por computadora. En general, el sistema de control con tiempo fijo durante las horas del día que no son de mayor afluencia, dió en Glasgow una reducción de 12 por ciento en tiempo de viaje. Otros experimentos de naturaleza similar se hicieron en Londres, y se determinó allí una reducción de 9 por ciento. En cada uno de estos casos, tal como se muestra en el Cuadro 2, se asignó valores en dólares a las reducciones en tiempo de viaje. En Londres, se calculó una ganancia per año y en Glasgow, un cálculo similar indicó una ganancia de \$1.2 millones. Esto lleva a una relación de ganancia a costo de aproximadamente 4 a 1 y 1.5 a 1, respectivamente. Al notarse que se trata de una relación de ganancia/costo anual, la inversión se amortiza en menos de un año. Este resultado total no es sorprendente ya que el mejoramiento del rendimiento de las señales de tránsito en un sistema con calles congestionadas aumenta los beneficios con rapidez en términos de tiempo de viaje reducido y en disminución de los retrasos que sufren los conductores. La mayoría de los sistemas de control de tránsito bien calculados por sus ingenieros que tienen la flexibilidad para adaptarse a patrones cambiantes en el tránsito se espera podrán rendir beneficios públicos del orden de los que han sido calculados para Londres y Glasgow.

### Lecciones Aprendidas

Si bien la experiencia que se tiene con sistemas de señales de tránsito a base de computadoras aun no es muy completa, ha habido una serie de lecciones importantes aprendidas por los ingenieros del tránsito que fueron responsables por el desarrollo, la implementación, y la operación de estos sistemas. El estudio presentado arriba se llevó a cabo para identificar estas lecciones y para describir cómo pueden ser aplicadas en otras ciudades. Con un exámen de la literatura y por medio de discusiones con la gente responsable por el desarrollo de los sistemas representativos discutidos anteriormente, se llegó a las conclusiones que presentamos más adelante.

Una de las preguntas que se hicieron a cada una de las personas que tuvieron experiencia con los sistemas de señales con computadoras fue la siguiente: "Cual fue el beneficio más significativo que brindó la implementación de su sistema?" No sabiendo qué serían las respuestas, sorprendió el hecho de que fueron relativamente consistentes, visto la dificultad de la pregunta. En palabras sencillas, el beneficio más significativo de un sistema de señales de tránsito controlado con computadora fue que el ingeniero de tránsito que lo maneja tiene ahora un instrumento que le permite controlar y sintonizar su red de tránsito desde un punto centralizado, de modo seguro y efectivo.

Se cree que el descubrimiento anterior es un resultado significativo de este estudio, ya que la opinión fue casi unánime. Sin embargo, también se aprendieron otras lecciones más específicas, como se describe brevemente a seguir.

- Aplicación Unica -- Todos los sistemas estudiados eran únicos. La red del tránsito, la situación política, y los recursos de los ingenieros de tránsito y de los ingenieros de electricidad eran generalmente bastante diferentes. Por lo tanto, el sistema que conviene a un lugar puede estar lejos de ser óptimo para otro.
- Justificación de Costos y de Sistema -- Ya se ha afirmado que los costos no están bien documentados. Puede tomarse ciertos lineamientos de la información de costos presentada, y la justificación del sistema se ha basado con bastante consistencia en la economía proyectada sobre los retrasos del tránsito.
- Beneficios del Nuevo Control -- No ha habido evaluación completa de las diferentes estrategias de control que fueron implementadas. Un beneficio queda claro ya que el ingeniero del tránsito gana flexibilidad para adaptarse a ciertas situaciones especiales del tránsito. No hay duda que habrá que llevarse a cabo más investigaciones sobre las estrategias nuevas de control.
- "Hardware" para Control Operativo -- La mayoría de los sistemas analizados no emplean "hardware" de Control Operativo. Hay varias razones para esto, siendo que una de las más importantes es el cambio dinámico de la tecnología de las computadoras. La tecnología actual puede ofrecer ventajas de costo y de operación por sobre los sistemas existentes.
- Promesas del Hardware/Software -- Todos y cada uno de los que trabajaron en el desarrollo de sistemas admiten que el problema técnico de provisión de "hardware" y "software" para los sistemas de señales de tránsito por computadora no es grande. Sin embargo, la inabilidad de evaluar correctamente el control operativo comparado con la configuración propuesta del sistema ha llevado a varias marchas atrás. La lección aprendida aquí es simplemente, "cuidado con las promesas de los vendedores".

- Detección -- Varios de los que han trabajado en el desarrollo de sistemas han señalado cuan serio es el problema de detección de los vehiculos. Los detectores magnéticos con circuito, por su bajo costo y relativa exactitud, constituyen ventajosa escogencia para aplicación a sistemas de control de tránsito por medio de computadoras.
- Centros de Computación -- En varios casos, el propósito principal de un sistema de señales de tránsito con computadora ha sido superado cuando la computadora se utilizó para aplicaciones otras que las del tránsito.

#### Características de los Sistemas

Considerando experiencias generales con la aplicación de la computadora digital al control del tránsito, debería tenerse presente los siguientes siete factores cuando se llevare a cabo el desarrollo de un sistema específico:

- 1.- Llevese al Máximo la Flexibilidad del Sistema -- Esto se logra con buena ingeniería de "hardware" combinado con control flexible del tránsito, vigilancia, y software de información.
- 2.- Provease Degradación Suave -- Del mismo modo que con cualquier sistema de control de tránsito, la falla del sistema debe ser tan suave y seguro como sea posible. Un diseño de sistema que incluye modularidad y la capacidad de aprovechar todos los componentes del sistema que son operacionales durante la falla debería ser una meta.
- 3.- Provease Vigilancia de Alto Nivel -- Por cuanto un sistema de control es sólo bueno solamente en la medida de los datos de su "input", los planos del sistema deberían considerar un alto nivel de vigilancia del tránsito. Los resultados de las investigaciones sobre estrategias de control de tránsito sólo pueden ser aplicadas si el sistema está diseñado correctamente para dar abasto a la adquisición de datos necesarios al parametro del tránsito.

4. Use "Hardware" para Control Operativo -- La industria de las computadoras está en estado de revolución. Un ingeniero de tránsito debería asegurarse de que la computadora, las comunicaciones, y los equipos de control están usando tecnología electrónica.
- 5.- Minimicese las Funciones de Calle -- Como resultado de los problemas de mantenimiento en la calle y de las capacidades inherentes a la computadora digital, los cálculos de control de tránsito deberían ser hechos en el sitio centralizado. Se justifican controles sencillos, de bajo costo y sistemas de comunicaciones efectivos.
6. Provease una Operación Dedicada -- Un sistema con computadora como cualquier sistema de control de tránsito debería ser dedicado a controlar el tránsito durante las 24 horas del día.
7. Provease buena Exposición de Referencia -- Los Mapas de Sistemas, CRT, y esquemas para trabajo deberían estar diseñados de modo que los operadores de computadoras, los ingenieros de operación del tránsito, y el personal de supervisión puedan comprenderlos fácilmente e intercambiar sus actuaciones con el sistema.

#### Hardware de Computadoras -- Una Revolución Técnica

La computadora digital es el corazón de los sistemas de señales de tránsito que discutimos aquí. La comprensión de la dinámica de la industria de las computadoras no es tarea fácil. Solamente en los dos últimos años, ha habido cambios notables en la industria de las mini-computadoras y corrientes significativas en costos más bajos, arquitectura de computadoras, memorias más rápidas, y aplicación de nuevas tecnologías.<sup>28, 29.</sup> Sólo dos años atrás, había 26 fabricantes y más de 40 modelos. Actualmente hay unos 40 fabricantes y más de 80 modelos. Quizás la manera más fácil de demostrar el impacto de esta tecnología es considerando los costos de sistemas de minicomputa-

doras como una función del tiempo a lo largo de los últimos cinco años y proyecciones para los próximos cinco años. El cuadro 3 presenta estas cifras. A lo largo de los últimos cinco años, una minicomputadora básica 4K, de 16 "bit word", ha disminuido en precio por un factor de 3. Al mismo tiempo, su eficiencia para aplicaciones tales como control de tránsito computeurizado se ha incrementado considerablemente. Con el advento de la integración a escala mediana (MSI) y de la integración a gran escala (LSI) lógica y ahora de nuevas tecnologías de memorias, estos precios se espera seguirán bajando durante los próximos tres a cinco años. Como mostramos en el Cuadro 3, por el año 1975 el sistema básico de "16-bit" se venderá por menos que \$3.000. Se espera que estas máquinas jugarán una parte preponderante en los sistemas de control de tránsito durante los próximos años. La minicomputadora ya está empezando a ser aplicada al control de intersecciones aisladas que presentan complicaciones, como son típicas en muchas carreteras de estados. Un ejemplo de este tipo de aplicación por el estado de California está siendo utilizado actualmente en Sacramento. A medida que el precio del sistema se acerca a \$2.000 o \$3.000, el control basado en computadora digital se torna altamente competitiva con los controles independientes que existen actualmente. Cuando la flexibilidad de una aplicación como esta, provista por la capacidad de volver a programar el sistema para varias aplicaciones, es algo que se considera, es que un campo completamente nuevo de control de tránsito se perfila en el horizonte.

#### Reconocimientos

El autor quisiera hacer un reconocimiento de la asistencia brindada por el personal de las ciudades mencionadas anteriormente, en la preparación de este trabajo. Cada una de las ciudades suministró gratui-

tamente mucha de la información técnica que ha sido incluida aquí. Una parte significativa de este material fue desarrollada en conjunto con el Sistema de Control de Tránsito de Chicago CBD , proyecto este que está siendo llevado a cabo por SRI para el Departamento de Calles y Sanidad de la Ciudad de Chicago. Se agradece asimismo la asistencia prestada por el Comisionado J.J. McDonough y su personal. Sin la cooperación de estas personas, este trabajo no hubiera sido posible.

Cuadro 3

CORRIENTES DE PRECIOS \* DE LAS MINICOMPUTADORAS

Tipo de Minicomputadora	Historia							Proyección			
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
4K, 16 bit words	\$25	\$20	\$16	\$12.8	\$10.2	\$8	\$6.4	\$5.1	\$4.1	\$3.3	\$2.6
4K, 8 bit words	--	--	--	--	--	5	4	3.2	2.6	2.1	1.7

\* Todos los precios corresponden a un sistema básico y están dados en miles de dólares.

## TRANSITO AJUSTADO Y SISTEMAS RESPONSIVOS DE CONTROL

### A. Introducción a los Sistemas de Señales

Si se consideran las capacidades de control de tránsito de más de una señal a la vez, donde la corriente entre estas señales tienen potencial de interactuar y se usa alguna forma de computadora como master, es que el ingeniero de tránsito está tratando con lo que comunmente se llama un sistema de señales. Las comunidades de investigación y los fabricantes de equipos para el control del tránsito han creado muchas diferentes definiciones de "sistemas", las cuales, para decir lo menos, causan confusión. Un tratamiento lógico de sistemas de señales pide una definición simple de qué se entiende por sistema de señal, como presentado arriba, y luego la discusión de varias características (es decir, tanto hardware como operacionales) funcionales de los componentes de esos sistemas. Luego estas configuraciones funcionales pueden ser relacionadas con varios nombres comunes de sistemas (o sea, responsivos al tránsito, controlados por computadora, PR, EC, etc., etc.).

#### 1. Definición de un Sistema de Señales de Tránsito

"Cuando el control de dos o más señales de tránsito puede ser coordinado desde un punto usando algún tipo de computadora como master y que los flujos entre las señales actúan entre sí, se llamará un sistema de señales de tránsito".

#### 2. Funciones del Sistema de Señales de Tránsito

Las funciones y componentes de un sistema de control de tránsito pueden incluir lo siguiente:

Función: Vigilancia

- Detectores de Vehículos
- Detectores de Peatones
- Detectores Ambientales
- Vigilancia Visual
- Comunicaciones de Audio

Función: Muestras Expuestas en la Intersección

- Semáforos
- Control de Vía
- Control de Velocidad
- Señales

Función: Control de Intersecciones

- Tiempo Fijo
- Semi-Accionado
- Totalmente Accionado

Función: Comunicaciones

- Hard Wire
- Multiplexing
- Radio
- Broad Band

Función: Coordinación y Control

- Computadora Análoga
- Computadora Digital

Función: Muestras de Localización

- Mapas de Sistemas
- Copiadoras
- Cuadros de Control
- CRT's

Considerando las funciones anteriormente mencionadas, puede configurarse un gran número de sistemas de tránsito. Si bien no todos estos sistemas existen, muchas de estas combinaciones han sido encontradas y son usadas extensivamente por todo el Mundo.

### 3. Desarrollo Historico y Corrientes Actuales

#### a. Sistemas con Tiempo Fijo

Los sistemas de tránsito con tiempo fijo han estado en operación desde principios de los 1920's. Este tipo es de lejos el favorito por sus muchos años de evolución, la simplicidad de su operación y su bajo precio. Una computadora meramente extiende la capacidad del sistema electromecánico para seleccionar los patrones de control de tránsito.

#### b. Los Controlés Accionados por el Trafico en los Sistemas

Durante las fases más avanzadas de la evolución de los sistemas

con tiempo fijo, Traffic Engineers reconoció que un control semi-accionado podría ser usado en sistemas y resultar en mejoras significativas, particularmente durante los periodos de tránsito ligero.

c. Introducción de Computadoras Análogas

Las computadoras análogas fueron introducidas en los sistemas de control de tránsito en los Estados Unidos en los años 1950. El término "trafico ajustado" se usa frecuentemente para la clase análoga de los sistemas. Estos sistemas representaban una mejora substancial sobre los sistemas a tiempo fijo debido al aumento de flexibilidad y su sensibilidad a las demandas del tráfico.

d. Introducción de Computadoras Digitales

Recientemente aparecieron los sistemas de control de tránsito que utilizan computadoras. La primera aplicación importante de computadoras digitales al control del tránsito fue en Toronto, en 1959. Las computadoras digitales tienen bastante flexibilidad inherente, lo cual sólo empieza a ser demostrado.

4. Configuraciones de "Hardware"

Basado en la definición de las funciones generalmente ejecutadas por un sistema de control de tránsito y las alternativas de hardware disponibles para llevar a cabo estas funciones, puede desarrollarse un gran número de configuraciones. Afortunadamente, por razones prácticas sólo unas pocas han sido aceptadas ampliamente. El Cuadro I resume las configuraciones "hardware" más comunes. Debe notarse que los fabricantes de los diferentes "hardware" necesarios para los sistemas de control de tránsito son diversos. En parte por esta razón y en parte por razones de competencia, la literatura que suministran los fabricantes tiende a confundir la definición, la función y la configuración de las varias alternativas. La mejor manera de clasificar y comprender los sistemas es de comprender cuales son las funciones del control de tránsito y luego, hacer la relación entre esto y las capacidades del "hardware".

5. Funciones del Control de Tránsito

La razón principal porque el ingeniero de tránsito ha favorecido el sistema de señales de tránsito es que mejora su capacidad de adquirir conocimiento y promover un movimiento de tránsito eficiente. Las variables básicas de control, naturalmente, son la duración del ciclo, salida y fraccionamiento. La frecuencia y flexibilidad de los cambios en estas variables de control hacen una gran diferencia para las funciones del sistema y los componentes requeridos. En general, el control a tiempo fijo con coordinación electromecánica simple se limita a tres ciclos con una fracción y tres salidas por ciclo

(Hay disponible, básicamente, nueve patrones diferentes de control). Algunas extensiones han sido hechas para permitir seis ciclos con tres fracciones y cuatro salidas por ciclo. A partir de este punto, los masters de computadoras vienen siempre con mayor flexibilidad para variar la acción de la duración del ciclo y para fraccionar casi sin limitación.

Tal como se afirmó anteriormente, los sistemas usan alguna forma de master que, en base a la información recibida, bien sea seleccionan y aplican un programa disponible para el sistema a los controles individuales del sistema o controla directamente las señales individuales de la intersección. Las configuraciones delineadas en el Cuadro 1 son únicas en la medida en que pueden controlar los parámetros básicos de las señales del tránsito (es decir., la duración del ciclo, las salidas y las fracciones). Resulta útil, al clasificar y comprender los sistemas de control del tránsito, definir algunos niveles de flexibilidad en el control del tránsito, como sigue:

- Nivel I     Control de Antecedentes: Coordinación de señales con tiempo fijo.
  
- Nivel II    Control de Fracción-Variable: Variación de fracciones para dar cuenta de las fluctuaciones normales entre ciclo y ciclo de la demanda del tránsito mientras el tiempo del ciclo queda constante.
  
- Nivel III   Control de Intersección Crítica: Control flexible de las intersecciones congestionadas sin restricciones de fracción, salida o duración del ciclo.

Todas las estrategias existentes sobre control de tránsito pueden ser clasificadas en uno o más de los niveles arriba mencionados. Hay cierto número de grados o "modalidades" para cada nivel de control descrito arriba que no pueden ser implementados en un sistema de control de tránsito.

a.     Modalidades de Control de Antecedentes

- (1)     Tabla de referencia/disco -- Se almacenan valores de ciclo, fracciones y salidas que pueden ser aplicadas según los valores seleccionados en el control o tomados de los datos almacenados en tablas de acuerdo a la hora del día, o día de la semana.
  
- (2)     Selección por Operador -- El operador selecciona el patron de control. Los criterios de selección podrían ser: (1) si existen condiciones "viniendo", "alejandose" o "circulando" en el tránsito, como lo determinen los volúmenes en los puntos estratégicos de toma de muestras, (2) condiciones poco usuales (o sea, nieve), (3) eventos especiales (o sea, desfiles, eventos deportivos).

- (3) Tabla de referencia/tránsito -- Correspondientes a los patrones responsivos -- Parecido a Modalidad 2 excepto que el cambio de patron se hará automáticamente sin control directo por parte del operador. Las condiciones del tránsito, caracterizadas por volumen, ocupación, y/o niveles de cola, corresponden a valores asociados con cada patron, y el mejor juego de tiempos de señales es seleccionado e implementado.
- (4) Computación en-la-línea de patrones de tiempo de señales -- Esta modalidad difiere de las otras tres en la medida en que las duraciones de los ciclos, las fracciones, y las salidas no son seleccionadas de tablas predeterminadas, sino que serán de hecho computadas en la línea. El patron de flujo del tránsito se anticipa para un periodo próximo llamado periodo de control y, si así se justifica, se implementa un nuevo plan de coordinación nominal (ciclo, fracciones, salidas).

b. Modalidades de Control Variable-Fracción

- (1) Demanda básica -- determinada por fracciones o sobre una base de ciclo a ciclo. Se puede usar controles semi-accionados para llenar la modalidad básica de demanda. Puede usarse un cierto número de computaciones fraccionadas pero la salida sigue constante en una dirección mientras cambia en la otra dirección.
- (2) Ajuste fraccionado a medio-ciclo -- De igual manera que en Modalidad 1, la salida de la intersección para la primera fase permanece constante. Justo antes de que termine cada fase pero de último en el ciclo, se toma la decisión. El número de vehículos en movimiento que benefician de la fase verde de ese momento los cuales serían afectados por una extensión de fase o un recorte de la misma fase se compara con el número de vehiculos que hacen cola y esperan la próxima fase de luz verde. Los vehiculos que se están moviendo reciben el mayor peso. Una decisión de recortar-no-cambiar/extender se hace de tal manera que el retraso total en la intersección resulta a un mínimo.
- (3) Alteración de la secuencia de fase -- Según esta modalidad, las colas de todas las fases se examinan justo antes de terminar una fase. Si una fase diferente de la que habia sido planeada tiene una cola excesivamente larga, será esa fase la que será implementada seguidamente, fuera de secuencia, para disipar la cola.

c. Modalidades de Control de Intersecciones Críticas

- (1) Cierre - Cuando la congestión aumenta en el sentido de una señal, el tránsito no recibirá luz verde en esa dirección en otra que sólo dura un periodo mínimo -- de hecho, cerrando así el paso de más flujo. El movimiento de los peatones no resulta afectado.
- (2) Control de intersección crítica con retraso mínimo -- Esta modalidad usa el volumen hasta las relaciones de saturación de flujo en las intersecciones críticas y sus adyacentes para computar los retrasos, y ajusta las duraciones de fase en la intersección crítica a fin de minimizar esos retrasos.
- (3) Control accionado por los vehículos -- Este es el control accionado por los vehículos standard, y puede ser implementado con un control standard. Para cada fase, hay un intervalo inicial, una extensión máxima, una unidad de extensión y un valor de repetición de fase que le es asignado. Si se presentare una llamada por una fase, se vuelve verde para el intervalo inicial y la luz verde se extiende a medida que hay llamadas de vehículos hasta que se alcanza la extensión máxima o hasta que no vengan más llamadas dentro de la extensión de la unidad.

6. Comparaciones entre Sistemas

Dentro de la estructura arriba definida, es posible comparar algunos de los que comunmente se refieren a sistemas de control de tránsito.

a. Primera Generación

- (1) La detección en el campo del tránsito se hace por medio de una serie de detectores de muestras. Generalmente se usan pocos detectores; por ejemplo, se usa de un a cuatro sitios de detectores por dirección de viaje. Los sistemas que controlan una sola muestra de arteria sólo toman muestras de las corrientes que van en dos direcciones; aquellos sistemas que cubren redes requieren las cuatro corrientes direccionales para hacer su muestreo.
- (2) La computadora recibe pulsaciones de los detectores de muestras, los volúmenes promedio y quizás las ocupaciones para un intervalo de tiempo cualquiera, generalmente en la gama de 5 a 15 minutos. Selecciona de su repertorio fijo de programas de tiempo disponibles, el mejor en base a la más reciente información. Las computadoras

análogas han sido las que más se han usado para estos sistemas. Estas computadoras son acumuladores de voltaje; cada detección de tránsito adelanta un voltaje incrementado, siendo que el total acumulado es una medida del nivel del volumen del tránsito. Se está usando cada vez más las computadoras digitales, y puede ser que sean una etapa intermediaria hacia sistemas más sofisticados. En este tipo de computadora, se retienen las pulsaciones de los detectores como cuenta y se hacen varios cálculos matemáticos para determinar el mejor programa de tiempos.

- (3) Los controles usados localmente pueden tener tiempos pre-fijados (generalmente 3 en el disco, 3 para salidas) semi-accionados con unidades de coordinación o tipos accionados por el tránsito.
- (4) La comunicación consiste de un "input" a la computadora de cada grupo de detectores direccionales y una interconexión que emana de la computadora especificando el programa a ser usado. El equipo de control local responde implementando el programa seleccionado de acuerdo al cuadro local apropiado.
- (5) Los programas de fijación de tiempo disponibles dependen del sistema específico: puede haber de una a cuatro fracciones de ciclo, además de la opción de operación libre de los controles locales. Esto corresponde al Nivel I y, en un grado limitado, al Nivel III, ya descrito. En algunas implementaciones, la computadora selecciona el ciclo apropiado sobre la base del más alto volumen de demanda que se está detectando, y luego compara los volúmenes direccionales para asegurar el mejor patrón de salida. Puede también especificar un patrón de fracción de ciclo en los controles locales.

Un problema importante de los sistemas responsivos al tránsito es su respuesta lenta a los cambios del tránsito debido a las características promedio asociadas con las computadoras análogas utilizadas para muchas implementaciones. En situaciones donde el patrón del tránsito cambia rápidamente (es decir, un cambio de turno en una gran fábrica), el sistema puede no reaccionar a tiempo para satisfacer los requerimientos cambiados. Algunas jurisdicciones han utilizado relojes de tiempo para presentar un programa para grandes cambios de volúmenes conocidos. El número máximo de combinaciones de ciclos, salidas y fracciones, a veces incluidas en la literatura de los fabricantes, no es medida verdadera de la flexibilidad del sistema. Muchas de las combinaciones no son

útiles en situaciones de campo. Sin embargo, estos sistemas ofrecen mucho más flexibilidad que los sistemas anteriores, y si son establecidos con sus tiempos apropiados, pueden proveer control de tránsito eficiente. Recientemente, el uso de la computadora digital ha quitado muchas de las restricciones anteriores y viene prometiendo una operación mucho mejor.

La mayor ventaja de estos sistemas es su relativa simplicidad y pocos requerimientos de comunicación, si se comparan con el sistema sofisticado de control por computadora. Los fabricantes en general saben como hacer funcionar estos sistemas.

b. Segunda Generación

- (1) Los detectores para vigilancia del tránsito son generalmente más extensivos que los del sistema de la primera generación. El número total de detectores es aproximadamente dos a cuatro veces el número de señales en el sistema en total. Las intersecciones más importantes tienen detectores en todos los accesos, mientras que las intersecciones menos importantes puede ser que no tengan ninguno. Algunos sistemas tienen detectores en todos los accesos o salidas de todas las intersecciones.
- (2) La computadora cambia de hecho las indicaciones de señales en cada intersección, mas bien que funcionando por medio de controles locales; los controles locales se usan como refuerzo. Las computadoras Digitales se usan para evaluar los datos de tránsito actual que vienen llegando por los detectores y determinan la secuencia de todos los cambios de señales en el sistema. Las pulsaciones de adelanto o de liberación de fase son entonces enviadas directamente desde la computadora.
- (3) Los controles locales son necesarios sólo para mantener control en el caso de una falla en el sistema o en la comunicación. Pueden ser un simple control prefijado con un solo disco. Bajo control de computadora, el disco puede desconectarse y la computadora operará el cam shaft directamente.
- (4) Los requerimientos de comunicación son mucho mas comprensivos que en los sistemas mas simples de "una via" Un "link" de dos vias se requiere entre la computadora y el control local. La computadora envia una señal para adelantar el cam shaft (o para cambiar las luces de la señal) y recibe de regreso la indicación de la intersección para asegurar que el cambio tuvo lugar.

- (5) Los programas para tiempos son extremadamente flexibles. Cualquier tipo de control aislado disponible actualmente (pre-establecidos en cuanto a tiempo por medio de volumen-densidad) y control de sistema puede llevarse a cabo siempre que se desarrolle un "software".

Se está desarrollando nuevas modalidades de control que utilizan las capacidades extensivas de la computadora. Estas incluyen nuevos esquemas de señales, individuales o agrupadas, programas de dispersión para congestiónamiento, rutinas de emergencia (nieve, fuego etc.), y programas para eventos especiales. La flexibilidad de los sistemas de control de computadoras permite tantos cambios de técnica de control como se puede desear para solucionar los patrones cambiantes del tráfico. Una gran ventaja es que puede ocurrir un cambio casi instantáneamente sin que se de el retraso en la respuesta la cual es inherente en otros sistemas.

La principal desventaja es la complejidad del sistema. El sistema de comunicaciones puede ser un dolor de cabeza constante en lo que a mantenimiento se refiere. Hasta la fecha, no hay evidencia concreta de que la flexibilidad de control que brindan estos sistemas provean una mejora significativa en las operaciones de tránsito por sobre las de un sistema de primera generación bien ingeniado pero el potencial está allí.

## B. Sistemas Digitales Basados en Computadoras

### 1. Por Que Computadoras Digitales

La introducción de computadoras digitales en el control del tránsito se hizo básicamente como reemplazo de los dispositivos análogos. La flexibilidad agregada de la computadora digital y las funciones auxiliares que podría ejecutar contribuyeron a su aceptación actual en ese campo. De ahora en adelante, las computadoras digitales tendrán un papel dominante en todos los sistemas de control de tránsito debido tanto a su flexibilidad como a su bajo costo.

### 2. Reglas para el Diseño del Control Operativo

" el beneficio más significativo que brinda el sistema de señales de tráfico controlado por computadora es que el ingeniero de tránsito que lo opera tiene un instrumento que le permitirá controlar y sintonizar sinred de tránsito desde un punto centralizado de modo efectivo y seguro." Con esto en mente, la experiencia reciente respalda las reglas siguientes para el diseño de sistemas críticos que los diseñadores de sistemas deberán tener presentes.

- . Llevar a un Maximo la Flexibilidad del Sistema.- Esto viene como resultado de buena ingeniería de "hardware" combinado con control de tránsito flexible, vigilancia e información por el "software". Si no puede proveerse una flexibilidad total al principio, debería planificarse con vistas a obtener expansión simple.
- . Proveer Degradación Harmónica.- Al igual que cualquier sistema de control de tránsito, la falla del sistema debe ser armoniosa y segura en lo posible. Un diseño de sistema que incluye modularidad y la capacidad de aprovechar todos los componentes del sistema que son operacionales durante una falla debería ser el objetivo.
- . Proveer Alto Grado de Vigilancia.- En vista del hecho de que un sistema es bueno en la medida de su almacenaje de datos, los planes del sistema deberían considerar un alto nivel de vigilancia del tránsito.
- . Usar "Hardware" para Control Operativo.- La industria de las computadoras está en un estado de revolución. Un ingeniero de tránsito debería asegurarse de que la computadora, las comunicaciones y los equipos de los controles usen tecnología electrónica moderna.
- . Proveer Operación Dedicada.- Un sistema computerizado como lo es cualquier sistema de control de tránsito debería dedicarse a controlar el tránsito 24 horas por día.
- . Proveer Buena Exposición.- Los mapas del sistema, CRT y "hard copy" deberían ser diseñados de modo que los operadores de las computadoras, los ingenieros de operaciones de tránsito y el personal de supervisión puedan entender rápidamente e intercambiarse en las funciones del sistema.

### 3.- Leciones Aprendidas de una Experiencia de Instalación Reciente

- . Aplicaciones Únicas.- Todos los sistemas son únicos. La red de tránsito, la situación política, y los recursos del tránsito y de los ingenieros eléctricos son generalmente bastante diferentes. Por lo tanto, el sistema que conviene a un sitio puede estar lejos de ser el mejor para un otro.
- . Beneficios del Nuevo Control.- No se ha hecho ninguna evaluación completa de las varias estrategias de control que fueron implementadas. Un beneficio se perfila claramente ya que el ingeniero del tránsito gana la flexibilidad que le permite adaptarse a ciertas situaciones especiales del tránsito.

- . Hardware para Control Operativo.- La mayor parte de los sistemas no emplean hardware para control operativo. Hay varias razones para esto, y no hay que restarle importancia en este sentido al cambio dinámico ocurrido en materia de tecnología de computadoras. La tecnología actual puede ofrecer ventajas de costo y de operación por sobre los demás sistemas existentes.
- . Promesas del Hardware/Software.- Quienes desarrollan los sistemas actuales reconocen que el problema técnico de suministro de hardware y software para los sistemas de señales de tránsito con computadoras no es grande. Sin embargo, la imposibilidad de evaluar el control operativo con la exactitud requerida y compararlo con la configuración del sistema propuesto ha causado varios obstáculos.
- . Detección.- Varios de los que desarrollan sistemas han hecho notar lo serio que resulta el problema de la detección de los vehículos. El bajo costo y la exactitud relativa de los detectores de circuitos magnéticos ha hecho que estos sean escogidos de preferencia para ser aplicados a los sistemas de control de tránsito con computadoras.
- . Centros de Computación.- En varios casos, el propósito principal de un sistema de señales de tránsito con computadoras ha sido supeditado cuando se usa la computadora para aplicaciones otras que el tránsito.

### C. Componentes Críticos, "Software" y Comunicaciones

#### 1. Software para Sistemas de Control de Tránsito

- a. Tipos de "Software".- "Software" se refiere al juego de instrucciones que se da a una computadora digital el cual especifica como la máquina deberá solucionar los problemas que se le presenten. Generalmente estos programas se clasifican en dos áreas: "software" para sistemas, y "software" para ser aplicado. El "software" para sistemas está bastante bien estandarizado y generalmente lo suministra el fabricante de la computadora. Las computadoras modernas ofrecen una gran variedad de "software" para sistemas y hay muy pocos problemas para su instalación y operación si los profesionales de la computadora están bien adiestrados para cumplir su tarea. El "software" para sistemas generalmente incluye los tipos de programas siguientes:

- Sistemas de Operación con Tiempo Real
- Sub-Rutinas Matemáticas
- Sistemas de Gerencia para Archivos de Datos
- Editores de Textos
- Programas de Asamblea Simbólica

- Recopiladores de Idiomas de Alto Nivel (FORTRAN, BASIC, ARGOL).
- Programas de Utilidad
- Programas de Diagnóstico para "Hardware"

- b. "Software" para Aplicaciones en el Control del Tránsito.- Las aplicaciones del "software" siempre han sido un problema de significación para la instalación de sistemas de control con computadoras digitales. No hay formula especial para lograr el éxito pero durante la etapa de diseño, debería mantenerse presente tres atributos importantes del sistema de "software" para aplicación.
- (1) Flexibilidad para Acomodar a Diferentes Metodos de Control.- El sistema de software para control del tránsito debería tener la estructura de diseño apropiada para que se pueda aplicar una variedad de estrategias de control de tránsito. En otras palabras, cuando el personal de ingeniería de tránsito, en el futuro, conciba un nuevo esquema de control de tránsito, ese personal no debería tener que volver a hacer el sistema de "software" para obtener un nuevo control. Si la estructura de "software" es inflexible, los intentos por implementar nuevos conceptos pueden necesitar modificaciones en su programación las cuales muchas veces son insuperables.
  - (2) Facilidad de Mantenimiento.- Aun si usted nunca, en el futuro, ha de cambiar las estrategias de control y métodos, ni ha de agregarles ninguna, hay unos cuantos cambios rutinarios que se presentarán inevitablemente. Por ejemplo, en un sistema de intersecciones señalizadas, casi seguramente algún día usted tendrá ya bien sea (a) agregar una intersección al sistema existente, (b) quitar una intersección del sistema, (c) cambiar la relación de una de las intersecciones con grupos de intersecciones coordinadas, (d) agregarle un detector al sistema (e) retirar un detector del sistema, (f) cambiar la geometría de la intersección o la manera en que sus fases están establecidas, o (g) cambiar los tiempos de fase y la coordinación del "offset".
  - (3) Buena Documentación.- En contraste con los artículos de equipos, tales como controles de intersecciones, habrá poco que el ingeniero de tránsito pueda hacer para modificar o mantener el "software" para el control del tránsito a menos que haya disponible una buena documentación sobre todos los detalles del "software". Con la mayoría de los equipos, bien sea se adiestrará técnicos en electricidad para el uso y reparación del equipo o entonces el fabricante proveerá los servicios de un técnico de campo. Con el "software", en cambio, puede no haber nadie a quien llamar cuando haga falta pronta asesoría para resolver algún problema. Esto frecuentemente se debe

añeado de que la compañía que elaboró el "software" probablemente le asignó dos o tres profesionales de programación clave para preparar el "software" y, una vez terminado, estos siguieron su camino hacia otro trabajo. Ya que el sistema de "software" probablemente es diferente de cualquier otro sistema de "software" que la compañía haya jamás desarrollado, el resultado es que la compañía no tiene un producto standard que pueda recibir servicio de rutina cuando surge un problema.

## 2. Comunicaciones del Sistema de Control de Tránsito

Históricamente el diseño de un sistema de comunicaciones para sistemas de control de tránsito ha tenido un impacto importante sobre la flexibilidad de las operaciones del sistema, la confiabilidad del sistema y los costos de instalación y mantenimiento, sin embargo las alternativas de diseño aquí son menos comprendidas por el ingeniero del tránsito. La función de un sistema de comunicaciones en el control del tránsito es de transmitir y recibir señales entre el punto central y los detectores y controles. Generalmente, un sistema de comunicaciones ha de ser uno o la combinación de los tipos siguientes

- "Hard wire"
- "Multiplex"
- Radio
- Broad Band

Hay muchas variaciones. Muchas dependen de una evaluación cuidadosa de los costos solamente (es decir, líneas dedicadas o líneas alquiladas) y son bastante simples. Otras son mas complejas.

- a. Ejemplo de variación.-- En un sistema sofisticado de control de tránsito, la información relacionada con el cuadro que presenta la intersección individual debe ser transmitida a la computadora de control -- por ejemplo, el cuadro que presenta cada uno de los detectores asociados y la fase de luz verde del control. En la dirección inversa, la computadora de control transmitirá órdenes a cada una de las intersecciones -- por ejemplo, mantenga la línea, adelante el intervalo, salte permita y sincr. . Es de importancia primordial que el equipo de comunicación de datos sea implementado de modo a optimizar los factores siguientes:

- . Costo - El costo inicial y el mantenimiento subsecuente y los costos de repuestos deben ser minimizados simultaneamente.
- . Compatibilidad.- El equipo de comunicación debe ser capaz de integrar el sistema efectivamente en la superficie de contacto con la computadora y los controles de intersección.
- . Confiabilidad.- El equipo de comunicación debe operar satisfactoriamente bajo todas las condiciones de tiempo adverso y demás factores ambientales, tanto físicos como eléctricos.

El número exacto de trozos de información transmitida entre la intersección y la computadora de control, así como las ratas de transmisión involucradas, serán funciones de las características de la intersección individual y del ambiente en medio del cual el sistema de control de tránsito deberá ser instalado.

El número de cabezas de sensores requerido variará de 5 a 12 según una rata requerida de información de desde 10 hasta 50 muestras por segundo. La rata de muestreo es factor importante que puede en efecto controlar la selección del sistema de comunicaciones. De la computadora hasta la intersección, el número de cabezas de comando variará de 3 a 4, con ratas de muestreo variando entre 1 y 10 por segundo. El número de cabezas que se necesitarán para transmisión desde la intersección hasta la computadora dependerá principalmente del número de detectores asociados con una intersección individual.

La cuarta cabeza de información de mando dependerá de si se va a implementar el salto de fases en esa intersección particular. Para aquellas intersecciones donde no se necesita control de salto de fase, el número mínimo de cabezas (3) y la rata mínima de información (1 por segundo) podrán ser aplicados.

En los sistemas de transmisión de datos con sofisticación mínima, se necesitará una línea para datos (conductor doble retorcido) para cada parámetro para el cual se está transmitiendo datos. Sin embargo, en instalaciones complejas tales como el control de tránsito tipo CBD, es esencial que las líneas de datos se usen más eficientemente procesando los datos con multiplex para varios parámetros en cada una de las líneas de conductor doble retorcidos requeridos.

Tres tipos de multiplex son considerados apropiados para este ejemplo:

- Multiplex con División de Frecuencia (FDM).
- Multiplex con División de Tiempo (TDM).
- Una combinación híbrida de los dos.

- (1) Multiplex con División de Frecuencia.- En el caso del FDM, se usan filtros para segmentar el espectro de frecuencia de la línea de transmisión de datos hacia un cierto número de canales. Puede llevarse entonces hasta 30 señales por un par de líneas simple. En general, un canal FDM transmite el estado binario simple de un parametro sólo.
- (2) Multiplex con División de Tiempo.- En el caso del TDM, un canal acomoda a un cierto número de parámetros, siendo que los estados de estos parámetros son transmitidos en secuencia de tiempo como una serie de 1's y de 0's. Los niveles correspondientes al 1 y 0 se almacenan temporalmente en la punta de la línea de transmisión que recibe para adquisición subsiguiente por la unidad terminal -- la computadora o bien el control de intersección.
- (3) Variación FDM/TDM -- Es evidente que hay muchas variables a considerar en la variación. Primero, el número exacto de cabezas y el ritmo de data requerido entre cada intersección y la computadora deben ser determinados. Estudios recientes hechos sobre verdaderos sistemas de control de tránsito han indicado que si más de 4 cabezas de datos tienen que ser transmitidos, el TDM es el mejor modo en términos de efectividad de costo. Muchas veces la transmisión a la intersección de adelante de fase y de mantener la línea, en pulsaciones, necesitan menos que 4 pero la transmisión desde la intersección del estatus del detector necesita mas de 4 de modo que parecería ser un caso para una combinación de sistemas FDM/TDM. Sin embargo, los complicados problemas de mantenimiento han dictado la necesidad de quedarse con uno u otro.
- (4) Algunas Consideraciones Generales.- Tanto el TDM como el FDM son métodos que generalmente se llevan a cabo utilizando conductor doble retorcido como cable de comunicaciones. Este cable en ciertos casos puede ser de propiedad dedicada, o propiedad de la ciudad y alquiladas las líneas por la compañía de telefonos. En muchos casos, más de la mitad del costo de un sistema de control se ha invertido en el subsistema de comunicaciones, lo cual demuestra en forma vívida la importancia de las decisiones sobre diseño en esa area. En los casos donde los cables

dedicados se usan tanto en configuración de "hardware" como en multiplex, los cables tienen que ser instalados desde el centro de control hasta cada una de las intersecciones controladas. Los costos totales para una construcción de este tipo incluyendo el costo del cable puede ser de hasta \$50 por pie. Los costos mínimos están en el orden de los \$3 a \$5 por pie en cuyo caso no se provee ningún conducto y se usa un método sencillo de zapata de goma para la instalación. Cuando se usan las líneas de la compañía de teléfonos local, se necesita generalmente alguna forma de multiplex para reducir los costos del alquiler. El alquiler de líneas telefónicas no es siempre el método más efectivo para solucionar el problema de comunicaciones. Las líneas alquiladas pueden ser costosas y ciertos problemas de ruido ocasionaron retardos importantes en la implementación de sistemas así como constituyen una amenaza continua de degradación del sistema.

(5) Comunicaciones "Broad Band"

La literatura disponible sobre los sistemas de comunicación usados para aplicaciones en control de tránsito generalmente está libre de consideración seria del uso del "Broad Band". Quizás la razón principal de esto es que un canal de comunicaciones por "broad-band" apropiado para la difusión de cantidades muy grandes de información parecería ser de diseño demasiado complicado para ser usado en las aplicaciones propias del control de tránsito. Hay una cantidad de razones, no obstante, para que se considere seriamente esta alternativa. Un porcentaje cada vez mayor de ciudades de los Estados y condados de los Estados Unidos así como la mayor parte de las ciudades del Canadá han instalado un cable de televisión "broad Band" a lo largo de todas las calles. Estas instalaciones conocidas como CABLE TV han estado en etapa de desarrollo por más de 15 años. En esencia, el cable brinda señales de programas de televisión libres de interferencia a los residentes de todas las estaciones locales, y, en algunos casos, distantes. El potencial de estos sistemas sólo empieza a hacerse ver. Decisiones recientes de la Comisión de Comunicaciones Federales (FCC) han puesto como requisito que todas las nuevas instalaciones de CABLE TV suministren la capacidad de transmitir información por el cable "broad band" en dos direcciones.

Este "cable de dos vías" presenta una oportunidad única para las aplicaciones en el control del tránsito. En muchas comunidades que tienen plantas de CABLES ya instaladas o bajo construcción, el cuadro está listo para la aplicación efectiva de este medio de comunicaciones a un sistema de control de tránsito moderno. La flexibilidad y fuerza de las minicomputadoras modernas junto con la economía de los circuitos integrados a gran escala y la capacidad de un cable coaxial han hecho del broad band un sistema de comunicaciones económicamente competitivo para muchas aplicaciones. Estos sistemas de doble vía ya han sido demostrados extensivamente en los Estados Unidos. En este punto, no necesita resolución tecnológica para substituir el cable coaxial por un cable telefónico y ya se puede vislumbrar una nación en su totalidad provista de cables para broadband, con el servicio de comunicaciones sin otra limitación que la demanda.

- (6) Direcciones Futuras -- Es evidente que la aplicación de Broadband o CABLE TV a las comunicaciones en los sistemas de control de tránsito constituyen un principal que va apareciendo. La mayoría de los sistemas bien diseñados son esencialmente transparentes al tipo de comunicaciones que se usa. Es decir, una porción de la red de control de tránsito podría usar CABLE TV como medio de comunicación; otra sección podría usar líneas telefónicas alquiladas o bien cable dedicado existente. Por encima de todo, el sistema de control operaría de modo idéntico, con la mayor diferencia siendo la de costos de instalación y de mantenimiento del sistema de comunicaciones propiamente dicho. Muchas áreas que ya tienen sistemas controlados por computadoras como las existentes deberían considerar el potencial de poder aumentar el sistema con el uso de un cable de comunicaciones broadband. Además, el cable broadband está en existencia para la venta por unos 50 ¢ por pie, y, aun incluyendo el costo de amplificadores a una milla de intervalo aproximadamente, el costo total del sistema es muy competitivo con cualquier otro método de comunicaciones. También, la falta de restricción en términos de métodos reales para tomar información de muestra de los detectores y la gran flexibilidad que ofrece la aplicación de pequeñas mini-computadoras o micro-procesadores en el sistema de comunicaciones es muy deseable. Es más, el desarrollo del control

de tránsito como parte del sistema total de comunicaciones CABLE puede seguir por un gran trecho hacia adelante en la consecución de los objetivos de los ingenieros del tránsito que es comunicarse con el público. Con un paso más de desarrollo, el ingeniero del tránsito podría transmitir información digital a la estación de difusión de CABLE y proveer automáticamente sus informes sobre tránsito a todos los usuarios de CABLE en la comunidad. La disponibilidad de esa información y los "feedbacks" que provee podrían abrir un horizonte completamente nuevo a los ingenieros del tránsito.

Cuadro 1

## CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS HARDWARE

Descripción	Vigilancia	Control Int.	Comunicaciones	Control Central
1.- Tiempo/Disco Fijo	--	FT	HW (1-vía)	Reloj
2. Master Análogo	Pocos Detectores	"	HW (2, 1-vía)	Computadora Análoga
3. Master Digital	"	"	"	Computadora Digital
4. Supervisión Análoga (Tipo TM, PR)	"	SA	"	Computadora Análoga
"	"	SA/FA	HW/FDM	"
5. Control de Com- putadora	Muchos Detectores	FT/SA/FA	HW/Multiplex (2 vias)	Computadora Digital

Asunto      C O N T R O L    D E    T R A N S I T O

Título      CONTROL DE SEÑALES ACCIONADO POR EL TRANSITO

## CONTROL DE SEÑALES ACCIONADO POR EL TRANSITO

### A. Características Generales

#### 1. Aplicación

El control accionado por el tránsito se usa normalmente en las intersecciones aisladas donde las señales con tiempo preestablecido pueden causarles retardos excesivos a los conductores. Proveen normalmente una operación más eficiente ya que los intervalos de luz verde son variados según las demandas del tránsito existente.

#### 2. Ventajas:

- a. Suelen reducir el retardo si su tiempo se fija como debido.
- b. Son adaptables a fluctuaciones de corta duración en el tránsito.
- c. Suelen aumentar la capacidad (ofrecen mejor distribución del tiempo de luz verde).
- d. Son especialmente efectivos en las intersecciones con fases múltiples.

#### 3. Desventajas:

- a. El costo de una instalación accionada resulta de tres a cinco veces más que el de una instalación con tiempo predeterminado.
- b. Los controles y detectores accionados son mucho más complicados que los predeterminados, por lo cual los costos de mantenimiento e inspección también son más altos.
- c. Los detectores resultan costosos de instalar y necesitan inspección y mantenimiento cuidadosos a fin de asegurar un funcionamiento apropiado.
- d. Son más costosos y más complejos de interconectar en un sistema coordinado.

### B. Descripción General de la Operación (Ilustr. I)

1. El tiempo del período de luz verde para cada calle o fase está gobernado por el flujo de tránsito que hay en esa calle (dentro de los límites de las fijaciones de tiempo seleccionadas en el control).
2. Uno o más vehículos que vienen llegando durante la fase de luz roja, bien sea parados o moviéndose entre el detector y la línea de parada causan un tiempo de luz verde, seguro o mínimo, en el control. El tiempo mínimo de luz verde consiste en un Intervalo Inicial y un Intervalo para los Vehículos.

3. Cada vehículo adicional que cruce el detector durante la luz verde provocará un tiempo de otro Intervalo para Vehículo, extendiendo así el tiempo de luz verde para esa calle o fase. Sin embargo, cada espacio nuevo de tiempo para el pase de vehículos cancela la porción que aun quedaba sin expirar del Intervalo para Vehículo precedente.
4. El Intervalo Máximo establece la cantidad máxima de tiempo de luz verde para cada fase, en caso de que haya otras detecciones en alguna otra calle o fase.
5. Si el último vehículo no recibe un Intervalo para Vehículo completo, por causa de la expiración del tiempo máximo de luz verde, el control le devolverá automáticamente un intervalo mínimo de luz verde a esa calle o fase a la primera oportunidad, sin que haya necesidad de otra acción del detector.

C. Operación Detallada de los Controles

1. Operación Accionada de un control con tiempo predeterminado:  
Es posible hacer que un control con tiempo predeterminado funcione, dentro de un cierto límite, igual que un control semi-accionado.
  - a. El disco puede ser detenido justo antes de terminar el tiempo de luz verde de la fase A. Si es accionado desde una calle lateral, vuelve a poner en marcha el control, para terminar el ciclo.
  - b. La prioridad para vehículos en emergencia puede agregar otra fase si así se desea.
  - c. La suma de una fase menor, accionada
    - (1) Necesita detección
    - (2) La fase normalmente es omitida
    - (3) La fase agregada usará la fase de luz verde que se relaciona con ella, o aumentará la duración del ciclo y destruirá la relación activada.
2. Controles semi accionados: se usan en intersecciones donde una calle principal con un flujo relativamente uniforme, es cruzada por una calle menor, con volúmenes pequeños pero con ciertas horas de punta cortas y esporádicas. Los controles de señales para interrumpir el paso son inadecuados durante las horas de punta. Las características de operación comprenden: (Ilustr. 2)
  - a. Detectores, sólo en los accesos de menor importancia.
  - b. La fase principal recibe un intervalo de luz verde mínimo.

- c. La fase principal de luz verde se extiende indefinidamente a partir de un intervalo mínimo hasta ser interrumpida por la acción desde la fase de menor importancia.
  - d. La fase menor recibe luz verde después de la acción, siempre que la fase principal haya completado el intervalo mínimo de luz verde.
  - e. La fase de menor importancia tiene un periodo mínimo inicial de luz verde.
  - f. La fase menor de luz verde se extiende con cada acción adicional hasta que se haya alcanzado el máximo predeterminado.
  - g. El dispositivo de memoria recordará las acciones adicionales en caso de haberse alcanzado el máximo en una fase de importancia menor y devolverá la luz verde después de transcurrido el intervalo mínimo correspondiente a la fase principal.
  - h. Los discos proveerán intervalos de luz amarilla para ambas fases.
  - i. Las señales "pase" y "despeje" para los peatones son opcionales.
  - j. Todos los tiempos de despeje de la vía, después de la luz amarilla, tendrán control opcional.
3. Controles totalmente accionados: son usados en intersecciones aisladas de calles o carreteras con volúmenes relativamente iguales pero donde la distribución del tránsito es variada y esporádica. Los caracteres de operación comprenden: (Ilustr. 3)
- a. Detectores en todos los accesos
  - b. Cada fase tiene un intervalo inicial predeterminado que provee un tiempo de arranque a los automóviles parados.
  - c. El intervalo de luz verde se extiende por medio de un intervalo para vehículos, predeterminado para cada acción posterior a la expiración del intervalo inicial.
  - d. Se limita la extensión del tiempo de luz verde con un intervalo máximo predeterminado.
  - e. Los intervalos de luz amarilla están predeterminados según cada fase.
  - f. Cada una de las fases tiene un interruptor de repetición.
- (1) Cuando ambos interruptores están desconectados, la luz verde se queda en una fase mientras no haya indicación de demanda en la otra fase.

- (2) Cuando uno de los interruptores está prendido, la luz verde regresa a la fase correspondiente siempre que haya oportunidad.
  - (3) Cuando ambos interruptores están prendidos, los controles establecerán ciclos en una base fija de tiempo en caso de que no haya demanda en ninguna de las fases (un Intervalo Inicial y un Intervalo para Vehículo en cada fase).
- g. El tiempo correspondiente a pasaje de peatones será opcional para cada fase.
  - h. Todos los despejes con luz roja serán opcionales para cada fase.
  - i. Omisión de fase opcional.
4. Controles de Volumen-Densidad: El más complejo, y, si es instalado correctamente con sus tiempos apropiados, es un medio eficaz para controlar una intersección simple. Son utilizados en intersecciones de fuertes corrientes de tránsito, que comportan fluctuaciones impredecibles. A fin de que este tipo de control funcione con eficiencia, es necesario que reciba la información sobre el tránsito con suficiente anterioridad para que pueda reaccionar a las condiciones existentes. Por lo tanto, es esencial que los detectores sean colocados lo suficientemente distantes, hacia adelante, de la intersección. Las características operacionales comprenden: (Ilustr. 4a - 4c).
- a. Detectores en todos los accesos.
  - b. Cada fase una cierta cantidad asegurada de tiempo de luz verde tal como se establece en tres discos del control como sigue:
    - (1) Intervalo de luz verde mínimo
    - (2) Número de acciones antes de que la luz verde mínima empiece a aumentar.
    - (3) Aumentos de luz verde mínima para cada acción agregada.
  - c. El tiempo de paso es el tiempo de luz verde extendido después de que transcurrió el tiempo de luz verde asegurado, el cual ha sido creado por cada acción adicional. Este intervalo de tiempo puede ser reducido de las siguientes maneras:
    - (1) Se alcanza un límite bajo predeterminado para el paso cuando el número de vehículos que esperan en la fase de luz roja sobrepasa un valor preestablecido.
    - (2) Un límite bajo predeterminado de tiempo para el paso se alcanza cuando el número de vehículos esperando en fase roja sobrepasa un valor pre-establecido.

- (3) Se alcanza un límite bajo predeterminado de tiempo de paso cuando el número de vehículos correspondientes a la fase de luz verde por 10 seg. es menor que el valor preestablecido.
  - d. Este control asimismo comprende un efecto de transposición de tiempo para el grupo de automóviles en espera. Este, en efecto, recuerda un porcentaje predeterminado del periodo anterior de tránsito durante la luz verde y aplica sintéticamente ese número de vehículos esperando en luz roja, asegurando de esta manera un regreso más rápido a la fase verde cuando el próximo grupo de automóviles llega al detector.
  - e. La extensión máxima de luz verde también puede ser predeterminada y establecida en el control. Esta característica no debería funcionar muy a menudo por causa de la reducción de los factores en el tiempo de paso.
  - f. Los intervalos de luz amarilla se establecen para cada fase.
  - g. Cada fase tiene un interruptor de repetición que funciona de la misma manera como descrito para el control totalmente accionado.
  - h. El tiempo para paso de peatones es opcional.
  - i. Todos los tiempos de despeje en rojo son opcionales.
  - j. La omisión de fases cuando no hay llamada es opcional.
5. Control Modular Estado Sólido: Todos los controles tipos y otras características anteriormente mencionadas pueden ser suministradas en controles que usan tecnología de estado sólido. Estas unidades pueden ofrecer todos los artículos de controles electromecánicos que contienen, y más. Sin embargo, esto no viene sin compensación. Los instrumentos de estado sólido pueden fallar en los modos "on" o "off" lo que bajo condiciones de falla, pueden generar indicaciones conflictivas. También, los circuitos de estado sólido son susceptibles a las corrientes momentáneas. Por causa de los niveles más bajos de voltaje en los instrumentos de estado sólido, son más propensos a sufrir problemas de "ruido". Las características especiales disponibles en controles modulares son:
- a. Monitor de conflicto que vigila los circuitos de señales verdes y colocará la señal en flash si aparece una combinación de indicaciones para vehículos o para vehículos y peatones que están en conflicto.
  - b. Llamadas fijas y non-fijas del detector. Cuando un control funciona LOC (control de ocupación de la vía), se usa el detector de presencia cerca de la raya de parada; y el control se fija en non-fijo. Si se detecta un vehículo y este sale antes del intervalo de luz verde, la llamada del detector cae.

- c. Cuando hay repetición al límite de extensión, el tiempo se extiende por el "intervalo inicial" y por todo el "tiempo máximo de extensión".
  - d. Los módulos separados que pueden ser cambiados para reparar un control en el sitio o para cambiar su tipo de operación.
  - e. Modalidades en posición de "descanso" para los controles de estado solido pueden corresponder a luz verde de última fase, o todo rojo, verde al principio de la calle principal, o verde al final de la calle principal.
  - f. Para facilitar la coordinación del equipo accionado, algunos son equipados con dispositivos de desconexión, interrupción de tiempos, fijación de todos los relojes en cero, o de omisión de fase aún si se ha registrado una llamada para esa misma fase.
  - g. Las superposiciones de fases se facilitan en algunas máquinas con matriz enclavijada, lo que permite flexibilidad de control cuando las condiciones del tránsito cambian.
6. Computadoras programables: Se están haciendo esfuerzos actualmente para utilizar minicomputadoras o aún microcomputadoras que lleven a cabo las funciones de controles accionados. A final de cuentas, si el ingeniero de tránsito cambia de parecer con respecto a como debería operar una intersección, el computador es sencillamente re-programado. DOT de California ha implementado un control de volumen-densidad sobre mini computadora que usa menos de 4,000 palabras de memoria. Esta intersección también tiene una prioridad de ferrovía para la línea principal del Southern Pacific interestatal en la intersección de dos arterias principales.
- a. El costo es comparable a los sistemas corrientes para grandes complejos.
  - b. El "software" resulta difícil de generar.
  - c. Tiene un tipo diferente de procedimiento de mantenimiento.
  - d. Actualmente necesita ambiente controlado.
    - i. Temperaturas máxima y mínima
    - ii. Humedad.
  - e. superficies de contacto hombre-máquina para las comunicaciones.
  - f. Flexibilidad extrema si es posible de obtener si el ingeniero puede especificar el tipo exacto de control.
  - g. Muchos controles accionados son computadoras que usan

"lectura de memorias solamente"

D. Equipo Miscelánea

1. Control de Movimientos Menores: Es un control que puede intercalar una fase accionada dentro del ciclo de señal de un control semi o totalmente-accionado. El movimiento menor se asocia con una fase principal (relacionada) y, siempre que se llama al movimiento menor, también llama la fase relacionada. Uno de los usos típicos es de agregar fases protegidas de cruce a la izquierda a las calles principales o a un movimiento exclusivamente peatonal.
2. Unidad Monitora de Señal: Un dispositivo que "escucha" los circuitos de señales seleccionados para detectar la exposición simultánea de indicaciones verdes al tránsito que viene en sentidos que están en conflicto. Ya que los dispositivos estado sólido pueden fallar cuando en condiciones "ON" u "OFF", hace falta suministrar monitores de señales en todos los sitios utilizando dispositivos de estado sólido. Cuando el monitor detecte una condición conflictiva, colocará la intersección en modalidad de "flash" hasta que haya sido fijado otra vez manualmente.
3. Unidad de Superposición de Fase: Este proveerá una operación con superposición de fase en la que el control original tiene capacidades limitadas o restringidas. El funcionamiento de la unidad de superposición es controlada generalmente por la producción de señales del control relacionado. Puede ser utilizado con controles modulares de fase múltiple o con controles de menor movimiento.
4. Fijador de Tiempo para Luces Verdes de Avance: Esta unidad agrega una "luz verde de avance" y un intervalo de "despeje" a cada ciclo de la fase que le es relacionada. El fijador de tiempo verde de avance puede ser accionado u operar cada ciclo de esa fase relacionada. Los ajustes son la fijación del tiempo verde, el despeje y registro del detector en la extensión o memoria. La fijación de la extensión muchas veces se usa cuando una unidad brinda cruce a la izquierda protegido.
5. Control de Prioridades: Es posible interrumpir la operación normal de un control para implementar una secuencia especial fija a fin de brindar despeje de la vía en cruces de ferrovías, para vehículos en emergencia, para puentes levadizos o prioridad para un autobus. Sea cuando sea que el control de prioridades recibe un llamado, emite una orden de "force off" a la fase que en ese momento está en proceso. Si esa fase ya pasó por el intervalo inicial mas una extensión para vehículo, continuará hasta el intervalo de despeje y entonces soltará el control para la secuencia de prioridad. Los detectores de prioridades normalmente están diseñados a prueba de falla, por medio de un registro de voltaje bajo condiciones "no call".

6. Reloj con Doble Despeje: Esta unidad agregará dos tiempos fijos de intervalo a un ciclo de señal determinado. Un uso típico es una intersección secundaria donde hay insuficiente espacio de almacenamiento para los vehículos. El reloj suministra un tiempo verde de despeje seguido por uno amarillo.
  7. Reloj de una Sola Fase Todo en Rojo: El reloj intercala un segundo intervalo de despeje o un intervalo todo en rojo después del intervalo amarillo normal para cualquiera fase.
  8. Relays de Cambio de Carga: Estos switches responden a las ordenes del control y hacen efectivamente el cambio de fuerza hacia lamparas de señales que se encienden y se apagan.
  9. Relays de Flash: Son utilizados para operación temporaria de una señal durante el mantenimiento y para proveer el "NO CAMINE" interminente durante el intervalo de despeje para peatones.
- E. Detectores: Son dispositivos por los cuales los vehículos o peatones pueden registrar su presencia. Estos detectores comprenden los tipos siguientes.
1. Sensitivo a Presión. Un detector instalado en la superficie de la vía, capaz de ser accionado por la presión de un vehículo que pasa sobre la superficie.
    - a. Detección de punto.
    - b. Detección de movimiento.
    - c. Producción de pulsaciones.
    - d. 2 - 4 de vida de la colchoneta de presión.
    - e. Al repavimentarse la vía habrá que reconstruir la estructura.
    - f. Puede ser direccional.
  2. Magnético. Un detector instalado en o bajo la superficie de la vía, capaz de ser accionado por una variación magnética o eléctrica causada por un vehículo al pasar.
    - a. Detección de punto.
    - b. Detección de movimiento.
    - c. Producción de pulsaciones.
    - d. No-direccional.

3. Radar. Un instrumento de radar montado por sobre la calle que utiliza principios de radar para detectar el paso de un vehículo por debajo de la unidad.
  - a. Detección del area.
  - b. Detector de movimiento.
  - c. Producción de pulsaciones.
  - d. Non-direccional.
  - e. Se requiere licencia de radio teléfonos para el mantenimiento.
  
4. Sónico. Un instrumento montado por sobre la via que refleja un rayo de sonido en frecuencia ultra alta desde el pavimento. Un vehículo al interrumpir este rayo es detectado. Otros tipos tambien utilizan el efecto "doppler" de modo similar al del detector de radar.
  - a. Detección del area.
  - b. Detección de movimiento o de presencia.
  - c. Producción de pulsaciones o de retraso.
  - d. Non-direccional.
  
5. Circuito inductivo. Un circuito de alambre llevando una señal con frecuencia predeterminada está incrustado en el pavimento. Al pasar el vehículo cambia la inductancia y por esa razón, la frecuencia o la fase de la señal. Este cambio es detectado y convertido en acción de relay. Este detector se está tornando cada vez más popular por causa de su bajo costo y seguridad.
  - a. Detección del area.
  - b. Tamaño de circuito 6' x 6' a 6' x 150'.
  - c. Producción de pulsaciones o de presión.
  - d. Non-direccional excepto si se usa en pares.
  - e. Manual o sintonización propia.

6. Magnetómetro. Un punto de sensor incrustado en el pavimento. Funciona por el efecto focalizador del campo magnético de la Tierra causado por el metal ferroso del vehículo.
    - a. Detección de punto.
    - b. Detector de movimiento.
    - c. Producción de pulsaciones.
    - d. Non-direccional.
  7. Detector de Peatones. Se montan botones para ser oprimidos en los postes de las señales o en postes especiales adyacentes a la intersección. Es esencial que se tenga un programa de inspección regular y de mantenimiento para que estos detectores se mantengan en funcionamiento.
- F. El diseño de fijación de los controles en los equipos accionados es básicamente un proceso de intercambio en el cual el ingeniero intenta optimizar la ubicación de la detección vehicular a fin de ofrecer una operación segura y de minimizar las fijaciones en el control para minimizar el retraso a sufrirse en la intersección. El periodo de extensión para vehículos debe ser lo suficientemente largo como para que un automóvil que cruce el detector y siga a la velocidad razonablemente más baja por el acceso a la intersección entre en la intersección justo antes de que empiece el intervalo amarillo de despeje.

Hay quienes alegan que la extensión verde máxima de cada fase debería fijarse para un tiempo que corresponda a las más largas interrupciones que las demás corrientes de tránsito pueden tolerar. Normalmente, con una intersección funcionando dentro del límite de su capacidad, el tiempo máximo debería terminar el flujo de tránsito sólo ocasionalmente durante los periodos de punta; y en todo el tiempo restante, la prioridad se transferiría como resultado de huecos en el tránsito en los accesos con señal verde. Sin embargo, esta técnica, si bien minimiza el número de colisiones en ángulo recto y desde la parte trasera, aumentará el retardo promedio por vehículo durante los periodos de punta de la corriente del tránsito.

1. Controles Semi-Accionados: Estas unidades normalmente son utilizadas a lo largo de arterias cuyos cruces son calles con un volumen bajo o donde hay paso para escuela. Se usan los detectores solamente en la calle de menor importancia. En ausencia de llamadas de detector, el control permanece en luz verde sobre la calle principal.

- a. El "Periodo Minimo" (calle principal) determina el tiempo mínimo de luz verde para la arteria cuando la calle secundaria está accionada con cada ciclo. (la fijación típica es de 20-50 segundos).
- b. "Intervalo de Despeje" (calle principal ) es una función de la velocidad de los vehiculos en la calle principal y de la geometria de la intersección. Un intervalo amarillo de despeje de 3 a 6 segundos es el usado normalmente; nunca menos que 3 segundos y si más que 5 a 6 segundos son necesarios, utilicese todo el espacio de despeje de luz roja.
- c. "Intervalo Inicial" (calle secundaria) se fija lo suficientemente alto para que la mayor parte de la cola se mueva dentro de la intersección. Una fijación típica de 6 segundos o más da buenos resultados con detección a 50 - 75 pies de distancia de la línea de pare. El tiempo mínimo de luz verde consiste del intervalo inicial y de un intervalo de extensión para vehiculo, y debería ser suficiente para solucionar lo siguiente:

<u>Número de Vehiculos</u>	<u>Salida</u>	<u>Mínimo Luz Verde</u>
1	5	5
2	3.5	8.5
3	2.9	11.4
4	2.5	13.9
5	2.3	16.2
6	2.25	18.4
7	2.25	20.5

- d. El intervalo "Extensión para vehiculo" debería proveer suficiente tiempo para que los vehículos se muevan desde el detector hasta la intersección a una velocidad de cruce regular. Se fija generalmente el valor típico en aproximadamente 3 segundos.
  - e. El intervalo de "Maxima extensión: cuando las detecciones de vehiculos son lo suficientemente altas para que el control alcance su nivel de interrupción, el control funciona como una unidad con tiempo fijo y los tiempos de los ciclos pueden calcularse utilizando esa técnica.
2. Controles Totalmente Accionados: Este tipo de control permite mayor flexibilidad de control al reducir el retraso en las calles secundarias. El control responderá a las fluctuaciones del tránsito en todos los accesos e intentará llegar al final de las fases despues de haber servido las colas, lo que resultará en una reducción de los accidentes de final de cola (colocación típica del detector es a 75- hasta 150 pies de la línea de pare)

- a. "Los intervalos Iniciales" son una función de la colocación del detector y de la fijación de la extensión para vehiculos como se muestra en F-1.C.
- b. Se establecen "Extensiones para vehiculos" en relación con la ubicación del detector y el promedio de velocidad de los vehiculos. Se muestran algunas relaciones abajo:

Velocidad	Distancia Recorrida en tres Segundos	Tiempo Necesario para parar		Distancia Requerida para detenerse con 1 segundo de tiempo de reacción	
		1/2 g	PANICO	1/2 g	PANICO
25	110'	2.31	1.31	79'	61'
30	132'	2.75	1.57	105'	79'
35	154'	3.21	1.83	134'	98'
40	176'	3.67	2.10	167'	120'

- c. El "Intervalo máximo" determina el limite hasta donde puede extenderse el tiempo de luz verde bajo acción continua de vehiculos. Cuando se alcanza un máximo, se termina la luz verde para satisfacer una otra fase. El maximo de límite de tiempo se presenta en una fase solamente cuando hay demanda de tráfico en una fase opuesta. El retraso mínimo de la intersección ocurre a los 30 a 40 segundos de duración de fase. (fijaciones típicas son de 25 - 70 segundos con un promedio de 40 segundos).
- d. El "Intervalo de Despeje" se establece con la velocidad de marcha y las condiciones geometricas. Tres segundos es un mínimo y si se desea más de 5 - 6 segundos, debería usarse "todo rojo" al finalizar el intervalo en amarillo.

Velocidad (mph)	Recomendado por ITE (seg.)	Cal DOT (seg.)
	$y = t + 1/2 \frac{v}{a} + \frac{(v+1)}{v}$	
25	3.65	3
30	3.54	3.2
35	3.56	3.5
40	3.63	4
45	3.71	4.5
50 +	3.83	5**

\*\* u s e trampas para detectar velocidad.

- e. El intervalo para "Paso de Peatones" debería tener un tiempo mínimo de 7 segundos. Normalmente el resto del tiempo para peatones se provee con el intervalo de despeje. Sin embargo, si se quiere satisfacer a grupos grandes, habrá que calcularse un intervalo más largo en base al ancho de la calle, 2 pies de ancho por peaton, 3 pies de largo por peaton, y una velocidad de 4 pies por segundo.
  - f. El intervalo de "Despeje para Peaton" es el tiempo necesario para atravesar el largo completo del cruce de la calle menos el tiempo de luz amarilla para despejar la vía. El despeje de la vía por parte de los peatones =  $(\text{Distancia}/4 \text{ pies por segundo}) - \text{despeje en amarillo}$ .
3. Control Modular de Estado Solido: Todas las funciones de fijación de tiempo deberán ser fijadas de un mismo modo igual que los controles normales totalmente accionados.

Además de las fijaciones regulares, es necesario especificar el uso de LOC o non-LOC, de la superposición de detectores, de la modalidad de descanso, y del tipo de fijación para repetición.

- a. "Non-LOC" como llamadas de detector; después de trabajar con la colocación del detector y el mínimo largo de luz verde necesario en consecuencia para servir cualquier cola potencial acumulada en la línea de pare, algunas agencias usan control de ocupación de vía. Se usa detección de presencia desde la línea de pare a lo largo de toda el área de detección de vehiculos. El intervalo inicial y la extensión de vehiculos se pone en cero, y el detector con memoria se pone en non-LOC de modo que un vehiculo que cruza y deja el área de detección no causa una fase.
- b. La posición de "Repetición" puede fijarse en tres posiciones diferentes. La repetición por medio del vehiculo causará que la fase fije el intervalo inicial y un intervalo de extensión para vehiculo y luego responda a cualquier detección de vehiculo, donde sea que tenga lugar. La repetición en el caso de los peatones causará que la indicación de PASE y su tiempo fijado correspondiente será activado en cada ciclo. La tercera posición repite hasta el límite máximo de verde a cada ciclo.
- c. La superposición de movimiento siguiendo derecho en la calle principal se obtiene usando llamadas de detector con doble entrada y fijación de tiempo correspondiente en una máquina de ocho cuádrupolos, de modo que ambas fases de la calle principal terminarán al mismo tiempo.
- d. Los patrones de tránsito bajo condiciones de tránsito liviano ayudarán a predeterminar el mejor modo en "descanso" para el control:

- i. Un tránsito pesado en la calle principal y tránsito liviano en la calle que la cruza -- posición "descanso" en la calle principal con luz verde desde el principio de la luz verde.
  - ii. Con tránsito moderado en la calle principal y esporádico en la calle que la cruza -- posición "descanso" en la luz verde de la calle principal al final de la luz verde.
  - iii. Volúmenes iguales en ambas calles -- "descanso" en todo rojo con detectores para hacer llamadas.
4. Control Volumen-Densidad: Después de intentar equilibrar los cambios de detección a larga distancia por su seguridad contra detección corta y establecimiento de controles más pequeños por la reducción de los retrasos, por qué no probar densidad de volumen? Los detectores son colocados típicamente a 250 hasta 400 pies de adelanto de la línea de pare. Estas distancias requerirían extensiones iniciales y de vehículos de 33-50 segundos y 6.8 - 10.9 segundos respectivamente -- demasiado largo si sólo algunos vehículos parados están esperando.
- a. Puede fijarse ahora el "Verde Mínimo" para cubrir alguna distancia menos que la distancia hasta los detectores. Se recomienda un valor bajo para permitir ciclos de duración corta durante la operación en horas tardes de la noche.
  - b. "Número de Acciones" antes de que se extienda la luz verde. La fijación complementa el "verde mínimo" y es una función del número de vías de acceso y del promedio de tamaño de los vehículos.
  - c. "Extensión de Segundos" al verde mínimo es la extensión incrementada por acción durante la fase en rojo una vez que el número de acciones ha sobrepasado el límite bajo establecido arriba.
  - d. El "Tiempo para pasar" se fija exactamente del mismo modo que la extensión de tiempo para vehículos en los equipos accionados, de tipo estándar. Se le concede suficiente tiempo para que un vehículo que venga a velocidad razonable cubra la distancia desde el detector hasta la línea de pare.
  - e. El efecto de "Acumulación de grupo" anticipa la llegada del próximo grupo insertando un porcentaje contado de la fase anterior hacia la cuenta de vehículos en luz roja para el próximo ciclo.

- f. Hay tres maneras de terminar la fase de luz verde, fuera de la brecha por tiempo de pasaje o terminación de luz verde máxima.
  - i. Tiempo esperando requiere una fijación para que la "brecha mínima" y el "tiempo esperando" alcancen la brecha mínima. El "tiempo esperando" empieza el movimiento cuando se recibe una llamada que pide una fase opuesta durante el intervalo de pasaje. Una vez que el "tiempo esperando" empieza a correr, la brecha mínima se reduce gradualmente de 15 segundos hasta la brecha mínima establecida para esa fase.
  - ii. Carros esperando requiere fijación de "brecha mínima" y "número de acciones" esperando con luz roja. A medida que el "numero de acciones" en rojo aumenta, la brecha mínima disminuye hasta llegar a la brecha mínima establecida en el disco.
  - iii. Densidad terminará una fase verde cuando se exceda la "brecha mínima" y el "número de acciones" por 10 segundos está por debajo del valor predeterminado. Esta característica también utiliza una escala para reducir la brecha mínima de 15 segundos a la brecha mínima establecida en el disco.
- g. "Verde Maximo" este tiempo puede ser fijado a bastante alto porque hay tantas oportunidades de terminar el verde con terminación por brecha.

CONTROL DE TRANSITO EN LAS CALLES POR COMPUTADORA

UNA DISCUSION SOBRE CONTROL OPERATIVO

J.L. Schlaefli

Sesión de Trabajo sobre Control de Tránsito por Computadoras  
Center for Urban and Regional Affairs  
(Centro de Asuntos Urbanos y Regionales)  
Universidad de Minnesota  
Centro de Conferencias de Springhill

20 de marzo de 1974.

## CONTENIDO

I	Introducción . . . . .	1
II	Toma de Decisiones y Administración . . . . .	2
III	Asesoría . . . . .	7
IV	Instalación . . . . .	8
V	Operación . . . . .	12
	Bibliografía . . . . .	14

## CUADROS

Cuadro 1	Sistemas de control de tránsito por computadora, existentes o propuestos	4
Cuadro 2	Principales vendedores de sistemas de control de tránsito, y proveedores de subsistemas . . . . .	10

## CONTROL DE TRANSITO DE CALLE POR COMPUTADORA

### Una discusión de Control Operativo

#### I INTRODUCCION

El bulto de conocimientos sobre ingeniería de tránsito y control de tránsito de calle es realmente muy grande. Durante los últimos diez años, la tecnología en desarrollo ha permitido a la computadora asumir un papel importante en el control de señales de tránsito. Esta sesión de trabajo sobre control de tránsito por computadora presenta una oportunidad única a sus participantes. El desarrollo de la tecnología de control de tránsito por computadora ha hecho proliferar un nutrido cuerpo de profesionales. Parecería que hay demasiada poca oportunidad para los de entre nosotros que trabajan en ese campo de tomar un descanso para considerar nuestra dirección. A veces algunos subgrupos (por ejemplo, investigadores FHWA, asesores, ingenieros de tránsito municipal, vendedores de "hardware") se reúnen por separado para considerar sus intereses en el campo, pero raras veces se da que una buena representación de profesionales de cada interés en particular se reúne. Esta sesión ofrece una oportunidad excelente para que una buena representación de profesionales intercambie ideas mientras trabajan juntos en los problemas substantivos relacionados con el control del tránsito por computadora.

Una evaluación de control operativo muchas veces se basa sobre una revisión extensiva de la literatura en un campo técnico específico. Si bien la bibliografía de este trabajo es bastante extensa, es probablemente incompleta y el ámbito de esta presentación no ha incluido una revisión detallada. Por otra parte, se ha supuesto que los participantes de esta sesión están familiarizados con la literatura existente. Un propósito importante de la celebración de esta sesión de trabajo fue de reunir todos\* estos expertos y considerar las necesidades futuras de la investigación en el campo del control de transito por computadora. Por esta razón, el propósito de este trabajo es de presentar una discusión general y establecer una estructura para que los participantes a esta sesión de trabajo desarrollen y documenten el control operativo en sistemas de control de tránsito de calles. Esta estructura debería establecer el cuadro de modo que los participantes

puedan trabajar juntos en el desarrollo y compendio de la investigación teórica, desarrollo del "software", desarrollo del "hardware", técnicas de diseño y políticas de operación en el campo para sistemas de control de tránsito con computadoras. La estructura está desarrollada en cuatro categorías básicas, como sigue:

- Toma de Decisiones y Administración -- Esta categoría se caracteriza por el sistema en las dependencias municipales, estatales-federales, para actuar en lo que respecta a los desarrollos de control de tránsito. Comprende la justificación de los sistemas, toma de decisiones y administración del esfuerzo en su totalidad.
- Asesoría -- Esta categoría comprende el uso de expertos asesores por parte de las entidades municipales empeñadas en el desarrollo de sistemas. Cuando se consulta algún asesor, se delega varios aspectos de la toma de decisiones y del proceso de administración.
- Instalación -- Esta categoría comprende el suministro de equipo ("hardware" y "software") y la capacidad necesaria para instalar un sistema de control de tránsito. El cumplimiento de estas funciones usualmente compiten con los proveedores de los sistemas.
- Operación -- Esta categoría comprende el manejo y mantenimiento del sistema de control de tránsito una vez instalado y suele ser responsabilidad de una dependencia municipal.

Las acciones siguientes presentan definiciones y descripciones generales de problemas y progreso en las cuatro categorías descritas arriba. Las necesidades de investigación son indistinguibles en cada área, pero se deja la definición de estas al cuidado de los grupos de trabajo, de acuerdo con los propósitos básicos de la Sesión de Trabajo.

## II TOMA DE DECISIONES Y ADMINISTRACION

El desarrollo de sistemas de control de tránsito en los Estados Unidos se concentra en el proceso de toma de decisiones en las dependencias municipales locales. Actualmente es probable que haya más de 100 dependencias municipales que están activamente en proceso de desarrollar un sistema de control de tránsito de calle por computadora. El cuadro I resume los sistemas de control de tránsito por computadora, existentes o propuestos, en los Estados Unidos.

La lista probablemente es bastante incompleta pero indica que se está actuando extensamente en el desarrollo de estos sistemas. Un examen de la lista revelará que tanto ciudades grandes como pequeñas están empeñadas en este esfuerzo. A veces se puede ganar conocimientos significativos de las estadísticas generales sobre estos desarrollos. Como se puede observar en el Cuadro I, la información completa sobre el número de intersecciones y detectores no es fácil de obtener. Esto puede resultar de una falta de atención a la documentación y diseminación de información sobre desarrollos de sistemas de control de tránsito.

El cuadro identifica 95 sitios donde hay sistemas bien sea en funcionamiento o en alguna etapa de desarrollo. En 39 sitios, los datos sobre números de intersecciones en el sistema están disponibles y se incluye un total de casi 5.000 intersecciones. De estos datos, podría proyectarse que más de 12.000 intersecciones con señal, ó están siendo controladas actualmente, o están en alguna fase de desarrollo de control de tránsito con computadora. Estas cifras ofrecen alguna visión de profundidad sobre la expansión del campo y sobre el número de dependencias empeñadas en esa actividad.

Si se mira la historia del desarrollo de un sistema típico, se observa inmediatamente que la toma de decisiones y la administración consume la mayor parte del ciclo de desarrollo. Si la iniciación del ciclo de desarrollo está considerado como el tiempo en que se estableció la necesidad en la municipalidad local y cuando la aprobación para proceder fue dada localmente, es común encontrar que se esperó más de un año desde ese momento hasta el momento en que se ha iniciado la instalación. La literatura no es extensa sobre este aspecto del control operativo del sistema de control de tránsito por computación. Stockfish y Erdman han presentado trabajos que bien vale la pena revisar. Muchos de los sistemas siendo desarrollados actualmente son costeados parcialmente con dineros provenientes de Ayuda Federal. Por esta razón, la Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras) ha puesto mucho interés en el proceso de toma de decisiones. Los lineamientos generales para que se asigne fondos Federales y se revise el proceso de toma de decisiones ha sido establecido, ejercido y cambiado en los últimos cuatro o cinco años. Desgraciadamente, la mayoría de los lineamientos son muy subjetivos y la conformación interpretativa es muy laboriosa y dilatada. Quizás podemos aprender algo de nuestros colegas británicos en este aspecto. En Inglaterra, se han establecido lineamientos muy específicos sobre el diseño de sistemas de control de tránsito y su financiamiento. En qué tipo de ayuda puede obtenerse del Departamento de

Cuadro I

SISTEMAS DE CONTROL DE TRANSITO POR COMPUTADORA  
EXISTENTES Y PROPUESTOS

Sítio	N° Int.	N° Det.	Pro- puesto	En Cons- trucción	Opera- cionales
Albany, Ga.	60	60		X	
Albany, N.Y.	22	--			X
Albuquerque, N.M.	--	--	X		
Ann Arbor, Mich.	--	--		X	
Atlanta, Ga.	60	64		X	
Austin, Tex.	--	--			X
Baltimore, Md.	900	1,400		X	
Baltimore County, Md.	--	--			X
Bellevue, Wash.	--	--	X		
Birmingham, Ala.	--	--	X		
Boston, Mass	18	120		X	
Boulder, Col.	27	65			X
Buffalo, N.Y.	--	--	X		
Canton, Ohio	--	--			X
Charleston, N.C.	90	87			X
Charlotte, N.C.	174	55		X	
Chattanooga, Tenn.	--	--	X		
Chicago, Ill.	73	354		X	
Chula Vista, Ca.	44	38		X	
Clarksburg, W. Va.	--	--	X		
Colorado Springs, Col.	150	254		X	
Columbia, S.C.	--	--	X		
D.C. (UTCS)	111	660			X
Dallas, Tex.	--	--	X		
Denver, Col.	300	0			X
Detroit, Mich.	--	--	X		
Durham, N.C.	--	--	X		
Fairmont, W. Va.	--	--		X	
Ft. Lauderdale, Fla.	--	--	X		
Ft. Wayne, Ind.	82	100			X
Garland, Tex.	--	--			X
Grand Rapids, Mich.	--	--	X		
Greensboro, N.C.	150	225		X	
Greenville, S.C.	--	--	X		
High Point, N.C.	--	--	X		
Honolulu, Haw.	90	64		X	
Indianapolis, Ind.	--	--	X		
Jacksonville, Fla.	--	--	X		
Knoxville, Tenn.	--	--	X		
Lansing, Mich.	200	--	X		
Las Vegas, Nev.	7	11			X
Lincoln, Neb.	--	--	X		
Los Angeles County, Ca.	112	500			X
Labbock, Tex.	--	--			X

Cuadro 1 (Continuado)

Sitio	Nº Int.	Nº Det.	Pro- puesto	En Cons- trucción	Opera- cionales
Memphis, Tenn.	--	--	X		
Miami, Fla.	--	--	X		
Minneapolis, Minn.	700	1,000	X		
Mobile, Ala.	--	--	X		
Montgomery, Ala.	--	--	X		
Montgomery, Md.	--	--	X		
Morgantown, W. Va.	--	--		X	
Nashville, Tenn.	--	--	X		
Nassau County, N.Y.	115	110			X
New Orleans, La.	--	--	X		
Newport News, Va.	--	--		X	
New York City, N.Y.	--	--			X
Norfolk, Va.	100	0		X	
Oakland, Ca.	4	163		X	
Oklahoma City, Okla.	33	153		X	
Omaha, Neb.	--	--	X		
Orlando, Fla.	--	--	X		
Overland Park, Kan.	43	274	X		
Pamona, Ca.	15	15		X	
Pasadena, Tex.	63	--		X	
Petersburg, Va.	--	--		X	
Phoenix, Ariz.	252	350		X	
Pittsburg, Pa.	--	--	X		
Ponce, P.R.	--	--	X		
Portland, Ma.	--	--	X		
Portland, Ore.	--	--			X
Portsmouth, Va.	--	--		X	
Pueblo, Col.	42	--		X	
Raleigh	158	105		X	
Richmond, Va.	190	--		X	
Rochester, N.Y.	--	--	X		
Rocky Mountain, N.C.	--	--	X		
Salt Lake City, Utah	7	3		X	
San Jose, Ca.	63	400			X
Savannah, Ga.	93	230		X	
Shrevport, La.	265	500		X	
So. Charleston, W. Va.	--	--	X		
Spokane, Wash.	--	--	X		
State College, Pa.	--	--	X		
Syracuse, N.Y.	--	--	X		
Tampa, Fla.	--	--		X	
Wenatchee, Wash.	--	--	X		
Weirton, W. Va.	--	--	X		
West Palm Beach, Fla.	11	20		X	
Wheeling, W. Va.	--	--		X	
White Plains, N.Y.	--	--	X		

Cuadro 1 (Continuado)

Sitfo	N° Int.	N° Det.	Pro-puesto	En Cons-trucción	Opera-cionales
Wichita Falls, Tex.	77	51			X
Wilkes-Barre, Pa.	46	--		X	
Winston-Salem, N.C	--	--	X		
Worcester, Mass.	6	45			X
Yonkers, N.Y.	--	--	X		
<b>TOTALS</b>	<b>4,953</b>	<b>7,465</b>	<b>44</b>	<b>32</b>	<b>19</b>
Proposed	943		X		
Under Construction	2,998			X	
Operational	1,012				X
Detectors per Intersection	1.7				

368

Transporte y en qué dirección técnica tiene que dirigirse.

La cuestión de si todo el problema de toma de decisiones y de proceso administrativo en el control del tránsito por computadora es investigable o no lo es está abierta a interrogante. En todo caso, es un area que debería ser considerada cuidadosamente por los participantes a esta sesión de trabajo por su potencial de asignar recursos (por ejemplo, dinero y tiempo profesional) que están disponibles para desarrollos de sistemas de control.

### III ASESORIA

Más de la mitad de los nuevos desarrollos de sistemas de control de tránsito en los Estados Unidos incluyen un asesor. Aquí, como en muchos casos en que la municipalidad no tiene el tiempo ni la pericia para llevar a cabo un proyecto en especial, se contrata una organización asesora. En esencia, el asesor emprende un estudio que resulta en un diseño de sistema y especificaciones y luego juega algún papel durante la implementación del sistema. Algunas organizaciones se han especializado en proveer este servicio y han ganado reputaciones nacionales e internacionales por su trabajo. En general, el empleo de un asesor ha complicado las etapas incipientes de desarrollo de los sistemas. Los tiempos de arranque generalmente se dilatan por causa de los requerimientos especiales de ayuda Federal para la escogencia del asesor y la negociación del contrato.

Se ha reconocido que todos los sistemas de control de tránsito con computadora que están en funcionamiento o en proceso de instalación se dirigen a situaciones únicas. El servicio más importante suministrado a la agencia municipal por el asesor es la capacidad de dirigir las cuestiones críticas y la singularidad del proyecto de desarrollo. La red del tránsito, la situación política y los recursos de la ingeniería del tránsito y de mantenimiento son generalmente muy diferentes de agencia a agencia. Por esta razón, un sistema que conviene a un lugar está lejos de ser optimo para algún otro. Los resultados de la planificación inicial para el desarrollo de sistemas de control de tránsito son representados por lo general por un juego de especificaciones de sistemas y de condiciones para los contratos. La práctica actual indica que estas especificaciones son muchas veces muy variadas en formato y en ámbito. En esta etapa del control operativo, parecería que hay cierta falta de definición de lo que realmente se requiere en la especificación de oferta de un sistema de control de tránsito. Por otra parte, nuestros colegas Británicos han desarrollado y diseminado un "modelo" de especificación.

Un examen de la experiencia de ellos, desde este punto de vista, debería rendir conocimientos valiosos. Investigaciones sobre las sensibilidades de la filosofía del control de tránsito, introducida por varias decisiones de "hardware" pueden resultar beneficiosos en lo que proveerán lineamientos para cuestiones críticas que deberán ser resueltas durante el diseño del sistema.

El concepto de ingeniería de diseño ha aparecido recientemente como enfoque alternativo de desarrollo de sistemas. La próxima sección trata de la instalación que presenta una discusión de los fabricantes de equipos, de los instaladores y de sus problemas. Este enfoque debería ser evaluado totalmente y debería establecerse políticas. La oportunidad que ofrece esta sesión de trabajo para dialogar entre quienes tomamos las decisiones, asesores, y fabricantes puede jugar un papel importante en la identificación de nuevos enfoques más eficientes hacia el desarrollo de sistemas.

#### IV INSTALACION

Mucho de lo escrito y mucho de las investigaciones en el campo del control de tránsito se concentra en "hardware", instalación y conceptos de operación de los nuevos sistemas. Tal como se puede ver en la discusión anterior, hay considerablemente más factores que afectan el desarrollo de un sistema. Esperamos que el formato de esta discusión asistirá a los participantes de esta sesión en considerar el control operativo dentro de su contexto apropiado.

Los sistemas de control de tránsito por lo general incluyen el suministro e instalación de lo siguiente:

- (1) Detectores de Tránsito
- (2) Controles de Intersecciones y/o Unidades de Contacto
- (3) Terminales de Comunicación de Datos sobre Tránsito y Unidades de Contacto
- (4) Computadora de Control Central incluyendo Periferales (mapa de referencia, consola para el operador, unidades de almacenaje, y varios dispositivos input/output)
- (5) Software (comprende todas las aplicaciones de programas a sistemas y control).

Estos elementos de sistemas vienen juntos de modo a formar el nuevo sistema de control de tránsito en un area urbana. El Cuadro I ya indicó que muchos sistemas están en proceso de desarrollo . Varios de los fabricantes más importantes asi como compañías de sistemas tienen grupos especializados en el campo del control de tránsito. Una encuesta reciente de algunas de estas organizaciones produjo la información del Cuadro 2.

El problema encarado por estas compañías es el de reunir un sistema confiable bajo las presiones de ofertas muy competitivas y, en muchos casos, con especificaciones que están abiertas a interpretación muy amplia. Puedese juzgar del control operativo observando el "hardware" que suministran estas organizaciones. Debería siempre guardarse en mente las presiones bajo las cuales estas licitaciones por sistemas y las implementaciones correspondientes tienen lugar. Como lo muestra el cuadro, hay una corriente importante hacia el uso exclusivo de mini-computadoras modernas de alta capacidad. El Modcomp e Interdata son máquinas que parecen indicar los proveedores predilectos. Traffic Data Systems (TDS) y Sarasota han visto sus detectores difundidos extensamente. Un esquema de comunicaciones multiplex que fué desarrollado específicamente para el control del tránsito con TDS se ha vuelto prominente. El precio/rendimiento de estos subsistemas de comunicaciones hace que ellos sean altamente competitivos con todas las alternativas disponibles.

Los controles de señales de tránsito los suministran varias fuentes. Recientemente encontramos unos controles especialmente diseñados para el control del tránsito con computadoras. Estos empezaban a introducirse en el mercado. Sin embargo casi todas las especificaciones establecen requerimientos diferentes de controles y aún no ha aparecido un tipo standard. Las micro-computadoras se han introducido rápidamente en el campo de los controles de señales de tránsito. Estos sistemas basados en micro-procesos proveerán por lo menos en concepto la flexibilidad de reprogramación para la aplicación variada en sistemas donde aún estan por instalarse los nuevos controles. La experiencia con estos nuevos sistemas tecnológicos no es muy rica. Probablemente harán falta nuevos dispositivos de ayuda para software a alto nivel para ser usado en el desarrollo de nuevos programas de micro-procesos. Una parte significativa del mercado incluirá los contactos

PRINCIPALES VENDEDORES DE SISTEMAS DE CONTROL DE TRANSITO Y  
PROVEEDORES DE SUBSISTEMAS

Nombre	Per-sonal	Detc-tores	Con-troles	Comuni-caciones	Compu-tadoras	Disco	LP	CRT
Automatic Signal	8	ASD	ASD	ASD	DEC	Diablo	Centronics	---
Computer Systems Engineering (CSE)	20	Sarasota	Marbelite	CSE Integrated design	GA	Drum	---	ADDS
Computran	15	TDS/ Sarasota	TDS	TDS	Modcomp Interdata	---	---	---
Eagle Signal	12	Eagle	Eagle	TDS/SCI other	NOVA	Diablo	Centronics	ADDS Beehive
Econolite	10	Sarasota	Econ.	Econ.	Ling	---	---	---
Honeywell	30	Sarasota	Datacom	TDS	HON.	Xebec	Centronics	ADDS
Sperry	70	Decatur/ TDS	TDS	TDS	Interdata	Diablo	Centronics	Hazeltine
SDC	4	TDS/ Sarasota	Singer et. al	LARS Quindar	Modcomp DEC	---	---	---
TRW	40	Sarasota	GRS	TRW TDS	Modcomp	Diablo	---	ADDS
Summary	209	Sarasota	?	TDS	Modcomp	Diablo	Centronics	ADDS

en controles existentes lo que no presenta ningún problema técnico muy serio. Desde el punto de vista del software de control de computadora, hay fabricantes de mini-computadoras que tomaron acción significativa para suministrar software usable como ayuda de sistemas. Esto le quitó algo del peso que debía sostener el diseñador en el sentido de que ahora puede depender más completamente de la ayuda que le da el fabricante de computadoras. Se está haciendo bastante progresos en las áreas de investigación en filosofías de control de tránsito como lo prueba el programa FHWA que incluye UTCS. En vista de que este es un asunto muy completo en si mismo, su control operativo será tratado en una discusión por separado.

La instalación de un nuevo sistema de control de tránsito en la calle no resulta muy diferente de la instalación de un sistema de señales de tránsito corriente, como los vienen instalando los contratistas de electricidad o contratistas en general desde hace años. El equipo que ellos están instalando ahora es algo más complejo y quizás necesita que se ponga más énfase en las técnicas de instalación de sistemas de comunicación.

Se ha registrado relativamente pocos fracasos en computadoras de sistemas y en el desarrollo de software hasta ahora. Además, no hay buena documentación en cuanto a las características de los fracasos de varios componentes en los sistemas de control de tránsito. En resumen, el control operativo parecería dictar más investigación sobre los nuevos tipos de detectores de vehiculos, standards de equipos de control, software de control de tránsito y confiabilidad de los componentes de los sistemas.

Hay disponible una cantidad considerable de información sobre los costos de los sistemas de control de tránsito en los Estados Unidos, sacados de documentos de licitaciones. Una encuesta anterior, que usó datos viejos de aproximadamente cinco años indicó que podía llegarse, a un costo de \$10.000 y \$12.000 por intersección, a obtener el suministro e instalación de un sistema. Al comparar la información sobre costos contenida en muchas de las ofertas que se hicieron en 1972 indica que el costo promedio fue de \$4.000 por intersección en los Estados Unidos. Incluyendo esta cifra, en muchos casos, los costos de construcción especial. Los costos de sistemas fueron bajando por causa de la situación de competencia en las ofertas. Es importante notar que se necesita un procedimiento mucho mas exacto de determinación de

costos, ya que la oferta inicial muchas veces se renegocia en base a cambios en los requisitos. Los costos bajos de instalación generalmente dan paso a costos mas altos de mantenimientos en el futuro, una situación que puede resultar desastrosa si no es prevista correctamente. Los datos están disponibles y las investigaciones en este campo deberían ser muy valiosas para las dependencias estatales y locales que toman decisiones sobre instalaciones de sistemas de control de tránsito.

## V OPERACION

El mantenimiento de sistemas modernos de control de tránsito ha recibido poca atención en los Estados Unidos. Varios sistemas de control de tránsito de calle vienen funcionando desde lo suficiente tiempo para indicar que el mantenimiento puede ser un problema significativo. Varios factores deberán ser considerados. Por ejemplo, el mantenimiento de los detectores de vehículos desde hace mucho tiempo ha sido un problema conocido. En un sistema de control de tránsito con computadora, el estado de los detectores está continuamente sintonizado por la computadora y cuando su tiempo se descontrola ello se sabe inmediatamente. Esto no es el caso de los sistemas aislados actuados por vehículos donde es muy difícil determinar si están funcionando cabalmente o no. Desde hace mucho la experiencia con los detectores ha indicado que, en algunos casos, casi 30 por ciento de los detectores podrían estar fuera de operación al mismo tiempo. Los problemas de entonación con los amplificadores o la división del circuito propiamente dicho eran las causas más frecuentes. Con sistemas más recientes y con una buena técnica de instalación los problemas no deberían ser tan graves. Sin embargo, de haber mantenimiento casi continuo de la utilería y de los equipos en la calle, se contribuirá a aliviar el problema, independientemente de la confiabilidad del hardware.

Con respecto a los equipos de comunicación, el mantenimiento debería ser similar en complejidad al de mantener controles electrónicos. Si bien no se ha hecho investigaciones muy completas sobre el problema de mantenimiento de los controles de señales de tránsito, se ha aceptado que los sistemas de solid-state, cuando correctamente diseñados, son relativamente fáciles de

mantener. Sin embargo, el advenimiento de nuevos equipos es causa de que las municipalidades tengan que cambiar su filosofía de mantenimiento. Este acto administrativo en muchos casos es muy difícil y necesita una fuerte justificación. Por lo tanto, si se demostrara con evidencia de documentos, por ejemplo, que el equipo solid-state puede mantenerse con 60 por ciento de los costos de un equipo electro-mecánico, podría haber una justificación mucho más fuerte de que el nuevo equipo y mantenimiento correspondiente tienen personal más capacitado.

En el centro de computación, un equipo de computadora bien diseñado probablemente resultará muy confiable. Hay que trabajar para determinar cuando y que tipo de contrato de mantenimiento deberá negociar la municipalidad para que tipo de equipo de computación. El impacto de los costos de estos contratos comparado con el costo por equipo debería establecerse al tiempo de hacer el diseño del sistema. Es probable que el software necesite atención considerable si se ha de mantener el mejor sistema posible de control. Esto pide un tipo de capacidad de mantenimiento altamente especializado que probablemente no será desarrollado por las municipalidades. A medida que va apareciendo la tecnología de control de tránsito, la capacidad de mejorar el sistema existente irá haciéndose presente.

En resumen, hay una necesidad considerable de investigación en el área de mantenimiento y operación de los sistemas de control de tránsito. El equipo, los controles, los detectores, las comunicaciones, el equipo de los centros de computación y el software necesitan estudio hasta que se puedan desarrollar buenos lineamientos para el mantenimiento y obtener estadísticas significativas. Las respuestas a preguntas del tipo de las que hemos mencionado arriba podrán contribuir considerablemente al futuro control operativo de los sistemas de señales de tránsito controlados con computadoras.

## BIBLIOGRAPHY

"Advanced Control Technology in Urban Traffic Control Systems," Sperry Rand Corporation, Great Neck, New York, October 1969.

Almond, Joyce and R. S. Lott, "The Glasgow Experiment: Implementation and Assessment," Ministry of Transport, RRL Report LR 142, Crowthorne, Road Research Laboratory, 1968.

"Area Traffic Control Systems," OECD, February 1972.

Bairstow, J. N., "What's Wrong with Urban Traffic Control," Control Engineering, pp. 78-84, February 1969.

Cass, S., "A Computer Controls Traffic Signals," Fourth World Highway Conference, Montreal, October 1970.

Chapman, H. R. and H. M. Raynor, Jr., "MOE's of a Centralized Traffic Control System," Traffic Engineering, March 1972.

Cobbe, B. M., "The Approach to Control in West London," Area Control of Road Traffic, Institute of Civil Engineers, pp. 1-5, 1967.

Crook, A.D.J., "Effect on Accidents of Area Traffic Control in West London," Traffic Engineering and Control, pp. 30-31, May 1970.

Davis, M. G. and W. B. Hirsch, "Planning Considerations for Traffic Signal Systems," 50th Highway Research Board Annual Meeting, Washington, D.C., January 1961.

Dent, D. M., K. Leitch, and B. M. Wratten, "The Use of a Digital Computer for Traffic Control at Surfer's Paradise--Queensland," AARB Conference, August 1970.

Dent, D. M., "Digital Computer Traffic System--Surfer's Paradise," Queensland Division Technical Papers, Volume 11, No. 9, October 1970.

Eaton, J. E., "The Glasgow Experiment: Its Effect on Accidents," Ministry of Transport, RRL Technical Note TN 395 (Unpublished report).

Erdman, J. W., "Procurement of a Control System for the City of Baltimore," ITE Compendium, 43rd Annual Meeting, August 1973.

"Evaluation of Centralized Traffic Control Systems," Department of Traffic and Transportation, Charleston, South Carolina, October 1968.

Friedlander, Gordon D., "Computer-Controlled Vehicular Traffic," IEEE Spectrum, pp. 30-43, February 1969.

Hillier, J. A., "Glasgow Experiment in Area Traffic Control," Traffic Engineering and Control, Volume 7, No. 8, pp. 502-509, December 1965, and Volume 7, No. 9, pp. 569-571, January 1966.

Hillier, J. A., "The Glasgow Experiment: Schemes and Equipment," Ministry of Transport, RRL Report LR 95, Crowthorne, Road Research Laboratory, 1967.

Hillier, J. A. and Joyce Holroyd, "Area Traffic Control in Glasgow: A Summary of Results from Four Control Schemes," Traffic Engineering and Control, Volume 2, No. 5, pp. 220-223, September 1969.

Hillier, J. A. and Joyce Holroyd, "The Glasgow Experiment: PLIDENT and After," paper presented at the Joint Transportation Engineering Conference, Chicago, Illinois, October 11-14, 1970.

Hodges, J. D. and D. W. Whitehead, "Automatic Traffic Signal Control Systems--The Metropolitan Toronto Experience," AFIPS Conference Proceedings, Volume 34, Montreale, New Jersey.

Irwin, N. A., "The Toronto Computer Control Traffic Signal System," Traffic Control, Theory and Instrumentation.

Karagheuzoff, Theodore, "A Perspective on Electronic Traffic Control," IEEE Northwest Electronics Research and Engineering Meeting (NEREM 69), Boston, Massachusetts, November 1969.

Kay, J. L., "Computer Signal Systems--State-of-the-Art," 1971.

Kohnert, Dietrich and Achim Musiol, "Traffic Control Computer System 16000," Traffic Engineering and Control, pp. 510-514, February 1971.

Lam, J. K., "The Operation and Use of Vehicle Loop Detectors in the Toronto Traffic Control System," April 1971 (unpublished paper).

Lieberman, E. B., R. D. Worrall, and J. M. Bruggeman, "Logical Design and Demonstration of the UTCS-1 Simulation Model," Highway Research Board Record No. 409, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Washington, D.C., pp. 46-56, 1972.

Mills, M. K., "Prototype Magnetic Gradient Vehicle Detector," DOT/FHWA Office of Research Final Report (Staff Research Study), September 1972.

Peat, Marwick, Livingston & Company, "Traffic Signal System Study," Department of Transit and Traffic, City of Baltimore, Maryland, Final Report, February 1969.

Pinnell, Charles, "Utilization of Digital Computers for Real-Time Traffic Control," Traffic Engineering, pp. 34-42, July 1968.

Rausch, Jr., R. G., "Coaxial Cable Interconnect System for Traffic Surveillance and Control," ITE Compendium, 43rd Annual Meeting, August 1973.

Raynor, Jr., H. M., "Charleston's Signal System Moves Tomorrow's Traffic Through Yesterday's Streets," Traffic Engineering, May 1970.

Ross, D. W., et al., "Improved Control Logic for Use with Computer Controlled Traffic," Interim Report, Stanford Research Institute, NCHRP 3-18(1), July 1972.

San Jose Traffic Control Project Final Report, IBM Document No. 320-0959-0.

Schlaefli, J. L., "Computerized Traffic Signal Systems--A Future," Traffic Engineering, Vol. 42, No. 9, June 1972.

"SIGOP/TRANSYT Evaluation--San Jose, California," AMV, July 1972.

Siskind, J. S., "The Los Angeles County Computerized Traffic Control System," ITE Compendium, 43rd Annual Meeting, August 1973.

Smith, Wilbur S., "New York City Pioneers a Unique Traffic Signal System," Traffic Engineering and Control, pp. 213-218, July 1965.

Stockfisch, C. R., "A Decision Process for Selecting Digital Computer Signal Systems for Urban Areas," Federal Highway Administration Report No. FHWA-RD-72-20, Washington, D.C., 1972.

"Traffic Control in Oversaturated Street Networks," Final Report, Phase I, PIB, January 1973 (NCHRP 3-18(2)).

"Urban Traffic Control Using a Digital Computer," Sperry Rand Corporation, Great Neck, New York, May 1970.

"UTCS/BPS Design and Installation," Final Report, SSMD, November 1972.

"UTCS/BPS Maintenance Manual," Final Report, SSMD, November 1972.

"UTCS/BPS Operator's Manual," Final Report, SSMD, September 1972.

"UTCS/BPS Software Manual--Volumes I and II," Final Report, SSMD, December 1972.

"UTCS Third Generation Control Policies," KLD Associates, Inc., 1973.

Whitehead, D. W., "The Toronto System: Intersection Evaluation and Control," Traffic Engineering, September 1969.

Williams, D.A.B., "Area Traffic Control in West London," Traffic Engineering and Control, pp. 125-134, July 1969.

Wilshire, Roy L., "The Benefits of Computer Traffic Control," Traffic Engineering, pp. 16-20, April 1969.

ASUNTO

CONTROL DE TRANSITO

TITULO

CRITERIOS DE SELECCION DE SEÑALES

CRITERIOS DE SELECCION DE SEÑALES

A. Factores que Afectan el Tipo de Control

1. Ubicación de la Intersección Provista de Señal

a. Tipo de Area

- (1) Urbana
- (2) Suburbana
- (3) Rural

b. Ubicación dentro del sistema.

Ubicación Aislada.

- (1) A más de 2.500 pies de la intersección provista de señal más cercana.
- (2) Potencial para señales futuras a menos de 2.500 pies negligible.
- (3) Llegada fortuita.

Red Abierta - Operación Interrelacionada.

- (1) Intersección adyacente provista de señal a menos de 2.500 pies.
- (2) Considerar ubicaciones potenciales para señales en el futuro.
- (3) El tránsito tiene tendencia a llegar a la intersección en agrupaciones de autos.
- (4) Se necesita establecer relación de tiempo o coordinación entre señales.

Red Cerrada - Operación Interrelacionada.

- (1) Necesidad de establecer programa o programas para la red.

2. Patrones de Tránsito

- a. Variaciones Menores en el Flujo del Tránsito.
- b. Variaciones Predecibles en el Flujo del Tránsito.
  - (1) Magnitud
  - (2) Dirección
- c. Variaciones Impredecibles en el Flujo del Tránsito.
  - (1) Magnitud
  - (2) Dirección
  - (3) Tiempo
- d. Operación en Una o en Dos Direcciones.

3. Tipo de Intersección

- a. Simple de 4 vías.
- b. De Geometría Compleja
- c. Con Requisitos Especiales de Cruce.
- d. Con Requisitos Especiales para Peatones.

4. Requisitos Futuros

- a. Proyecciones de Tránsito
- b. Intersecciones Adicionales Adyacentes por ser provistas con señales.
- c. Indicaciones Adicionales para la Señal
- d. Fases de Tránsito Adicionales.
- e. Coordinación o Intersección Futura.

5. Costo

- a. Costo inicial vs. costo de operación y de mantenimiento.

- b. Costo inicial vs. expansibilidad y flexibilidad del equipo o sistema.
- c. Costo del sistema vs. ganancias en términos de reducción de accidentes, congestión y retraso.
- d. Capacidad y flexibilidad teórica de equipos vs. presiones prácticas del sistema del sitio o de la calle.

B. 1. Ventajas

- a. Puede fijarse los tiempos de modo a que se ajusten más estrechamente a las fluctuaciones de los volúmenes de tránsito que se van aproximando, reduciendo así los retrasos innecesarios.
- b. En las intersecciones con fases múltiples, puede obtenerse eficiencia máxima ya que el tiempo de luz verde es proporcional a la demanda del momento.
- c. Algunos equipos permiten que se salte las fases que no tienen demanda del tránsito.
- d. Permite control de señales cuando el volumen es bajo o variable (peatones - vehículos) en las calles secundarias donde el control a tiempo fijo crearía retrasos innecesarios para el tránsito de la calle principal en ciertas horas.
- e. Útil en una señal prefijada cuando se llega al punto de tiempo insuficiente en la banda de progresión (vease el diagrama de espacio de tiempo).
- f. Permite control continuo durante todas las horas, por lo cual puede intercambiarse las señales prefijadas y ponerse en operación de "flash" durante las horas con volúmenes bajos para evitar retrasos innecesarios.

2. Desventajas

- a. No puede ser coordinado facilmente para movimiento progresivo a lo largo de una calle o en una red.
  - (1) Util en areas rurales y suburbanas donde la relación (progresión) de tiempo entre intersecciones no constituye factor importante.
  - (2) Puede ser coordinado o interconectado, pero limita la flexibilidad de operación en intersecciones locales.
- b. Cuando las intersecciones con señales están distantes a lo largo de una ruta, de modo que las señales pueden ser ordenadas para dar un buen movimiento progresivo, las señales accionadas por el tránsito que no tienen coordinación, producen generalmente un retraso total mayor y paros más frecuentes que un sistema coordinado de señales con tiempos prefijados.
- c. Mas altos costos de instalación y de mantenimiento.
  - (1) No es de consideración primaria. si se utiliza toda la flexibilidad y posibilidades del equipo.
- d. Los requisitos de mantenimiento y operación son más complejos.
  - (1) El equipo no debe estar en exceso del adiestramiento y de la capacidad del personal de mantenimiento.
  - (2) Necesita equipo de prueba y taller más sofisticado.
  - (3) Si se quiere obtener el beneficio máximo -- necesita un más alto nivel de vigilancia y de evaluación de datos por personal de ingeniería altamente calificadõ.

C. Selección de Equipo de Control - Operacion Aislada

1. Control Semi Accionado

- a. Usado principalmente en intersecciones de ruta principal con via secundaria donde se necesita interrumpir el tránsito para permitir a los vehiculos que vienen por la via secundaria y a los peatones, pasar o cruzar.

- b. Util en calles principales de gran volumen donde el volumen de la calle secundaria es substancialmente menor, pero muy variable.
  - c. Ejemplos de uso
    - (1) Cruces de Escuelas
    - (2) Via de acceso a un area industrial o a un centro comercial.
    - (3) Via de acceso a un area recreacional o a un centro deportivo.
    - (4) Cruce que representa un punto de señal de ubicación desventajosa en una via principal.
2. Control Totalmente Accionado
- a. Usar principalmente en intersecciones aisladas (mayor-mayor) donde los volúmenes de los brazos de la intersección son mas o menos iguales.
  - b. El tiempo de luz verde se asigna aproximadamente en proporción a los volúmenes entrantes.
  - c. La fase verde en un acceso determinado por el volumen en ese acceso -- desconociendo presiones fuertes o retraso en la fase en rojo.
  - d. Durante los periodos de flujo saturado (capacidad en todos los accesos) todas las fases correrán en verde hasta el máximo, del mismo modo que si fuera operación con tiempo fijo.
3. Control Volumen-Densidad (Accionado por Módulos)
- a. Usar primordialmente en intersecciones aisladas (principal-principal) que tienen volúmenes extremadamente pesados en todos los accesos.
  - b. Puede teóricamente llevar la eficiencia a un máximo del flujo de tránsito por esa intersección debido a varios factores.
    - (1) Volumen y rata de llegada durante la fase en verde.
    - (2) Número de vehículos esperando y retraso en las fases en rojo.
  - c. Puede saltar fases o alterar la secuencia de las fases dependiendo de la demanda del tránsito.

- d. Dificil de evaluar cual combinación del control produce eficiencia óptima y retraso mínimo.
- e. En ciertas situaciones un espacio entre las intersecciones con señal es ideal - el control puede ajustarse para anticipar la llegada de grupos de autos y simular el efecto de coordinación entre intersecciones.

4. Control con Tiempo Pre-fijado

- a. Puede ser usado en intersecciones aisladas en areas urbanas.
- b. Satisfactorio si las variaciones de volumen son predecibles y los tiempos en el control pueden ser pre-fijados para dar cabida a variaciones durante el día.
- c. Relativamente facil de mantener, para evaluar la eficiencia del plan de tiempos y para ajustar las fases y los tiempos del control.

D. Selección de Equipo de Control - Operación Interrelacionada

Un sistema para coordinar las señales de tránsito puede ser establecido a lo largo de una calle principal o por un area entera. El propósito de este sistema sería permitir el movimiento continuo a lo largo de la calle o de las calles, preferiblemente en ambas direcciones, para reducir el retraso en las intersecciones individuales, para aumentar la capacidad reduciendo los retrasos de arranque, y para controlar las velocidades. (en tipos de sistemas).

1. Los Sistemas que utilizan Controles con Tiempo pre-fijado son comunes y generalmente son los mas baratos de los sistemas coordinados.

- a. No son interconectados. Los controles sincrónicos pueden ser coordinados fijando cada control individualmente. Este tipo de sistema debería verificarse frecuentemente porque la coordinación puede sufrir disturbio sin que esto se vuelva aparente. Esta técnica no es muy efectiva pero puede ser usada como medida interim hasta que se pueda proveer interconexion. Los sistemas no interconectados pueden ser programados, pero no muy eficientemente. Hay que colocar relojes de tiempo en cada control y todos los discos tendrán que estar en operación continua.
- b. Interconectado - Master Local. Los controles sincronicos

pueden ser coordinados estableciendo uno de ellos como master. Este control a través de circuitos interconectados, supervisa los controles secundarios del sistema. Generalmente, todos los controles están sincronizados una vez para cada ciclo para asegurar la coordinación. Puede obtenerse la interconexión por cable conductor múltiple, por cables telefónicos y con equipo codificado, o por radio comunicaciones.

Para satisfacer los requisitos de las horas de afluencia máxima, puede cambiarse fácilmente los programas por medio del sistema interconectado usando relojes de tiempo o dispositivos de programación en el control master.

- c. Master Interconectado - Remoto. Se usan circuitos interconectados de la misma manera ya descrita pero el control master no es uno de los controles locales y puede estar ubicado lejos del sistema. El control master puede ser desde un simple mecanismo de tiempo hasta varios tipos de computadoras. La función del control master es seleccionar e implementar uno de los programas de fijación de tiempo disponible en los controles locales.

2. Sistemas que Utilizan Controles Accionados - Comprenden:

- a. Coordinación mutua de dos controles semi-accionados que pueden ser usados cuando dos intersecciones razonablemente cercanas la una de la otra no son parte de un sistema mayor. Una simple interconexión asegura que el tránsito de las arterias no tendrá que pararse nunca más que una sola vez. Las actuaciones desde las calles secundarias podrán recibir la señal verde sólo cuando haya expirado el intervalo mínimo de luz verde en la arteria en ambas intersecciones.
- b. Los sincronizadores que utilizan un control master que suministra un ciclo de respaldo para controles semi-accionados. El control master se fija en un ciclo básico y cada control tiene su salida apropiada. Las actuaciones de las calles secundarias sólo reciben la señal verde

cuando les toca en el ciclo.

- c. Las unidades de coordinación tambien utilizan un ciclo de respaldo y de control de operación de fases individuales por interrupción y entregan los circuitos que devuelven la luz verde a la calle principal.

### 3. Selección de Sistemas Computarizados

Los sistemas de control de tránsito computarizados representan un foco importante de desarrollo en materia de control de tránsito actualmente en los Estados Unidos. El control operativo está cambiando rápidamente. La selección de un sistema computarizado depende de la cabal comprensión del control operativo y de los criterios para seleccionar el sistema.

- a. El Enfoque de Analisis de Sistema.
  - . Defina las metas y Necesidades
  - . Identifique los Problemas para Alcanzar la Meta con el Sistema Existente.
  - . Haga Resaltar las Alternativas del Nuevo Sistema
  - . Compare y Seleccione la "Mejor" Alternativa.
  - . Compare los Resultados de la Selección con la Experiencia del Mundo-Real.
- b. Se ha utilizado un metodo subjetivo de comparar alternativas en sistemas de control de tránsito. Este método extensamente usado se llama de utilidad/costo e incluye:
  - . Definición de Sistemas Candidatos.
  - . Definición de Medidas de Utilidad.
  - . Estimación de la Utilidad del Sistema.
  - . Estimación de los Costos del Sistema
  - . Calculo de las Relaciones Utilidad/Costo del Sistema.
  - . Selección del Mejor Sistema.

- c. Otros métodos más objetivos de comparación de alternativas generalmente incluyen simulaciones de los sistemas de control de tránsito. En este caso, muchos de los mismos pasos que se van ejecutando de acuerdo con el método subjetivo (utilidad/costo) se usan excepto que los efectos de los sistemas alternativos se estiman usando un modelo de simulación. Este enfoque generalmente es mucho más realista ya que el rendimiento del tránsito se puede entender mejor. TRANSYT, UTCS-1 o el Modelo Dinámico de Transporte por Carretera (DHTM) son modelos que han sido usados para estimar la efectividad de un sistema de control de tránsito.
- d. Independientemente del método usado para evaluar el sistema, los costos del sistema tienen que ser considerados cuidadosamente. Los elementos de costo comprenden generalmente:
- . Operación de Señales.
  - . Mantenimiento del Master
  - . Mantenimiento Electrónico
  - . Mantenimiento del Interconnect.
  - . Suministro de Detectores
  - . Computadora
  - . Software (papelería)
  - . Controles.
  - . Costos de Alquiler de Telefonos
  - . Etc.
- e. Las ganancias del nuevo sistema de control generalmente incluyen costos reducidos para los conductores de reducciones en paradas por retraso. Estimaciones conservativas del valor del tiempo indican que es apropiado calcular \$2.00 por hora/vehículo. Las paradas son un factor importante en la instalación accionada así como el equipo correspondiente a este tipo de sistema. El costo de una parada depende de la velocidad con que el vehículo viene antes de detenerse.

Para una velocidad típica de aproximación de 30 mph, suponiendo que no hay retraso por cola, una parada costará aproximadamente 1.5 ¢. Los costos de accidentes también pueden ser incluidos en el análisis de ganancias. Los costos típicos de un accidente promedio en una área urbana son de aproximadamente \$2.800. Desafortunadamente, resulta bastante difícil estimar el impacto de un nuevo sistema de control de tránsito sobre la reducción de accidentes de tránsito.

- f. Se utilizan generalmente los valores actuales de costos y de ganancias en las evaluaciones de sistemas de control de tránsito. Esta técnica surte el efecto de reducir todos los costos futuros (como mantenimiento del sistema) y ganancias (como las reducciones de retraso en las paradas) a una base común.

Asunto: CONTROL DE TRANSITO  
Título: PROGRAMAS DE OPTIMIZACION DE TIEMPOS  
PARA REDES VIALES

## PROGRAMAS DE OPTIMIZACION DE TIEMPOS PARA LAS REDES VIALES

### A. Tipos y Programas de Computadoras

El tipo de equipo de control de tránsito, la manera en que se instala y los tiempos correspondientes a las señales son factores importantes que afectan el grado hasta el cual se logra una mejora en el flujo del tránsito. Con la disponibilidad creciente de las computadoras, los métodos de establecimiento de tiempos para las señales con la ayuda de computadoras se están volviendo muy difundidos. Un número substancial de ingenieros de tránsito y de investigadores por todo el mundo vienen desarrollando técnicas matemáticas y modelos de simulación para la optimización de planes para señales a tiempo fijo. Con respecto al establecimiento de tiempos para las señales de redes viales, han aparecido dos categorías generales de programas: programas de diseño en progresión de señales en arterias y programas de diseño en progresión de señales en redes viales. El primer intento que se hizo de programas de diseños de arterias fue meramente para programar una computadora a fin de usar la diferencia convencional de métodos "offset". Casi inmediatamente, se reconoció que, con la potencia computacional brindada por la computadora, podría enfocarse desde puntos de vista más sofisticados. Algunos de los enfoques más importantes en cada una de las categorías son las que resumimos más abajo:

#### 1.- Progresión Arterial

##### a. Método de Ancho Máximo de Banda

Este método fue desarrollado por Morgan y Little de MIT y está diseñado para determinar las "offsets" (salidas) para una calle arteria principal que resulta en la maximización del ancho de la banda verde. El sistema puede ser diseñado de modo a llegar a ser de anchos iguales en ambas direcciones, o bien la sincronización puede ser

ajustada de modo a aumentar un ancho de banda hasta el mismo valor factible especificado y mantener los demás en un ancho tal como sea posible en ese momento. El método también permite al usuario especificar las velocidades por dirección entre dos señales cualesquiera que son adyacentes y el aporte de ancho de bandas entre las direcciones en base al tamaño del grupo. Mas tarde el método fue aumentado en una formulación de programación lineal "mixer-integer". La nueva formulación no ofrecía ventajas y ofrecía muchas desventajas con respecto a los objetivos ya mencionados. Sin embargo, el formato de programación lineal abre posibilidades para la solución de más problemas generales, introduciendo nuevas variables de decisión y puede extenderse hasta el problema de sincronización de señales sobre una base de red. El programa de computadora fue desarrollado en MIT para el método inicial de determinación de salidas ("offsets") de las señales para maximizar el ancho de la banda. El programa fue escrito en FORTRAN para una computadora IBM 1620 que requiere un almacenaje de sólo 20K. Un otro programa también fue desarrollado al mismo tiempo, ploteando el resultante diagrama de espacio-tiempo, usando un ploteador digital Cal-Comp. Más recientemente, el programa fue re-escrito en FORTRAN IV para ser usado en una computadora CDC 6400.

b. Método Bleyl (SIGPROG)

Bleyl desarrolló un método para diseñar planes de tiempo para sistemas de señales de tránsito y el principal objetivo es de determinar las salidas (offsets) y largos de ciclo que resultan en el mayor ancho de banda. El método difiere del enfoque convencional de diagrama tiempo-espacio en el sentido de que la escala de distancia se transforma en una escala de tiempo de viaje que resulta en un diagrama de tiempo de tiempo-de-viaje.

Las distancias y las velocidades deseadas pueden variar segun direcciones opuestas y entre cada par de señales. El usuario deberá especificar ciertas características por (1) cada señal, (2) cada relación direccional entre señales, y (3) el sistema entero. Para cada señal, la división de fase, el tiempo de cruce del peaton, y los tiempos para despejar la vía están especificados. Para cada relación direccional entre señales, se especifican la distancia de viaje y la velocidad progresiva deseada. Para el sistema entero, se especifican el número de señales, los largos máximos y mínimos aceptables de ciclo, la tolerancia sugerida para velocidad máxima, y la proporción del ancho de banda. Los resultados de este método comprenden las salidas de las señales para cada largo de tiempo de ciclo aceptable que resulta en el ancho de banda máxima que es consistente con las presiones pre--seleccionadas. Un programa de computadora, SIGPROG, fue preparado y escrito en FORTRAN IV y operado en una IBM 7040/7094. El tiempo de ejecución para un sistema típico de 10 señales y un alcance de 20 segundos de largo de ciclo, fue de 3 segundos.

c. Diferencia en Retraso del Método Offset

El Retraso/diferencia del Metodo Offset fue propuesto por primera vez por Whiting y reportado por Hillier (Transport and Road Research Lab, Inglaterra) como parte de las actividades de investigación del proyecto de Glasgow. La base del método es que el retraso del tránsito en una dirección a lo largo de cualquier sección de la red depende solamente de la diferencia entre la fijación de las señales en cada punta de la sección y no está afectado por ninguna otra señal adyacente de la red. .

El procedimiento básico es de determinar el retraso por cada relación direccional en varias salidas posibles, y luego seleccionar la salida entre pares de intersecciones que resulten en la suma mínima de los dos retrasos direccionales. Este procedimiento se continua hasta que se ha determinado las salidas para todos los pares de intersecciones. Este procedimiento supone que todas las fases verdes son conocidas así como un tiempo de ciclo comun. La clave de este método es la determinación de la relación entre el retraso y la diferencia de la salida. En un National Cooperative Highway Research Program (Programa de Investigación por la Cooperativa Nacional de Carretera) en los Estados Unidos, Wagner, et al., desarrollaron un programa de computadora para el Retraso-Diferencia del Método Offset para relaciones direccionales. El programa fue escrito en lengua FORTRAN IV para operación en la IBM 7094.

d. Modelo de Diseño de Tiempo-Espacio Yardeni

Yardeni de IBM desarrolló un procedimiento para determinar el tiempo de luz verde/relaciones de ciclos, la duración del ciclo y las salidas para una calle principal arterial. El primer paso en el procedimiento es de determinar el tiempo de luz verde /relaciones de ciclo con los volúmenes y los tiempos mínimos de cruce de peatones que se necesitan como "input". Luego un juego de constantes del sistema alternativo se desarrolla minimizando desviaciones de las condiciones ideales considerando la distancia entre señales, las velocidades en las direcciones, la duración de los ciclos y las relaciones de tiempo de luz verde/ciclo. Después, se computa un par tiempo mínimo de ciclo - velocidad máxima, dentro de las restric-

ciones impuestas por el hecho de dar la demanda de volúmenes y la relación velocidad-volumen. Finalmente, se computan los offsets para todas las intersecciones, de modo que los anchos de banda verde que brindan los volúmenes máximos posibles son obtenidos. El programa de computadora fue escrito en FORTRAN para la IBM 1620, la IBM 7040, e IBM 7090. El "output" está suministrado en términos de tiempo de ciclo de sistema seleccionado, velocidades promedio en ambas direcciones arteriales, volúmenes factibles de sistema, y divisiones de luz verde así como offsets en las intersecciones. Los diagramas de espacio de tiempo pueden plotearse por máquina si hay disponible un plotter IBM 1627 x - y. La solución completa de un sistema de calles arteriales con 15 a 20 intersecciones hecho en una computadora IBM 1620 necesitó de 20 a 30 minutos.

e. El método Brooks

Con respecto al Proyecto de Control de Señales de Tránsito de San José, Brooks de IBM desarrolló un método para computar los offsets que maximizan el ancho de la banda que atraviesa para una combinación dada de ciclo, divisiones y velocidad. El método fue desarrollado a fin de reducir el número de combinaciones que hay que tomar en consideración, de modo que, con la ayuda de una computadora digital, pueda determinarse la solución óptima sobre una gran escala de largos de ciclos y velocidades. Para utilizar el método, el usuario deberá especificar: (1) distancias entre intersecciones provistas de señales; (2) porcentaje de ciclo que está en verde en cada intersección, (3) escala de velocidades, y (4) escala de duración de ciclos. Los offsets son computados entonces para obtener el ancho máximo de la banda que atraviesa con las limitaciones pre seleccionadas de distancia, escala de velocidades y escalas de duración de ciclos.

El programa de la computadora fue preparado para ser usado en una IBM 1620. El programa puede manejar hasta 24 intersecciones. El tiempo de proceso para un problema de 10 intersecciones es de aproximadamente 25 a 30 segundos.

f. Otros Metodos

La Vallee propuso un medio de establecer tiempos para las señales de tránsito con programación lineal. En esta formulación, se supone que la duración del ciclo, el establecimiento de las fases en cada señal, y la capacidad de cada acceso son conocidos. El criterio para obtener una medida de tiempo de las fases de manera optima para las señales es que se minimice el número de retrasos. Se concluye que la programación lineal es un instrumento potente pero esta aplicación resulta en un problema de muy gran tamaño, y se necesitará un esfuerzo considerable para simplificar la matemática y el procedimiento de computación. Los programas de programación lineal de computadoras están disponibles pero solamente problemas muy pequeños son los que pueden solucionarse en un periodo razonable de tiempo. Newell de ITTE tambien condujo estudios teoricos de establecimiento de tiempos en calles de doble via. Un programa de computadora inédito, "Coptraflo", se informa habia sido desarrollado por una firma consultora en Atlanta. Otro programa de computadora fue descrito en un trabajo presentado en la Reunion de la Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras) en Mayo de 1972.

La FHWA también patrocinó un esfuerzo de investigación de control de señales en distribuidores en diamante. Este esfuerzo resultó en el desarrollo de un modelo de simulación y su aplicación a las estrategias de control de señales ya evaluadas. Finalmente, el Instituto de Transporte de Texas desarrolló un programa de computadora para determinar las divisiones y "offsets" para señales ubicadas a lo largo de una arteria principal. Se pone el énfase en multi-fases y en fases sobrepuestas.

## 2. Progresion de Redes

La manera más convencional de considerar el establecimiento de tiempos de señales para una red es de proveer un tratamiento preferencial para una o mas arterias en la red. Después que offsets favorables han sido asignados a señales en las arterias preferidas, las demás señales se ajustan para conformarlas con la red. En efecto, este modo de considerarlo comprende la reducción del problema de la red a una serie de progresiones arteriales. El trabajo manual que esto comporta para diseñar los tiempos para una red es bastante molesto y en muchas jurisdicciones, no se hace muy bien. Asimismo, con el advenimiento de la computadora, un número de modelos de optimización basados en computadoras han sido desarrollados para diseños de tiempos de señales en redes. Estos programas tienen el potencial de liberar al ingeniero de tránsito de la tarea manual difícil y lenta de establecer sus tiempos óptimos para señales dentro de la red.

Además, han demostrado tener gran potencial para incrementar la eficiencia de la red de señales de tránsito.

Abajo se da una descripción de cada uno de los principales enfoques.

### a.- TRANSYT

TRANSYT es un método de modelación de comportamiento del tránsito dentro de una red de carreteras urbanas y de

optimizar las fijaciones de tiempos para señales de tránsito como fueron desarrollados en Inglaterra. TRANSYT tiene dos elementos principales: (1) modelo de simulación, que se usa para calcular el índice de rendimiento de la red para un juego específico de duraciones de señales, y (2) un proceso gradual de optimización que lleva a la determinación óptima de fases de señales y offsets. El tiempo de ciclo del sistema no cambia automáticamente; sin embargo, el efecto de las duraciones diferentes de los ciclos puede considerarse fácilmente. TRANSYT ha sido probado extensamente, tanto en Europa y en los Estados Unidos, y ha mostrado resultados significativamente efectivos.

b. SIGRID

El programa SIGRID fue desarrollado para ser usado en el sistema de control de tránsito de Toronto. Habiéndose dado la duración del ciclo, las divisiones de las señales, los datos de relaciones y el juego de diferencias ideales o deseables para la red de señales, el programa calcula un juego de diferencias de offset óptimas, minimizando la discrepancia entre los dos juegos de valores. Se hizo un enfoque Monte Carlo o de juego en la optimización. El programa generalmente no está disponible y la experiencia ha indicado que el programa minimiza solamente las diferencias entre el offset ideal y el real y no minimiza necesariamente el retraso del sistema. En su aplicación, SIGRID solamente soluciona parte del problema comprendido en la optimización de las redes de señales ya que no optimiza las divisiones de señales individuales y relaciones de offsets. SIGRID tiene una serie de otras debilidades pero aun representa un paso importante en el desarrollo de programas de optimización de redes en Norteamérica. El programa no está disponible generalmente y sus aplicaciones han sido supeditadas por SIGOP.

c. SIGOP

SIGOP es quizás el mejor conocido de los programas norteamericanos para la optimización de los tiempos de señales en una red vial. Fue desarrollado por la Federal Highway Administration bajo una serie de programas de investigación. En esencia, SIGOP fue una rama de SIGRID y se dirigió a muchos de los problemas que fueron encontrados con los programas anteriores. Fuera de las optimizaciones de offsets, también puede calcular las divisiones de señales según los datos de tránsito que se le dan. Los datos de input necesarios para SIGOP son como sigue:

- . Datos de intersección, tales como tiempo de luz amarilla, tiempos mínimos de paso para peatones, dirección mínima de la descarga promedio y factores de camiones.
- . Datos de relaciones, tales como velocidad de adelanto, número de vías de descarga, distancias de señales, volúmenes de tránsito, relaciones de cruces, factores de importancia de relación y factores de coherencia agrupada.

El programa SIGOP es definitivamente un programa más comprensivo que SIGRID. Si bien se hicieron algunas mejoras al desarrollar SIGOP, estas eran de naturaleza menor y son fácilmente compensadas por la cantidad extra de recolección de datos que comprende el esfuerzo de usar SIGOP. En efecto, la recolección de datos para SIGOP es un esfuerzo que constituye una de las mayores desventajas del programa. Otro problema de SIGOP es que algunas de las suposiciones hechas para simplificar

los cálculos del programa pueden no ser realistas. Por ejemplo, las divisiones de señales se computan de flujos críticos o totales sin concesiones para la capacidad o flujo de saturación que son característicos de las vías o accesos considerados. Varias falacias han sido indicadas en el tipo de enfoque de optimización Monte Carlo que usa SIGOP. Aun con estos problemas, los estudios hechos en Los Angeles y en San Jose han sido exitosos. Sin embargo, los resultados de estos estudios también indicaron que las mejoras de operación producidas por métodos relativamente simples, tales como el método de ancho de banda máxima utilizado con el tratamiento de calles preferenciales, son casi iguales a los resultados producidos por el más complicado SIGOP.

d. Otros Métodos

El Método COMBINACION fue desarrollado en Inglaterra como parte del trabajo que se hizo sobre el proyecto Glasgow. La suposición clave es que el retraso del tránsito en una dirección a lo largo de cualquier sección de la red depende solamente de la diferencia entre el establecimiento de las señales en cada extremo de la sección; no está afectado por ninguna otra señal adyacente de la red. Así, el Método COMBINACION puede ser considerado como una extensión del Método de Retraso-Diferencia de Offset que discutimos brevemente más arriba. Durante la Primavera de 1968, se hizo una comparación entre los Métodos COMBINACION y TRANSYT para la red de señales en el centro de la ciudad de Glasgow durante la afluencia máxima de la mañana, fuera de afluencia y en horas de afluencia máxima de la tarde. En la totalidad, se concluyó que STRANSYT producía una mejora de más de cuatro por ciento en promedio de tiempos de viaje, por encima del Método COMBINACION. Una experiencia anterior, reportó que el Método COMBINACION ya había mejorado los tiempos de viaje promedio en 12 por ciento cuando se

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11

10/23/11



combinaba con las condiciones existentes. Durante los siete años siguientes, varios investigadores propusieron métodos para mejorar el Método COMBINACION. En 1968, el West London Area Traffic Control System (Sistema de Control de Transito para el Area Oeste de Londres) entró en operación y el Método COMBINACION se evaluó continuamente y se fue mejorando. En 1971, el Greater London Council (GLC) se encargó del manejo del Sistema del Oeste de Londres y sus extensiones. El Método COMBINACION se tornó GLC COMBINACION y su uso, así como refinamiento, siguió.

El Método de Programación Linear Mixed-Integer fue desarrollado por etapas por Gartner y Little, primero trabajando por separado, y más recientemente juntos. Tal como lo implica el nombre del método, comprende una formulación de programación linear mixed-integer con el objetivo de minimizar los retrasos del tránsito en una red de carretera controlada por señales con tiempo fijo. Las variables de decisión son divisiones del tiempo de luz verde, de tiempo comun de ciclo y de offsets. El patron de flujo del tránsito se modela como un grupo rectangular periódico con una rata de llegada uniforme. Una relación de función de rendimiento se deriva en forma de una superficie convexa linear de pieza que representa el retraso que sufren estos grupos. Los efectos Stochásticos son representados en términos de una función obstaculizadora midiendo la cola de exceso esperada en cada relación e incluido como componente aditivo en la función objetiva.

Dos otros métodos serán mencionados brevemente. El Modelo UTCS-1 fue desarrollado como un modelo microscópico de simulación que puede ser usado para evaluar las interacciones entre la red, la demanda vehicular, y las estrategias de control de señales de tránsito. Si bien no es un modelo de optimización para control de señales, ha sido usado para evaluar los cuadros de tránsito obteniendo de TRANSYT y SIGOP. Otro método, llamado FORCAST, ha sido desarrollado y probado en dos ciudades. Es referido como un método de fijación de tiempo para señales con ayuda de computadora porque algunos de los productos importantes son diagramas tiempo-espacio para cada arteria en la red. Estos diagramas tiempo-espacio pueden ser inspeccionados por el ingeniero para determinar la aceptabilidad de las fijaciones de señales propuestas. Los diferentes indicadores de rendimiento considerados incluyen el número de paradas para el grupo de vehículos, el número de paradas para los vehículos, el retraso asociado para los vehículos, las relaciones sobre las cuales el grupo se detiene y las intersecciones donde se encuentra saturación.

B. Requerimientos de Procesamiento de la Computadora

Los varios enfoques sobre como usar programas de computadoras para la fijación de tiempos para las señales han resultado en una gran variedad de requerimientos para las computadoras. Las aplicaciones en un principio se concentraban en desarrollar computadoras específicas que satisficieran el instituto que hacía el desarrollo. Por ejemplo, aquellos programas desarrollados en universidades muchas veces se asociaron con la primera generación de máquinas IBM como el IBM 1620. Los más importantes desarrollos del programa TRANSYT se llevaron a cabo en una computadora Británica ICL System 4-70. Mas recientemente, las conversiones de estos programas se hicieron de modo que la mayoría de los programas más importantes son disponibles actualmente en lenguaje de programación FORTRAN. El problema aun sigue de implementar apropiadamente estos programas de computadoras en sistemas

4/13

de computación existentes. Hay también una gran variedad de tiempo de computación y de requerimientos de costo, para poder llevarse a cabo los programas de optimización. En general, encontramos los enfoques a la progresión arterial bastante simples y de costo bajo. Típicamente, el costo para tiempo de computadora para optimizar un sistema de señales arteriales de 10 a 15 señales es del orden de los \$100, mientras que si comprende una red la aplicación de los enfoques más comprensivos SIGOP o TRANSYT, no será raro recibir facturas de computación de varios miles de dólares. De todos modos, si se usan enfoques prudentes, el tiempo de la computadora puede tener un costo que estará más que justificado con el número de horas de ingenieros que se economizarán y con los resultados finales en la aplicación de estos nuevos instrumentos.

### C. Ejemplos Descriptivos

A fin de dar algunos lineamientos para la aplicación de estos programas, se han detallado dos enfoques a seguir. El actual control operativo indica que estos dos enfoques, si bien aun tienen unos cuantos defectos, son los mejores que son disponibles actualmente para la optimización de fijación de tiempos de señales para arterias y redes.

#### 1. Metodo de Mayor Ancho de Banda

Tal como se discutió brevemente más arriba, Little, et al., desarrollaron un algoritmo computacional para optimizar los offsets de señales para obtener el máximo de ancho de banda junto a una arteria, dándose la duración del ciclo, las divisiones, los espacios entre las señales y las velocidades de adelanto. Para una ejecución eficiente de este algoritmo, un programa de computadora fue desarrollado tratando de arreglar los anchos de banda de modo que los grupos de vehículos que van viajando en ambas direcciones a lo largo de una arteria se ajusten a sus bandas de progreso en luz verde. El programa maximiza los anchos de banda de progresión por medio de un sistema arterial, sujeto a las condiciones siguientes:

- a. Si los grupos que van en ambas direcciones son iguales, se proveerán anchos de bandas máximas iguales para cada dirección de viaje.
- b. Si la suma de dos anchos de banda es mayor que la suma de dos largos de grupo (en unidades de tiempo), los anchos de banda individuales se hacen proporcionales a los largos de los grupos en la medida de lo posible.
- c. Si la suma de dos anchos de banda es menos que la suma de dos largos de grupo de autos, el grupo mas grande recibe la primera atención, si posible, y luego se le dá tanto ancho de banda como puede hacerse a la dirección donde está el grupo menor.

Los datos de input para este programa son como sigue:

- a.- Número de señales.
- b. Duración de ciclos
- c. Promedio de volumen de tránsito en cada dirección.
- d. Distancias de señales medidas desde la primera ubicación de señal.
- e. Tiempo de luz roja para cada señal.
- f. Promedio de velocidad en cada dirección entre cada par de señales.

Los productos (outputs) de los programas traen la siguiente información:

- a. Ancho de bandas hacia dentro y hacia fuera.
- b. Identidad de la señal crítica.
- c. Offsets (salidas) de señales con respecto a la señal crítica.
- d. Offsets de señales con respecto al centro de la fase en rojo de la señal crítica, en segundos.
- e. Posición de las orillas de las bandas.

El Modelo de Ancho de Banda Máxima optimiza el ancho de banda de la progresión que es solamente una cantidad geométrica en el diagrama de tiempo-espacio y no tiene necesariamente ninguna relación con las características reales del tránsito. En otras palabras el modelo no minimiza necesariamente el tiempo de viaje, el retraso o las paradas. La efectividad del modelo es, por lo tanto, dependiente del tipo de condiciones de tránsito que existe en el sistema y de cuan bien se usa el ancho de banda. Donde las señales están cerca las unas de las otras y los grupos de vehiculos quedan intactos a lo largo del sistema, el modelo proveerá una operación de señales eficiente. Lo mismo ocurre si el tránsito es liviano y el ancho de banda es lo suficiente ancho para permitir la dispersión del grupo. En casos en que el ancho de banda es justo lo adecuado para el grupo y que al principio de la progresión, la dispersión del grupo y la interrupción a lo largo de la vía causará los vehiculos que se encuentran al final del grupo detenerse en las intersecciones críticas.

No obstante sus debilidades, este modelo provee una operación de señales arteriales razonablemente eficiente, siempre que se cuide, al aplicarlo, y al utilizar datos realistas para el input. Esto ha sido demostrado por una investigación reciente por el NCHTP la cual encontró que el Método de Ancho de Banda Máxima se colocaba de primero entre un número de alternativas para mejorar la operación existente de sistema de señales arteriales.

## 2. El Método TRANSYT

El Instrumento de Estudio de Redes de Transito (TRANSYT) fue desarrollado por Robertson y es una técnica de optimización para computar los offsets de señales y divisiones para obtener un retraso mínimo y un mínimo de paradas dentro de una red. El programa fue escrito al principio en lenguaje de máquina para ser usado en una computadora Marconi Myriad, pero mas tarde fue re-escrita en Fortran IV para poder tener un uso más universal.

Hablando generalmente, TRANSYT está basado en las suposiciones siguientes:

- a. Todas las principales intersecciones de la red tienen señales.
- b. Todas las señales tienen un ciclo con largo comun o un ciclo con la mitad de largo del valor comun
- c. El transito entra la señal del límite a una rata constante y especificada.
- d. Las relaciones de cruce a la derecha y cruce a la izquierda son constante a lo largo del ciclo.

El Programa TRANSYT consiste de la computación de los patrones de flujo de tránsito en todas las relaciones de la red y un proceso progresivo para optimizar los offsets y las divisiones. Para encontrar los mejores tiempos para las señales, se usa un indice de rendimiento de sistema (P) como medio de evaluación. Este se expresa de la siguiente forma:

$$P = \sum_{i=1}^n (d_i + d'_i + KS_i)$$

donde

- $i$  = número de relación
- $N$  = número de relaciones en la red
- $d_i$  = promedio de retraso uniforme a lo largo de la relación  $i$
- $d'_i$  = promedio de retraso fortuito a lo largo de la relación  $i$
- $S_i$  = número promedio de paradas a lo largo de la relación  $i$
- $K$  = Un factor de penalidad por parada para convertir un número de paradas en segundos equivalentes a retraso.

Para calcular el índice de rendimiento, la información sobre flujo de tránsito se necesita para cada relación. En la rutina de computación, el ciclo se divide en un número de unidades iguales de tiempo. La rata de flujo entrando en una relación durante cada intervalo se supone ser alguna fracción de flujo que deja las relaciones que van a contra corriente. Para obtener las ratas de llegada a la señal del final de la corriente, el flujo que entra la relación se suaviza exponencialmente con el uso del modelo de dispersión de grupo de Robertson. La rata de salida del link se supone ser igual a la corriente de saturación cuando existe una cola al acceso de la señal, o igual a la rata de llegada si no hay cola. Entonces el retraso promedio uniforme de los vehículos a lo largo de la relación  $i$  para un ciclo promedio se da con:

$$d_i = \frac{\Delta t}{A} \frac{1}{c} \left[ \sum_{t=1}^n (A-D) \right]$$

Donde

- t = número de intervalos
- n = número de pasos computacionales
- A = llegadas cumulativas
- D = salidas cumulativas
- $A_c$  = total de llegadas para el ciclo entero
- $\Delta t$  = tamaño del paso computacional (1/n)

La ecuación anterior es válida solamente si la cola en el acceso está completamente disipada en algún momento de la luz verde.

Para dar cabida a las fluctuaciones fortuitas del flujo del tránsito entre ciclo y ciclo, se computa un retraso fortuito promedio para componente como sigue:

$$d'_i = \frac{x^2}{4(1-x)}$$

donde x = grado de saturación o flujo flujo/saturación.

Esta expresión es similar al componente fortuito en el retraso de Webster excepto que tiende a exagerar el retraso fortuito a niveles de saturación alta. Este aspecto se considera una ventaja ya que tiende a prevenir que la optimización del proceso TRANSYT seleccione duraciones de fases que llevarian a la saturación o sobresaturación.

El número promedio de paradas ( $S_i$ ) en la relación i se da con la siguiente expresión general:

$$S_i = \frac{1}{C} \sum_{t=t_r}^{t_0} A$$

donde  $A$ = llegadas cumulativas  
 $C$ = duración de ciclo  
 $t$ = número de intervalos  
 $t_r$ = intervalo al principio de luz roja  
 $t_o$ = intervalo durante luz verde cuando la  
cola se vuelve cero

En la optimización lógica de TRANSYT, una iteración progresiva hacia arriba se usa como proceso para obtener un juego de fijaciones de señales optimo que minimizará el índice de rendimiento. El primer paso del método es calcular el índice de rendimiento para un juego inicial de tiempos de señales. La etapa siguiente es para alterar el offset en una de las señales por un incremento pre-determinado de intervalos de ciclos y para recalculer el índice de rendimiento de la red. Esto se repite hasta lograr un valor mínimo local del índice. El mismo procedimiento se aplica entonces a cada uno de las demás señales de la red. El procedimiento completo de optimización de offset para la red a su vez se repite para que una variedad de incrementos de intervalos del ciclo obtengan sus fijaciones optimas definitivas. TRANSYT tambien tiene capacidad de optimización de las divisiones en cada señal re asignando el tiempo de luz verde entre los varios accesos de intersecciones si es que la re asignación redujera el índice de rendimiento para la red.

Para obtenerse mejores resultados de optimización, tanto incrementos pequeños como grandes deberían ser usados en el proceso de progresión hacia arriba. Los incrementos a usarse deberian ser tales que un buen índice de rendimiento global mínimo pudiera obtenerse con un mínimo de tiempo de computación. Los valores recomendados por Robertson estan tabulados como sigue:

<u>Etapas</u>	<u>Incrementos en 1/50°de un ciclo</u>	<u>Tipo de Optimización</u>
1	7	Offset
2	20	Offset
3	-1	Tiempo verde
4	7	Offset
5	20	Offset
6	1	Offset
7	-1	Tiempo verde
8	1	Offset

Las características especiales están contenidas en la última versión (versión 5) de TRANSYT para tratar los casos siguientes

- a. señales de fases múltiples
- b. el uso de medios ciclos para intersecciones menores
- c. agrupación de señales para mantener diferencias de offset constantes entre ellas
- d. relaciones múltiples en una línea de parada común
- e. efectos de progresiones y paradas de buses

También existe una opción en el programa para obtener producción gráfica del patrón anticipado de flujo de tránsito en cualquier relación seleccionada.

TRANSYT ha sido demostrado confiable y efectivo tanto como diseño como instrumento de evaluación. Se ha encontrado durante un estudio hecho por el British Road Research Laboratory, que TRANSYT predijo exactamente el retraso de una red. En este respecto, TRANSYT rindió mejores resultados que el Método COMBINACION ya que este último se basó en suposiciones más restrictivas. En un estudio teórico, el proceso de optimización en progresión hacia arriba en TRANSYT resultó muy efectivo para obtener offsets óptimos. El proceso fue muy estable ya que sólo se encontró una desviación standard de aproximadamente 1 por ciento entre los

resultados de retrasos para fijaciones optimas de señales obtenidas de diferentes juegos de fijaciones iniciales.

En Glasgow un estudio durante el cual se probaron varios esquemas de control incluyendo metodos de control con tiempos reales, TRANSYT resultó el que produjo los mejores resultados "en calle". Otros resultados similares tambien fueron obtenidos de otros estudios. En particular, un experimento hecho en Glasgow probó que TRANSYT era más efectivo que SIGOP.

La principal desventaja de TRANSYT es que necesita una cantidad relativamente grande de tiempo de computación. Tambien, está limitado a un tamaño de red de 50 señales, si bien esto pudiera mejorarse con una modificación en el programa a cuesta de tiempo de proceso de computación y de almacenaje de núcleos. En todo caso, TRANSYT es un instrumento de diseño de red de señal comprensivo que es simple de usar y comprende solamente una cantidad razonable de esfuerzo de codificación. Está basado en suposiciones razonables y en un procedimiento confiable de optimización. De toda la evidencia disponible hasta la fecha, TRANSYT parece ser el mas prometedor como técnica de optimización de sistema de señales a tiempo fijo. Sin embargo, hará falta llevarse a cabo más pruebas y experimentos con el programa antes de que pueda ser adoptado como procedimiento standard de diseño en Norteamérica.

A P E N D I C E

CONTROL DE SEÑALES ACTIVADO POR EL TRAFICO

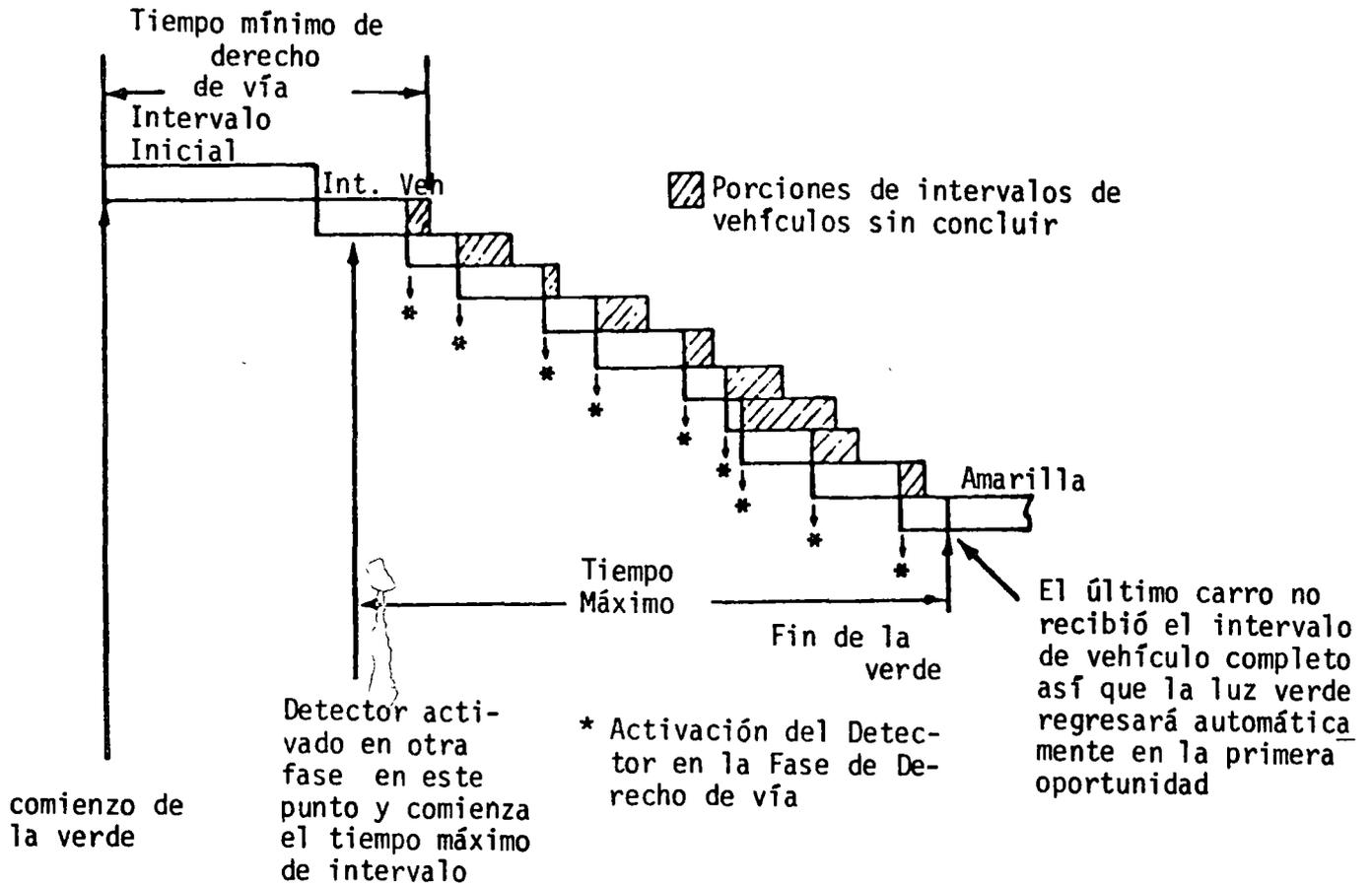
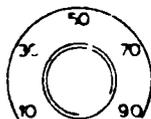


Figura 1 - Fase (luz verde) programación y operación de un control activado.

ARTERIA

MINIMA  
VERDE



DESPEJE



FUSIBLE



ACTIVACION  
DEL DETECTOR

CALLE ALTERNA

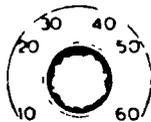
INTERVALO  
INICIAL



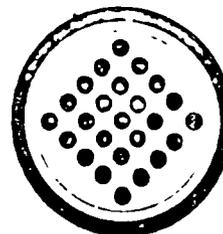
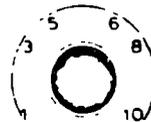
INTERVALO  
DE VEHICULO



EXTENSION  
MAXIMA



DESPEJE



(3)

Figura 2  
Control semi-activado

## DESCRIPCION DEL PANEL DE CONTROL FRONTAL - BOTONES E INDICACIONES

TITULO	COLOR DEL BOTON DE CONTROL	ESCALA	FUNCION
MINIMA VERDE	Verde claro	10-90 segs.	Establece el tiempo mínimo de la arteria con derecho de vía. La transferencia a la calle alterna es inmediata si hay demanda en la calle alterna, y el mínimo de luz verde se ha acabado. Si el mínimo de luz verde no se ha acabado, la transferencia se demora hasta que se acabe el tiempo. Si no existe demanda en la calle alterna, se mantiene el derecho de vía en la arteria principal.
INTERVALO DE DESPEJE	Amarilla	1 - 10 segs.	Establece la duración de la luz amarilla (para despeje de vehículos) en la arteria al transferir el derecho de vía a la calle alterna
----- CALLE ALTERNA (FASE B) -----			
INTERVALO INICIAL	Verde Clara	2 - 12 segs.	Establece el tiempo en que los vehículos deben prepararse y pararse ante la señal roja anterior
INTERVALO DE VEHICULO	Verde Clara	2 - 12 segs.	Establece el tiempo asignado para un vehículo en movimiento avanzar desde el detector hasta la intersección. Este intervalo es extensible por la activación de vehículos hasta el límite establecido por la Extensión Máxima que se utilice. Cuando el intervalo finalice, el derecho de vía regresa a la arteria principal inmediatamente
EXTENSION MAXIMA	Verde Oscura	10-60 segs.	Establece el límite máximo hasta el cual el Intervalo de Vehículo puede extenderse (luz verde en la calle alterna) por medio de activación continua de vehículos. Cuando se llega al límite máximo, el derecho de vía es transferido inmediatamente a la arteria principal en este caso - el control se devuelve a la calle alterna después de que se presenta un período mínimo de luz verde sin necesidad de más activación

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
INTERVALO DE DESPEJE	Amarillo	1 - 10 segs.	Establece la duración del período de amarilla (para despeje de vehículos) en la calle alterna al transferir el derecho de vía a la arteria principal
REGRESO A LA CALLE ALTERNA	Negro	Apagado Encendido	<p>En la posición de OFF (Apagado) el control opera de modo semi-activado. El control descansa con el derecho de vía en la arteria si no hay demanda en la calle alterna.</p> <p>En la posición de ON (encendido) se le da derecho de vía a la calle alterna una vez dentro de cada ciclo de señales de tráfico después de que se acabe el período de mínima verde - sin necesidad de que haya demanda en la calle alterna</p>
INDICADOR DE ACTIVACION EN EL DETECTOR			Se ilumina para señalar la presencia de demanda del tráfico en la calle alterna. Se enciende con cada activación de detector y extiende el intervalo del vehículo



FASE A



FASE B

FIJACIONES DEL DIAL AUTORIZADAS

PO: \_\_\_\_\_ FECHA

FIGURA 3

CONTROL TOTALMENTE ACTIVADO

FIGURA 3A

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
AMARILLA	Amarillo	0 - 10 segs.	Establece la duración del primer periodo amarillo (despeje de vehículos) en una fase al ocasionarse la transferencia del derecho de vía a la fase opuesta.
TODA ROJA DESPEJE (se puede omitir)	Roja	0 - 10 segs.	Establece la duración del segundo periodo de despeje de vehículos (todas rojas) en una fase al ocasionarse la transferencia del derecho de vía a la fase opuesta. Este intervalo es omitido cuando el botón de control está en la posición "0".
RETORNO	Fase A Negro Fase B Rojo	Retorno de Vehículo /OFF	En la posición Retorno de Vehículo, el derecho de vía retorna a la fase seleccionada una vez dentro de cada ciclo de señales -- sin necesidad de que la exigencia del tráfico simule una operación Semi-Activada. En la posición OFF el control opera de forma totalmente automática. El control descansa sobre la última fase si no existe demanda por parte del tráfico contrario.
INDICADOR DE LLAMADAS		Fase A Vehículos Fase B Pasajeros	Se ilumina para señalar la demanda del tráfico en la fase. Se prende con cada activación que extiende el intervalo de vehículo en la fase.

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
INTERVALO INICIAL	Verde Claro	0 - 10 segs.	Establece el tiempo para que los vehiculos parados ante una señal roja arranquen.
INTERVALO DEL VEHICULO	Verde Claro	0 - 12 segs.	Establece el tiempo asignado para que un vehiculo en movimiento avance desde el detector hasta la intersección. Este intervalo es extensible por por medio de activación continua de los vehiculos hasta el límite establecido por el botón de control del VERDE MAXIMO para la fase con demanda en la fase contraria. El derecho de vía es transferido inmediatamente después de que un intervalo de vehículo ha sido completado. Cuando no existe demanda de la fase contraria, el control descansa con el derecho de vía sobre la fase original.
VERDE MAXIMO	Verde Oscuro	10 - 110 segs.	Establece el límite máximo hasta el cual se puede extender el derecho de vía por medio de activación continua de los vehículos en una fase. Cuando se alcanza el límite máximo el derecho de vía es transferido a la fase contraria inmediatamente. En este caso el control retorna automáticamente después de que el derecho de vía ha sido concedido a la fase contraria -- sin necesidad de activación. El tiempo máximo se presenta en una fase solo cuando el tráfico opuesto exige un cambio de fase.

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
INDICADOR DE TIEMPO		Intervalo MAXimo	Se ilumina para señalar el fin de cualquier Intervalo. Se ilumina para indicar de cualquier luz verde en el circuito de tiempo MAXimo.
INDICADOR DE SALTO		Salto	Se ilumina para señalar la presencia del control en la posición de salto que sigue a la fase A - intervalo de vehículo.

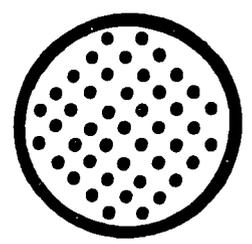
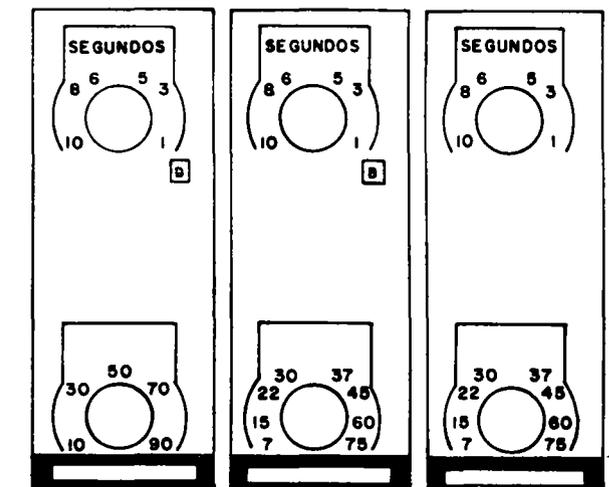
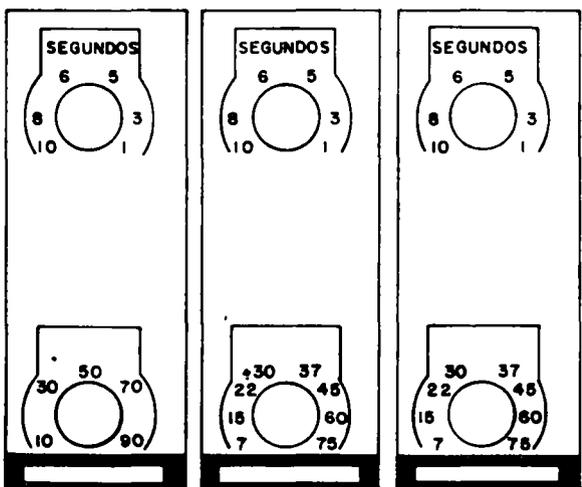
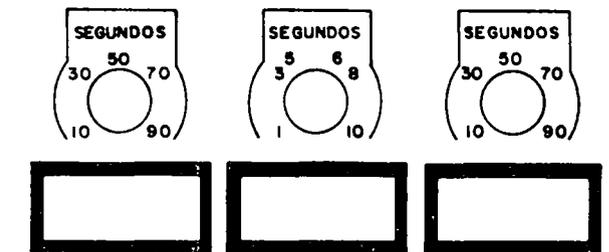
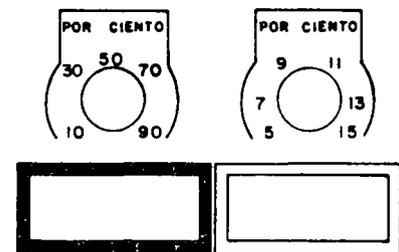
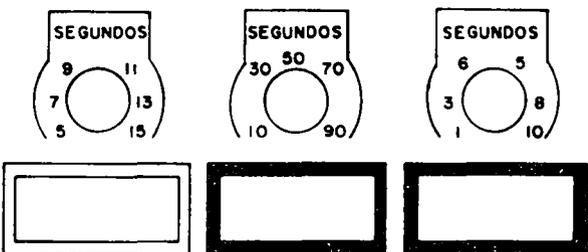
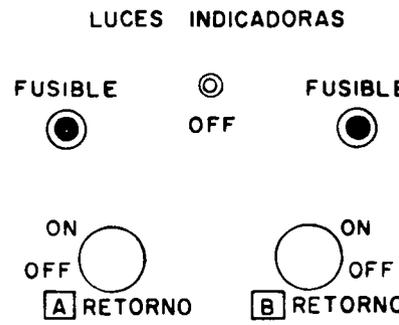
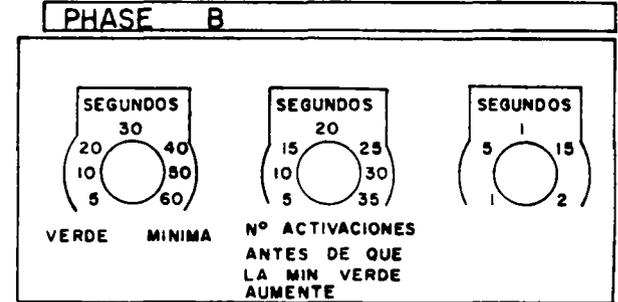
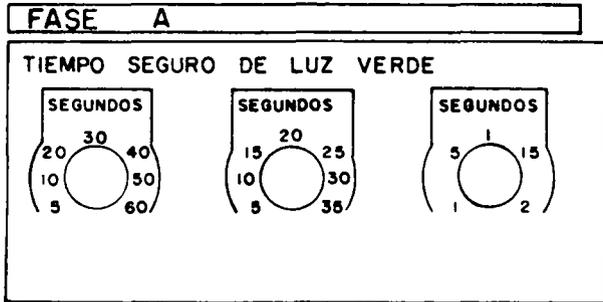


FIGURA 4A  
CONTROL DE VOLUMEN-DENSIDAD

DESCRIPCION DE LOS BOTONES E INDICADORES DE LA FASE MODULAR

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
Fase A/Fase B			
<p>El tiempo de luz verde seguro se determina al fijar el siguiente grupo de tres botones. Este es el tiempo asignado para que los vehículos que llegaron contra la señal roja anterior, arranquen. Permite la entrada de una acumulación de vehículos a la intersección de manera que los vehículos sucesivos puedan proceder y cruzar la intersección a una velocidad normal.</p>			
MINIMO INICIAL	Verde Claro	5 - 10 segs.	Establece el intervalo absoluto del Mínimo Inicial que está programado en una fase solamente cuando hay una demanda de vehículos. Con la demanda de vehículos y/o peatones, la suma de los intervalos de cruce y despeje de peatones es sustituida por el Máximo Inicial.
NUMERO DE ACTIVACIONES PARA DAR UN INICIAL VARIABLE	Verde Claro	50 - 90 activaciones	Establece el número de vehículos (activaciones) que se deben acumular durante la señal roja anterior para ampliar el tiempo variable inicial a su máximo límite.
VARIABLE INICIAL	Verde Claro	50 - 60 segs.	Establece el máximo límite al cual el variable inicial se puede ampliar cuando las activaciones registradas durante la señal roja anterior igualan o exceden EL NUMERO DE ACTIVACIONES PARA DAR UN INICIAL VARIABLE. La duración del intervalo inicial varía entre el mínimo inicial y el inicial variable en proporción al número de vehículos que se hayan acumulado.

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
CRUCE	Azul	5 - 30 segs.	Establece el intervalo del cruce. Solo opera cuando hay demanda de peatones. Cuando hay demanda de vehiculos y/o peatones, la suma de los intervalos de cruce y despeje de peatones substituye el intervalo inicial.
DESPEJE DE PEATONES	Naranja	5 - 40 segs.	Establece la duraci3n del intervalo de despeje de peatones. Solo opera cuando existe demanda de peatones en la fase. La suma de este intervalo y del de cruce que lo antecede, substituye el intervalo inicial cuando hay demanda de vehiculos y/o peatones.

FIGURA 4B

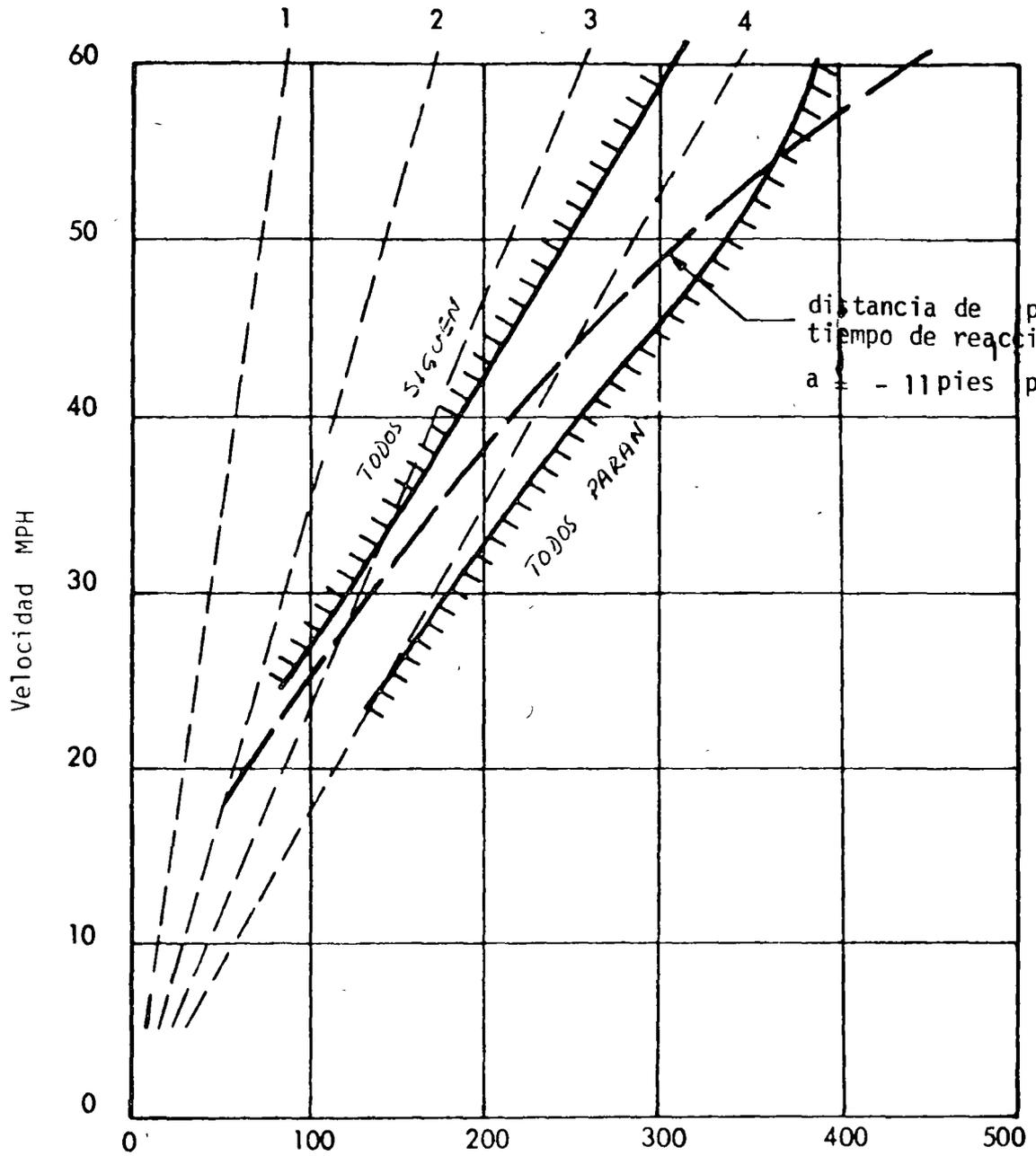
DESCRIPCION DE LOS BOTONES INDICADORES DE LA FASE MODULAR

TITULO	COLOR DEL BOTON	ESCALA	FUNCION
TIEMPO DE CRUCE	Verde Clara	2 - 20 segs	<p>Establece el tiempo asignado para un vehículo a una velocidad promedio para que se mueva desde el detector hasta la intersección. Este intervalo se puede ampliar por medio de una activación continua de vehículos hasta el límite establecido en la fijación del VERDE MAXIMO de esa fase. Cuando la demanda de tráfico en la fase contraria lo exige, el derecho de vía es transferido inmediatamente cuando el intervalo de tiempo de cruce finalice. De no existir una demanda en la fase contraria, el control descansa en el derecho de vía sobre la última fase en operación.</p> <p>Cuando existe una demanda en la fase contraria, la brecha permitida entre vehículos en la fase con derecho de vía se reduce en proporción al TIEMPO que el primer vehículo ha esperado ante la luz roja en la fase contraria; y la DENSIDAD del tráfico en esa fase con derecho de vía. Si el intervalo de tiempo de cruce no ha concluido pero el derecho de vía si lo ha hecho debido a la brecha permitida, ya concluída, el dispositivo de memoria automáticamente retorna el derecho de vía a esta fase en la primera oportunidad sin necesidad de que surja una demanda de tráfico. Si la brecha no se excede y el intervalo de cruce finaliza en su máximo, el dispositivo de memoria también retorna el derecho de vía a la fase.</p>

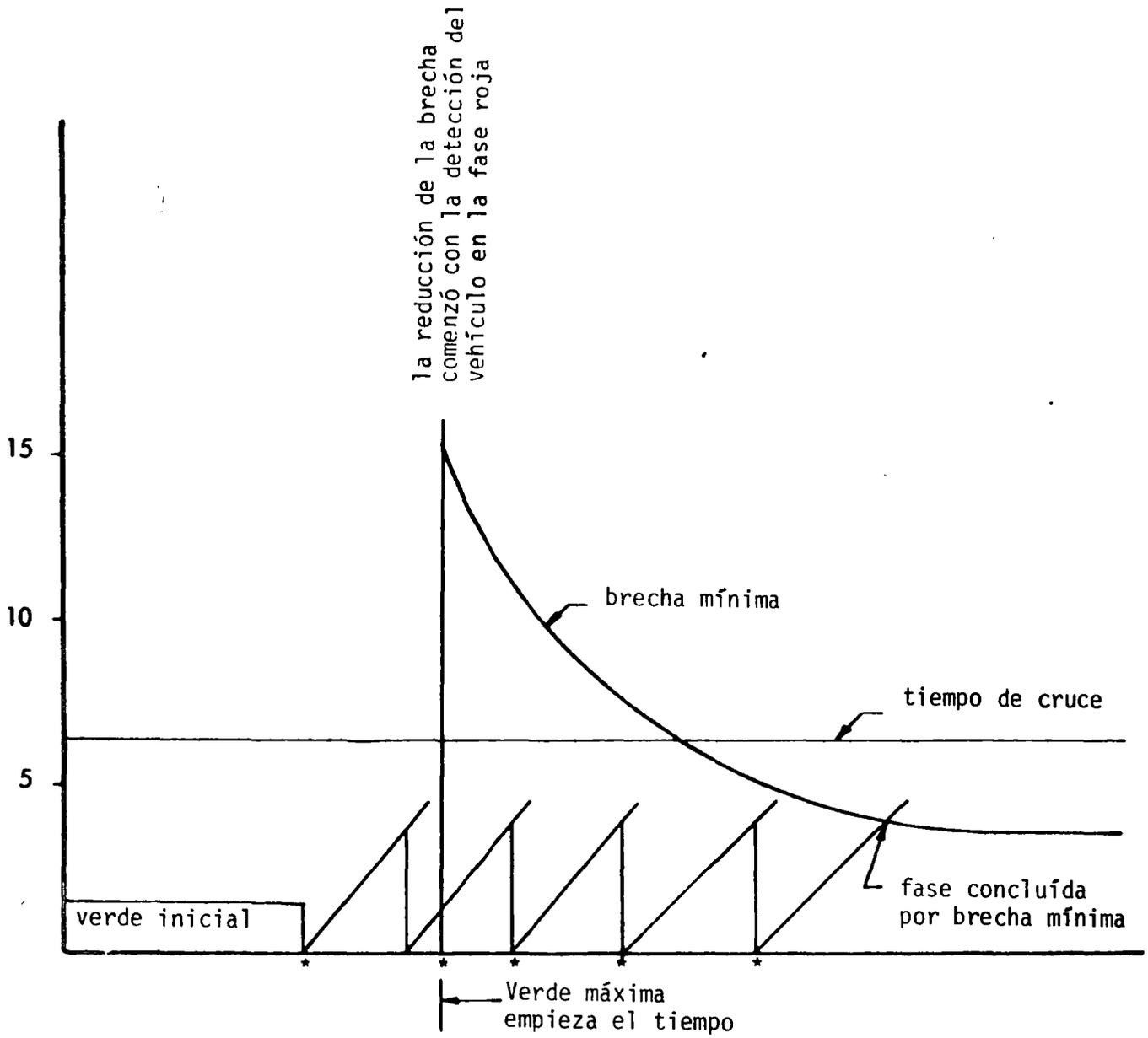
FIGURA 4B

TITULO	BOTON DE CONTROL	ESCALA	FUNCION
MAXIMA VERDE	Verde oscura	20 - 120 segs.	Establece el limite máximo hasta el cual el intervalo de cruce en una fase se puede ampliar después de ocurrida una demanda de tráfico en la fase contraria. Si el derecho de vía se amplía hasta su limite máximo, el control retorna automáticamente a la fase una vez que el derecho de vía ha sido concedido a la fase contraria. El tiempo de la MAXIMA VERDE comienza al encenderse la luz verde cuando existe una demanda de tráfico en la fase contraria, y así rinde una verdadera MAXIMA VERDE.
DESPEJE DE VEHICULOS	Amarilla	1 - 10 segs.	Establece la duración del periodo de despeje de vehículos (Amarillo) en una fase al ser transferido el derecho de vía a la fase contraria.
DESPEJE TODAS ROJAS	Roja	0 - 10 segs.	Establece la duración del segundo intervalo para despeje de vehículos (todas rojas) en una fase al ser transferido el derecho de vía a la fase contraria. Este intervalo se omite cuando el botón de control está en la posición "0".

SEGUNDOS DE LA INTERSECCION



Observación del campo en California sobre la aceptación de la luz amarilla por parte del chofer



Operación para reducir la brecha en el volúmen - control de densidad

TEMA: OPERACION DE SEÑALES TOTALMENTE ACTIVADO CON UN "MAXIMO FLOTANTE"

UBICACION: Calle Hegenberger, Calle de Acceso al Coliseum South y Avenida Edes

La intersección de la Calle Hegenberger, Coliseum South y Avenida Edes es una intersección geoméricamente típica de cuatro piernas con canales de cruce a la izquierda en la calle Hegenberger. La Calle Hegenberger es la arteria principal de seis canales que cubre el area del Aeropuerto Internacional de Oakland, el Port of Oakland Industrial Park, el Oakland-Alameda County Coliseum, y en futuro cercano, la estación de BARDT. La Avenida Edes enlaza la Calle Hedenberger con una salida hacia el norte y una entrada a la autopista Nimitz (Ruta 17). La Calle de Acceso Coliseum South es el punto de acceso al sur hacia el Complejo del Coliseum y su arèa de estacionamiento.

El problema característico de esta ubicación son las fluctuaciones de tráfico poco usuales que se presentan cuando hay funciones en el Coliseum. Poco antes de estas funciones, grandes volúmenes de tráfico entrante se presentan por periodos de 60 a 90 minutos en las aproximaciones de la Hegenberger y las de la Avenidad Edes. Igualmente, y posiblemente de una manera más pronunciada, existe una demanda creada por el tráfico existente en la Calle de Acceso al Coliseum después de estas funciones. Una restricción importante que se presenta al cubrir estas demandas en horas críticas es la naturaleza misma de la Calle Hegenberger y el tráfico en sí. Nuestro enfoque se basó en que el tráfico hacia el aeropuerto y el tráfico de camiones hacia el Industrial Park que transita por esta importante arteria que cruza la ciudad, no podía demorarse excesivamente a fin de aliviar el tráfico hacia el Coliseum.

Las señales de tráfico instaladas consisten de una enlazada de tres fases con una activación total de los peatones. La disposición de la intersección y la configuración de la enlazada en el Bosquejo A. El aspecto único de esta intersección y su control es el circuito adicional de lógica y los pulsos enlazados que permiten un "máximo flotante". Se dispone de dos fijaciones de máxima verde para las dos fases de tráfico directo, consistentes de un máximo bajo y un máximo alto. La secuencia de las fases de señales y la duración de la luz verde hasta su límite máximo bajo, responde a la demanda detectada por las enlazadas largas en la intersección de una manera similar a otras instalaciones LOC. Sin embargo, durante periodos donde existe una demanda muy alta tales como las funciones que se presentan en el Coliseum, las máximas verdes para los dos movimientos de tráfico directo, pueden ser ampliadas más allá del máximo bajo hasta cualquier punto entre el máximo bajo y el máximo alto, dependiendo de las condiciones que se hayan

detectado en los impulsos de la enlazada. En breve, la luz verde puede ampliarse si así se exige más allá del máximo bajo siempre y cuando los impulsos de la enlazada en la luz roja no detecten una cola hasta esa ubicación y que dichos impulsos en las aproximaciones detecten una condición favorable para el flujo de tráfico. Cuando existen ambas condiciones, la luz verde se ampliará a su valor máximo alto. Sin embargo, en un momento después de que el máximo bajo se haya logrado, la luz verde cambiará aún cuando exista la demanda si los impulsos de la enlazada detectan un vehículo estacionado en las aproximaciones de la luz roja o verde. Estos impulsos de la enlazada son interrogados continuamente y el "máximo flotante" se amplía trece segundos desde el último impulso hasta 40 segundos; si la cola en la calle alterna no excede los 200 pies, el máximo puede extenderse a noventa segundos.

El dispositivo del "máximo flotante" permite la flexibilidad necesaria para resolver el tráfico pesado del Coliseum. Esta operación facilita la luces verdes necesarias para resolver el tráfico entrante y saliente del Coliseum. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la Calle Hegenberger es una arteria importante que curza la ciudad y que cubre el tráfico hacia el Aeropuerto y el Industrial Park y es importante que el flujo de tráfico no sea demorado en extremo para aliviar el congestionamiento en el Coliseum. Tomando en cuenta este aspecto, el "máximo flotante" dará fin a la luz verde cuando exista un "máximo flotante" (periodo de tiempo entre el máximo bajo y el máximo alto) cuando el largo de la cola (retraso hasta la ubicación de los impulsos de la enlazada) es detectado por la luz roja en una aproximación o por un impulso de la enlazada en una aproximación verde indica que el flujo ha cesado. En periodos con tráfico liviano, la señal opera en relación con la enlazada.

Una posible desventaja de esta operación en comparación con el control convencional, es el costo adicional de instalación de dichos impulsos y detectores así como del circuito de lógica.

TEMA: EL PRINCIPIO DE "TODAS ROJAS" COMO MANERA DE CONTROL

Ubicación: Avenida Edes y Autopista Nimitz

Las rampas de servicio de la Autopista Nimitz y la Avenida Edes componen una intersección típica en "T", que se encuentra ubicada en un área de rápido desarrollo dentro del Industrial Park y adyacente al nuevo complejo Oakland-Alameda County Coliseum. La ciudad instaló un control enlazado de ocupación en esta intersección en el verano de 1967. El sistema de las fases fue diseñado para dar cabida a una luz roja para todas las aproximaciones seguida de una luz verde para la primera aproximación que reciba la llamada. La Figura I señala el diagrama de las fases, la secuencia de reacción y el tiempo máximo asignado a cada fase. El control busca las enlazadas individuales en el sentido del reloj y salta aquéllas aproximaciones donde no se ha colocado una llamada.

La demanda de tráfico que se presenta en la intersección de la Avenida Edes y la Autopista Nimitz no es común pero tampoco es única. Los sitios que originan este tráfico, tales como el Coliseum y el Industrial Park, producen contrastes muy grandes entre tráfico pesado y liviano. Asimismo estos volúmenes de tráfico varían constantemente entre hora y hora durante el día con respecto a la dirección de su aproximación. Las características particulares son los volúmenes altos de tráfico procedentes de la autopista en comparación con el tráfico en la Avenida Edes y la aproximación a baja velocidad desde la rampa y el gran volumen de camiones. La intersección se considera aislada con respecto a los demás módulos de control adyacentes, y no es necesario tomar en cuenta el tráfico de peatones. La Figura II ilustra la ubicación geográfica de la intersección y la de las instalaciones que originan dicho tráfico.

Al evaluar la operación de esta intersección, el Departamento de Ingeniería de Tráfico y Estacionamiento probó los siguientes métodos de control:

- (1) Control de ocupación del canal
- (2) Control convencional activado
- (3) Control de tiempo fijo.

Los datos relacionados con las demoras por ciclo se muestran en la Tabla I, II y III. La representación geográfica de la demora de vehículos se muestra en la Figura III. De acuerdo con los datos sobre demora que se obtuvieron, se determinó el orden de la eficiencia y el tiempo promedio de paradas:

- (1) Ocupación del canal (4.5 segundos)
- (2) Convencional activado (7.5 segundos)
- (3) tiempo fijo (11.0 segundos)

La duración de los ciclos típicos de señales variaban así:

- (1) El control de ocupación del canal con un descanso en la roja tenían ciclos que oscilaban entre los 4 segundos y 41 segundos, con un ciclo promedio de 17 segundos y un ciclo mediano de 15 segundos.
- (2) El control activado tiene un ciclo que oscila entre los 8 y 74 segundos con un promedio de duración de 41 segundos y de un ciclo mediano de 39 segundos.
- (3) El control de tiempo-fijo tiene un ciclo de 50 segundos.

La experiencia relacionada con accidentes después de la instalaciones de los controles de ocupación de canales, señalan un accidente de ángulo derecho en dos años y medios de operación. En un tiempo similar antes de instalados dichos controles, se registraron dos accidentes por detrás en la misma intersección

En conclusión, se observó una reducción notable en la demora total de vehículos. Sin embargo, también se debe observar que las características físicas de la intersección hacen que la ubicación sea ideal para la instalación de una fase con todas las luces en rojo.

Asunto CONTROL DE TRANSITO

Título PROGRAMA DE COMPUTACION  
PARA  
OPTIMIZACION DE LAS SEÑALES DE TRANSITO

SIGOP - UN PROGRAMA DE COMPUTACION  
PARA OPTIMIZACION DE SEÑALES DE TRANSITO

POR

JOHN C. HIGINBOTHAM  
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE  
DE LA  
CIUDAD DE KANSAS CITY, MISSOURI

TRABAJO PRESENTADO EN LA  
IV REUNION DE DISTRITO  
INSTITUTO DE INGENIEROS DE TRANSITO  
CHICAGO, ILLINOIS, JULY 16, 1971

PROGRAMA DE COMPUTACION PARA LA OPTIMIZACION DE LAS SEÑALES DE TRANSITO

En agosto de 1969, la Ciudad de Kansas City, Missouri fue escogida por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos como una de seis ciudades piloto para la implementación de SIGOP.

SIGOP, un acrónimo que significa "Optimización de Señales", es un programa de computación "off-line" que fue desarrollado por Peat, Marwick, Livingston y Compañía en 1966 bajo contrato con la Oficina de Vías Públicas. El programa fue desarrollado para proveer los ingenieros de tránsito con un instrumento fácil de aplicar, que pudiera ser usado para proveer soluciones a la fijación coordinada de tiempos para las señales interconectadas del tránsito como se encuentra en redes de calles urbanas. Así, el programa se llevó a cabo para proveer un paso intermedio y poco costoso entre la coordinación estática de señales tal como se encuentra generalmente en las áreas urbanas, y el sistema de señales controladas por computadoras, con tiempo real, y que resulta costoso, el cual está siendo evaluado actualmente.

Existen métodos bien documentados y éstos han sido utilizados durante muchos años para establecer patrones de tiempo satisfactorios en calles arteriales simples, pero se logró poco éxito en la coordinación teórica de la fijación de tiempos de las señales correspondientes a redes de calles urbanas. SIGOP ha sido ingeniado para llenar la necesidad y se probó en el campo por primera vez en Washington D.C., en 1966. Más tarde se llevaron a cabo tres pruebas más, en 1967 y 1968, en Baltimore, New Haven y San Francisco. Estas pruebas fueron pasos que el Departamento de Transporte y la firma consultora establecieron, con implementación en el campo, determinando así el valor del programa. Algunas fases de las pruebas fueron inconclusivas, pero la evaluación total de tiempos de viaje, número de paradas, y tiempo total de parada demostraron que

hubo mejoras concretas en las redes probadas. En 1969, Kansas City, San Antonio, Cincinnati, Seattle, Miami e Indianapolis fueron escogidas como ciudades piloto para probar la adaptabilidad del programa tal como se aplicaba a las necesidades del ingeniero de tránsito. A cada ciudad se le pidió que implementara SIGOP, con la menor cantidad posible de personal de afuera, que evaluaran el programa y sus resultados y que sometieran un informe al Departamento de Transporte al terminar el experimento. No se usaron fondos federales para la implementación del programa de las seis ciudades.

El Departamento de Transporte suministró las cintas "tape" para la computadora IBM 360 así como manuales para su uso a cada una de las ciudades. En octubre, 1969, después de haber considerado las necesidades de mano de obra y los requisitos de computación, se inició el programa SIGOP en Kansas City.

El programa tiene una capacidad máxima de 150 intersecciones. Siguiendo el consejo de D.O.T de limitar el número de intersecciones a 100, decidimos que la red por ser optimizada la constituirían 92 intersecciones con señales en un área de 90 cuadras en el CBD.

#### Adquisiciones de Campo y Preparación de Datos

Se hicieron anotaciones, manualmente, en 1969, del número de movimientos de cruce en las intersecciones, y estas fueron suplementadas con otras anotaciones tomadas durante cada una de tres periodos de una hora cada uno; OTP 1, de 10 de la mañana a 11 de la mañana, OTP 2, de 4:30 de la tarde a 5:30 de la tarde y OTP 3, de 7:30 de la mañana a las 8:30 de la mañana. Los conteos por tubo, que se hacían durante 24 horas del día fueron suplementados por otros conteos direccionales hechos en relaciones específicas por todo el sistema. Las ilustraciones 6-7, 6-8, 6-9, 6-11 y 6-12 corresponden a mapas de conteo "antes" y tablas de flujo para cada OTP.

Una encuesta del sistema, llevada a cabo después, anotó el ancho de la

calle, largo de la cuadra, número de vías de acceso y de descarga, entradas de estacionamientos y sus respectivas salidas, y reglamentos de estacionamiento en cada relación. Todos los conteos y datos de relaciones así recolectados fueron registrados en hojas de trabajo para ser transferidas posteriormente a hojas de datos y a tarjetas de datos para ser presentados a la computadora.

Durante el mes de octubre de 1969, mientras aun hacía un tiempo razonablemente bueno, se hicieron encuestas de tiempos sobre cada una de las relaciones de vías en el sistema. El número de paradas, duración de cada parada y el tiempo que llevaba cruzando cada intersección con señal en la relación, todo se registró en cada ocasión. Un mínimo de cinco ocasiones válidas para cada OTP, en cada relación se hizo en este estudio "antes" de los tiempos existentes en las señales y de sus relaciones de salida.

#### Funcionamiento de Computadoras

El programa SIGOP consiste de seis bloques de programas escritos en lenguaje de programadora FORTRAN IV y ha sido convertido para ejecución por el Sistema de Operación IBM 360.

Descritas brevemente, las funciones de los varios bloques de programas son como sigue:

Programa INPUTS: Lee y verifica los datos básicos suministrados al programa por el usuario y comprueba la lógica y consistencia de los datos. Imprime mensajes de advertencia apuntando las violaciones de estos chequeos. Entre las impresiones intermedias para este bloque están los flujos críticos y los flujos totales de cada intersección.

Programa de FASES: Computa y tabula las divisiones de fases para cada intersección por el tiempo de ciclos dados para la prueba. Si así se desea, puede especificar divisiones pre determinadas para cada intersección.

Programa OFFSET: Computa y tabula la diferencia ideal en offsets (salidas) para cada relación de la red. El programa también computa y tabula pesos de relaciones que serán usados en el proceso de optimización.

Programa de OPTMIZ: Produce tal como se le ordena las salidas de señales para la red, las cuales, en el agregado, deben aproximarse más a los offsets ideales computados para cada relación individual de la red.

Programa VALUAT: Usa una simulación de red de tránsito simplificada, para calcular la propensión del sistema para generar retraso, paradas y el costo de un juego dado de tiempo de ciclo, divisiones y offsets de fases. Estas propensiones son útiles al comparar las fijaciones alternadas de señales para los mismos y tiempos diferentes de ciclo para evaluar el rendimiento teórico de un sistema bajo varias condiciones supuestas, observadas o existentes.

Programa OUTPUT: Presenta divisiones recomendadas de fase y de offsets bajo forma de tabulación de nuevas fijaciones de discos de acuerdo a conveniencia. Imprime tablas de tiempo-espacio para grupos específicos de relaciones de redes.

La cinta de programa SIGOP fue "overlayed" por medio de esfuerzos de un programador y de un técnico locales de computadora IBM, de modos que podía funcionar en el Sistema IBM 360 Modelo 40 alquilado por la Ciudad. El personal de la Ciudad de Kansas City Data Processing Unit (Unidad de procesamiento de datos de la Ciudad de Kansas City) pasó los primeros cinco bloques de programas por la máquina sin mayor dificultad. Se determinó había insuficiente "core" en el equipo de la Ciudad para procesar el sexto bloque, "OUTPUT" de modo que se usó el equipo del Centro IBM para los bloques finales.

Una red de prueba de nueve intersecciones se estableció y se hizo pasar por los bloques de INPUTS PHASES AND OFFSET para familiarizar el personal que trabajaría en el programa con las hojas de impresión intermediarias y especialmente, con los mensajes de error que aparecen en ellas. Después de haber resumido las hojas impresas descubrimos que había un malentendido con respecto al uso de "nueves" y "ceros" en las tarjetas del bloque de programa INPUTS. Después de releer varios pasajes del manual de uso, pudimos eliminar los errores.

Un máximo de diez tiempos de ciclo puede ser incorporado a cada pasada por la computadora. La primera vez, pasamos tiempos de ciclos que iban desde 60 hasta 120 segundos. Otra pasada, hecha poco después incluyó una escala de ciclos, en aumentos de dos segundos, desde 55 hasta 70 segundos. Al comparar las cifras de retraso, de parada y de costos en la hoja impresa VALUAT, encontramos que un tiempo de sesenta segundos de ciclo, el mismo que se usaba antes con SIGOP, sería satisfactorio para ser usado en los tres OTPs. Las comparaciones entre el tiempo de sesenta segundos de ciclo y los tiempos que iban desde 55 hasta 65 segundos mostraban muy poca diferencia en las paradas o retrasos en cualquiera de los tres periodos de tiempo. Después de procesar la computadora derivó el offset y dividió las fijaciones por medio del bloque OUTPUT de programa, y nosotros iniciamos otro procesamiento de computadora utilizando las divisiones existentes así como los offsets para el sistema. Cuando todo fue completado, las hojas impresas de los bloques VALUAT y OUTPUT de las fijaciones existentes fueron comparadas con las fijaciones derivadas por la computadora durante un tiempo de ciclo de sesenta segundos.

Encontramos que estaba indicada una reducción de 40% en retraso total del sistema y un promedio de reducción de 23% en número total de paradas en las tres OTPs. Tal como lo había indicado la información basada en estudios de sensibilidad en el campo hechos por Peat, Marwick, Livingston, pensamos que los porcentajes de reducción indicados por la computadora eran bastante optimistas.

En resumen, los procesos de computadoras se hicieron con muy pocos tropiezos. En verdad, fuimos afortunados de contar con los servicios de un representante de la IBM que conocía los términos de ingeniería de tránsito y su teoría y tenía experiencia con la manipulación de datos sobre tránsito en procesamiento de computadoras. Pensamos, sin embargo, que se hace una excelente presentación de la terminología afín de la computación y de datos de muestreo en el manual de uso de SIGOP por los creadores del Programa.

### Instalación de Fijaciones Derivadas por Computación

Si bien fueron necesarios algunos ajustes menores del sistema de offset y de división, para evitar que se colocaran las teclas de offset en intervalos de periodos de luz amarilla, las hojas impresas del bloque de programa OUTPUT llevaban fijaciones completas para los datos del sistema ensamblados de modo que los ajustes pudieron hacerse sin la menor dificultad.

La computadora derivó fijaciones para el sistema que fueron instalados el sábado 22 de mayo de 1970. Las pasadas fortuitas que se hicieron como intentos preliminares en todo el sistema durante los diez días siguientes indicaron que hacía falta unos cuantos ajustes en división y/o fijación de tiempos de salida en varios lugares. En total, se hicieron 21 ajustes de "splits" y "offset" durante el periodo de tres semanas después de la instalación.

### Evaluación de Cambios de Fijaciones de Señales

Evaluación en el Campo: Tres semanas después de haber sido instalados los "settings" derivados de la computadora, se empezó a hacer estudios de tiempos de viaje como fase inicial del programa. Las pasadas que se hicieron sobre las mismas relaciones del sistema cubiertas en el estudio "before" fueron completadas el día 22 de julio de 1970. Igual que antes, se hizo un mínimo de cinco viajes válidos para cada OTP en cada relación.

Tal como se ha demostrado en la ilustración 5-13, las reducciones pesadas del sistema total en todas las paradas para OTP1, OTP2 y OTP3 fueron de 13.4%, 21% y 17.4%, respectivamente. Las reducciones en total de tiempo de viaje en base del sistema fueron de 5.7%, 13.8% y 13.8% para OTP1, OTP2 y OTP3, respectivamente. Los valores pesados por reducciones en el total de las paradas y en total de tiempos de viaje para los tres OTPs fueron de 18.5% y 12.2% respectivamente.

Comparación de Valores Derivados de Computadora. El programa SIGOP permite

al ingeniero de tránsito seleccionar ocho relaciones de sistemas que, en su opinión, son críticas en el cuadro del sistema por análisis específico en el bloque Valuat. Las cuatro principales calles que van de norte a sur en el centro de Kansas City, Broadway, Main Street, Grand Avenue y Oak Street son de doble vía, cuatro a seis vías en ancho y, en nuestra opinión, son clave de si el sistema de señales CBD funcionará bien o no. Llegamos a esta conclusión con experiencia práctica de los flujos de la tránsito y con datos adquiridos a través de los años. Las ocho relaciones direccionales en las cuatro calles principales fueron seleccionadas como los grupos de relaciones para ser analizados en el bloque Valuat. Las ilustraciones (5-2, 5-3 y 5-4) comparan las predicciones de la computadora en porcentajes estimados de reducción o en aumentos en paradas y retrasos en los ocho grupos de relaciones. Como está demostrado, existen inconsistencias claramente vistas entre los valores actuales de procedimientos y los que dió la computadora como resultados. En muchos casos el resultado previsto fue realmente opuesto según las observaciones en el campo, para la misma relación estudiada.

Conclusión En retrospecto, creemos que la selección de los grupos de relaciones tomando solamente las calles de doble vías no resultó ser una decisión muy sensata. Otros conflictos inherentes de las operaciones de tránsito en doble vía, tales como el tránsito opuesto, los cruces internos hacia y saliendo de garajes, cruces a la izquierda en intersecciones entre otros, le prestan un carácter casi impredecible al tránsito que probablemente no puede ser analizado correctamente cuando solamente se hacen cinco pasadas válidas de tiempo en cada OTP. Creemos que hubiera sido más cierto incluir algunas calles de una sola vía en los grupos de relaciones para el análisis con Baluat, ya que las

relaciones de una sola via parecen mostrar un valor de porcentajes mas consistente para la reduccion o el incremento de las pasadas de campo.

Creemos que los valores pesados, de las pasadas de campo para obtener reducciones en las paradas totales y en tiempos totales de viajes de 18.5% y 12.2%, respectivamente, son significantes en ambas categorías.

En una ciudad del tamaño de Kansas City, los cambios de tránsito pueden esperarse en o cerca de CBD por un periodo de estudio de nueve meses. Durante la implementación de SIGOP ocurrieron dos cambios que afectaron los flujos en la red. Poco antes de la instalación de las fijaciones de señales derivadas por computadora, se sumaron restricciones de estacionamiento durante el periodo fuera de horas de afluencia máxima en la calle Broadway entre las calles 10° y 13°. Las restricciones anteriores solamente cubrían el periodo de afluencia máxima. Al mismo tiempo se instaló un nuevo esquema que incluía desvíos para cruces. La capacidad sobre la calle Broadway fue aumentada por estas instalaciones durante las tres OTPs.

Aproximadamente al mismo tiempo que se instalaban los tiempos fijos para las señales como derivadas por la computadora ocurrio una falla en un puente en la calle Oak Street (a una milla al sur del CBD) y la calle fue cerrada para todo tránsito. Este cierre sin duda alguna aumentó los volúmenes de tránsito en la calle McGee y en la Grand Avenue durante las pasadas de registro de tiempo "after".

Seis meses despues de la instalación de los tiempos fijos para señales derivados por computadora se empezó un estudio de volúmenes de transito "after". Se anotaron los conteos de tubos automáticos colocados sobre las carreteras y se hicieron conteos manuales del tiempo de movimientos sobre una base similar al procedimiento usado en la adquisición en el campo de datos para las pasadas por SIGOP en computadora. Los conteos de volumen obtenidos mostraron un incremento de 10% en los volúmenes de transito durante el OTP 2 y 3 sin ningun cambio en volumen durante el OTP 1.

El programa SIGOP es un instrumento util para el ingeniero del transito.

tal como se ha indicado anteriormente, creemos que nuestra escogencia de grupos de relaciones para el analisis Valuat pudiera haber sido mas selectivo. Inmediatamente despues de que se instalaran las fijaciones derivadas por computadora, las pasadas fortuitas preliminares indicaron que hacia falta ajustes de split y/o tiempos de offset. Al igual que con muchos programas de este tipo, las pasadas en el campo tienen que ser hechas a traves de periodos de transición de modo que las correcciones prácticas y los ajustes necesarios puedan hacerse. SIGOP no se quedará solo para resolver todos los problemas de ajuste de tiempo en una red vial. Cuando se aplique el conocimiento práctico junto con el problema creemos que los resultados deseados, o sea, un sistema de señales bien equilibrado, será el logro alcanzado. Pensamos usar SIGOP en el futuro para predecir los efectos que los cambios físicos, tales como la suma de nuevas calles de una vía o su substracción, conversiones para peatones y ensanchamiento de calles tendrán en los tiempos de señales y en las salidas en nuestro Distrito Central de Comercio.

Grupo de Relación ↓	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN O INCREMENTO				Tiempos de viaje Relación Real			Velocidad promedio (en MPH)	
	Número de paradas		Tiempo parado		Antes en segs.	Después en segs.	% cambio	antes	después
	SIGOP Estimado	Pasadas de campo Real	SIGOP Estimado	Pasadas de campo Real					
BROADWAY NB	-59.8	-17.7	-63.5	-22.7	375.0	272.2	-21.3	3.5	10.9
MAIN NB	-25.2	+1.5	-14.3	-3.9	332.8	316.7	-4.8	7.3	7.6
GRAND NB	-29.3	-36.3	-31.6	-68.8	373.2	233.4	-37.5	7.0	11.2
OAK NB	-77.2	-25.0	-74.3	-38.6	302.2	226.0	-25.1	8.0	10.7
BROADWAY SB	-69.0	-20.5	-76.8	-43.0	403.6	230.2	-30.6	7.4	10.6
MAIN SB	-35.2	-50.0	-56.4	-55.9	247.6	157.6	-36.4	9.8	15.3
GRAND SB	-32.1	-33.3	-53.5	-41.2	227.8	155.8	-31.7	9.7	14.0
OAK SB	-70.7	-69.0	-62.5	-68.7	311.0	184.8	-40.6	7.8	13.1
Red ente- ra (peša- da).	-26.0	-20.9	-38.7	-14.6	—	—	-10.5		

3537

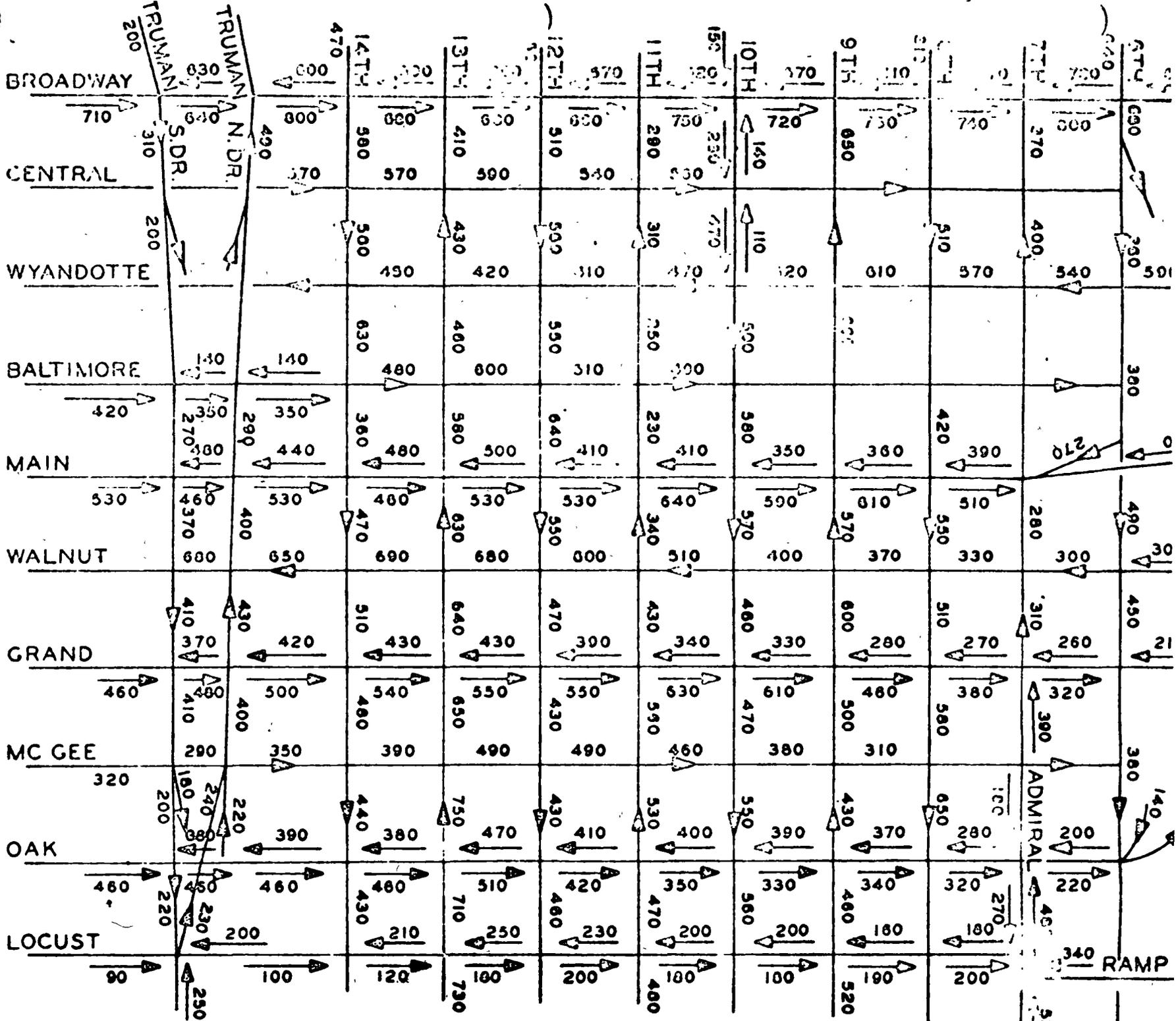
OTP # 2 4:30 TO 5:30 PM

Ilustración 5-3

Grupo de Relación	REDUCCION O INCREMENTO DE PORCENTAJE				RELACION DE TIEMPO DE VIAJE REAL			PROMEDIO DE VELOCIDAD (en MPH)	
	NUMERO DE PARADAS		TIEMPO PARADO		ANTES	DESPUES	%	ANTES	DESPUES
	SIGOP Estimado	Pasadas de campo Real	SIGOP Estimado	Pasadas de campo Real	(in secs.)	(en secs.)	CAMBIOS		
BROADWAY NB	-50.1	-25.8	-52.3	-27.3	232.4	220.0	-22.1	10.3	13.5
MAIN NB	+10.4	-32.7	+20.0	-30.4	272.2	201.0	-23.2	3.9	12.0
GRAND NB	-14.5	-17.6	-42.8	-34.3	302.6	203.4	-31.1	3.7	12.5
OAK NB	-86.0	+15.4	-84.5	+20.7	182.2	132.0	-0.1	13.2	13.2
BROADWAY SB	-21.6	-22.5	-58.2	-37.4	235.8	188.0	-20.3	12.7	15.7
MAIN SB	-24.8	-41.7	-57.9	-43.0	255.4	171.7	-32.8	9.5	14.0
GRAND SB	-36.9	-42.8	-60.0	-48.0	228.0	184.6	-19.0	9.6	11.9
OAK SB	-64.5	-23.5	-52.8	+36.4	206.0	178.8	-13.4	11.7	13.5
Red Entera (pesada)	-20.6	-17.35	-37.7	-11.2	—	—	-13.8		

OTP # 3 7:30 TO 8:30 AM

Ilustración 5-4

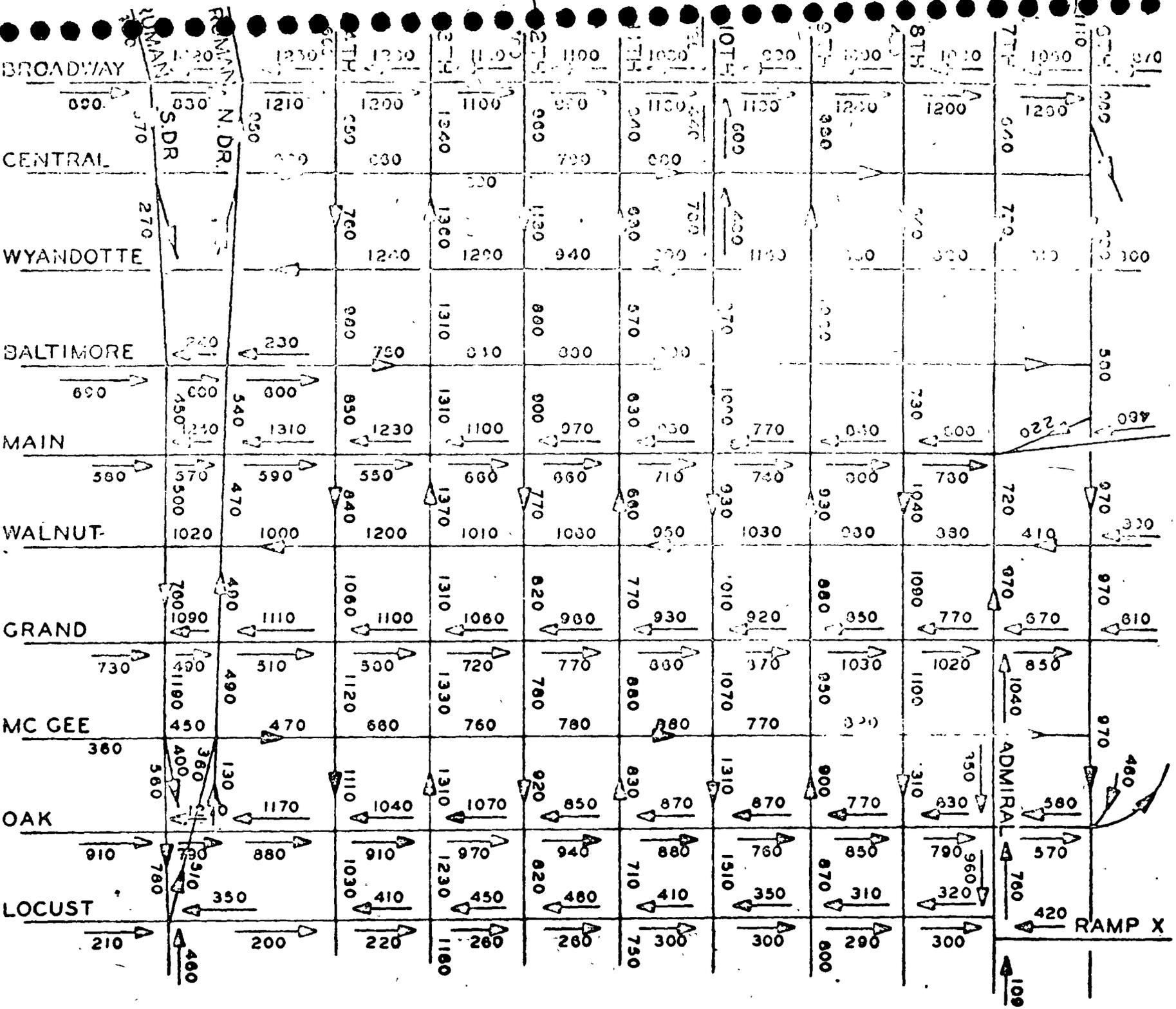


MAPA DE CONTEO OTP I 10:00 TO 11:00 AM

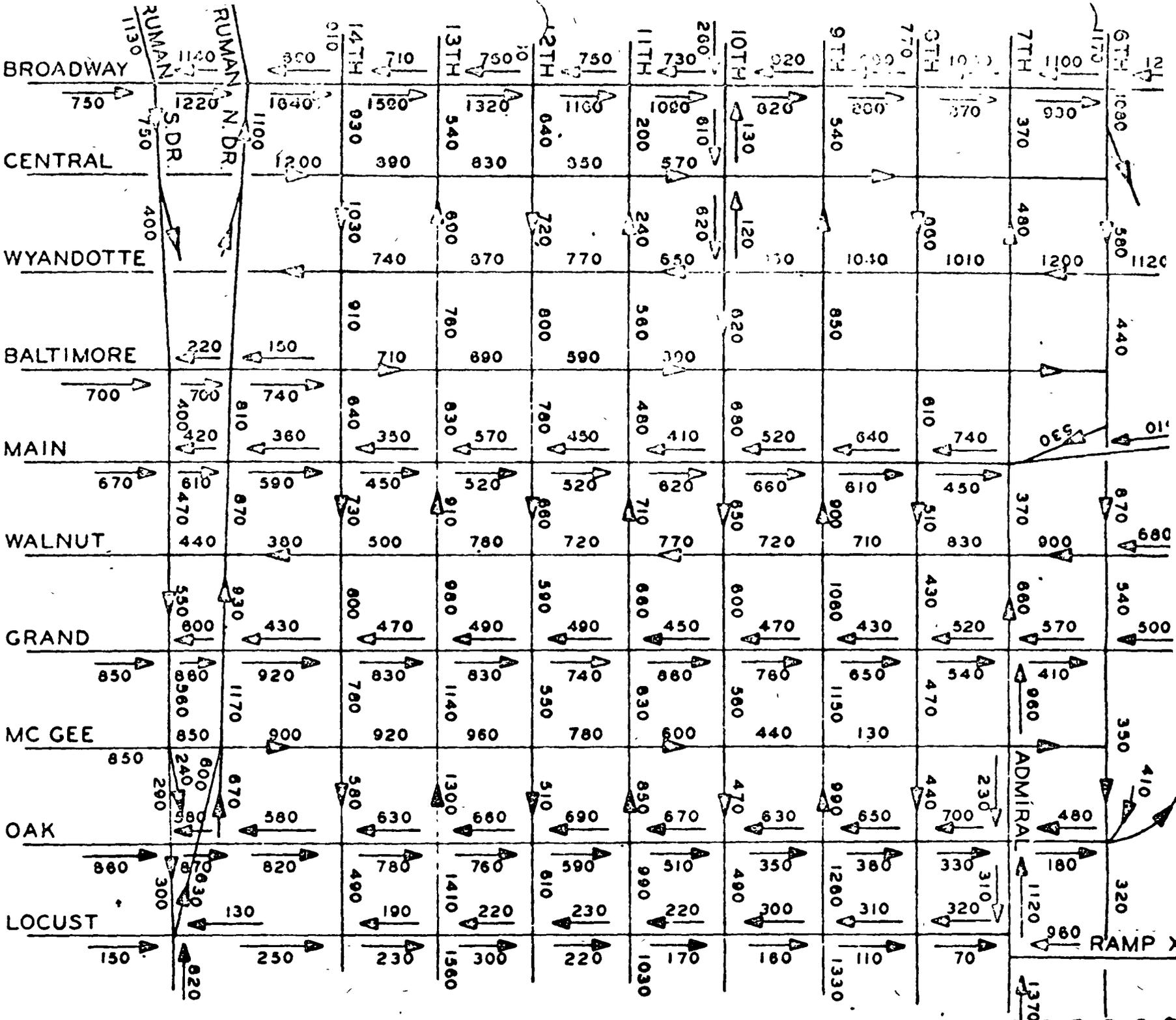
6-7

3537

1115

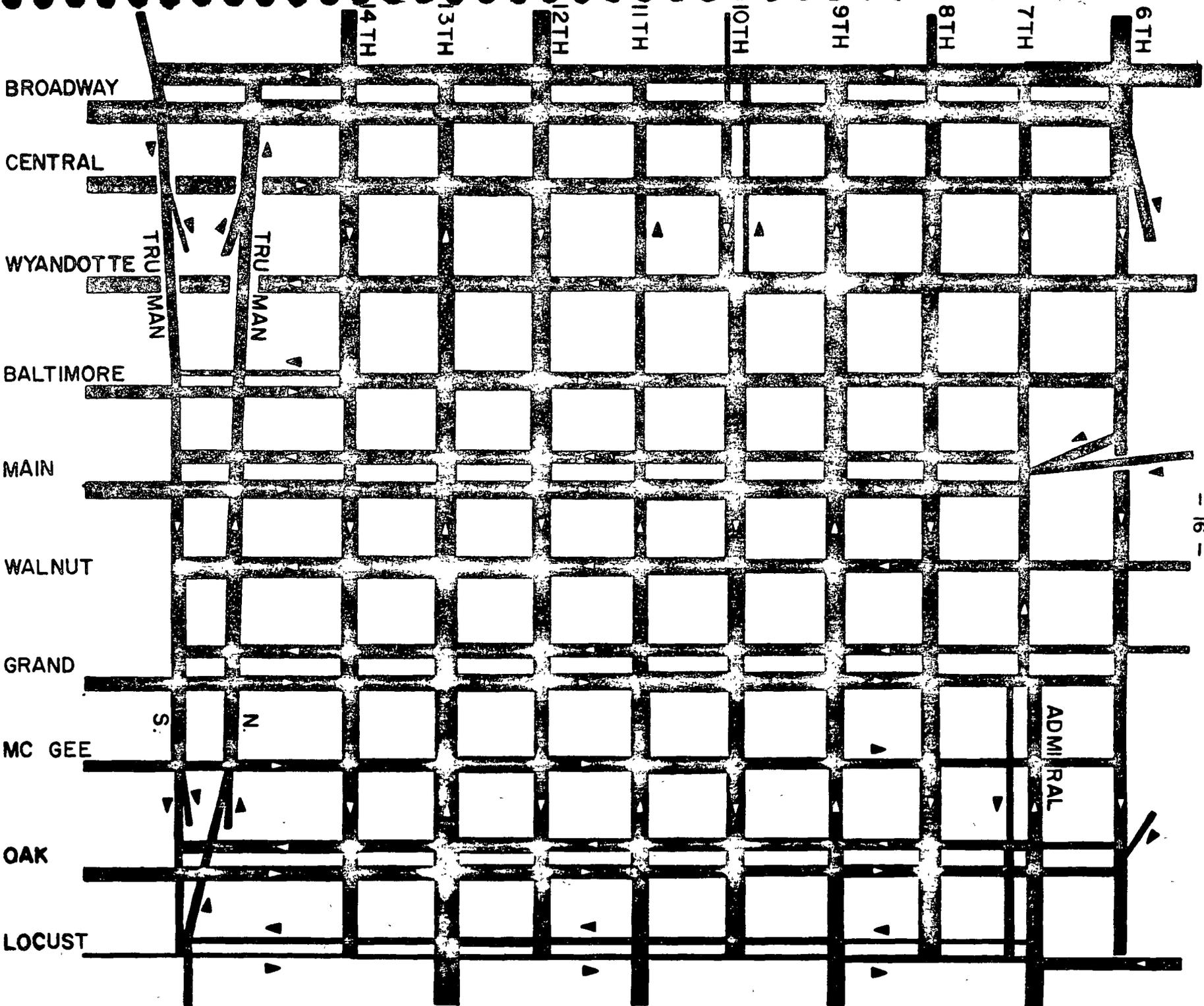


MAPA DE CONTEO  
 OTP 2 4:30 TO 5:30 PM



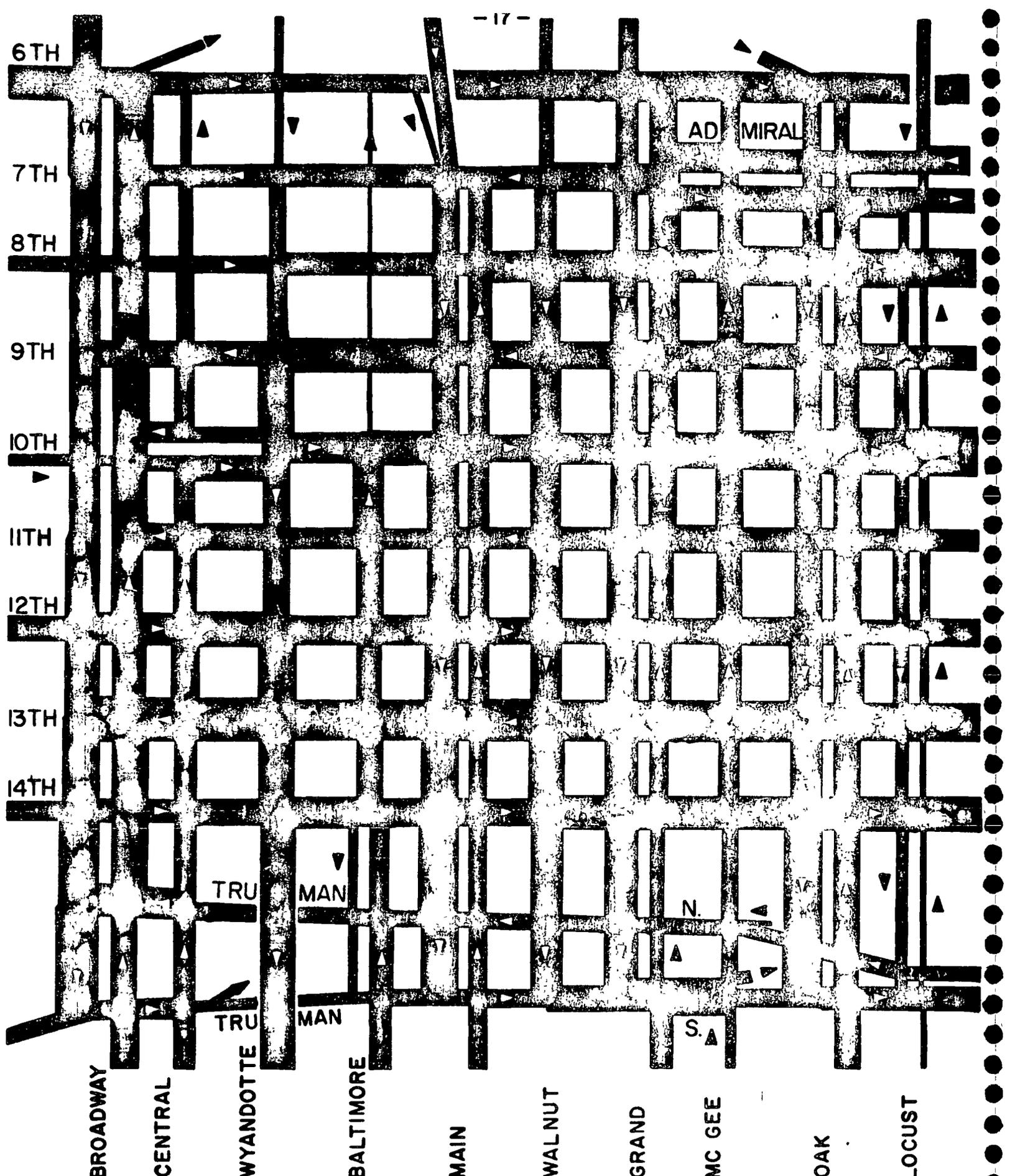
MAPA DE CONTEO OTP 3 7:30 TO 8:30 AM

Ilustración 6-9



MAPA DE FLUJO OTP 1 10:00 TO 11:00 AM

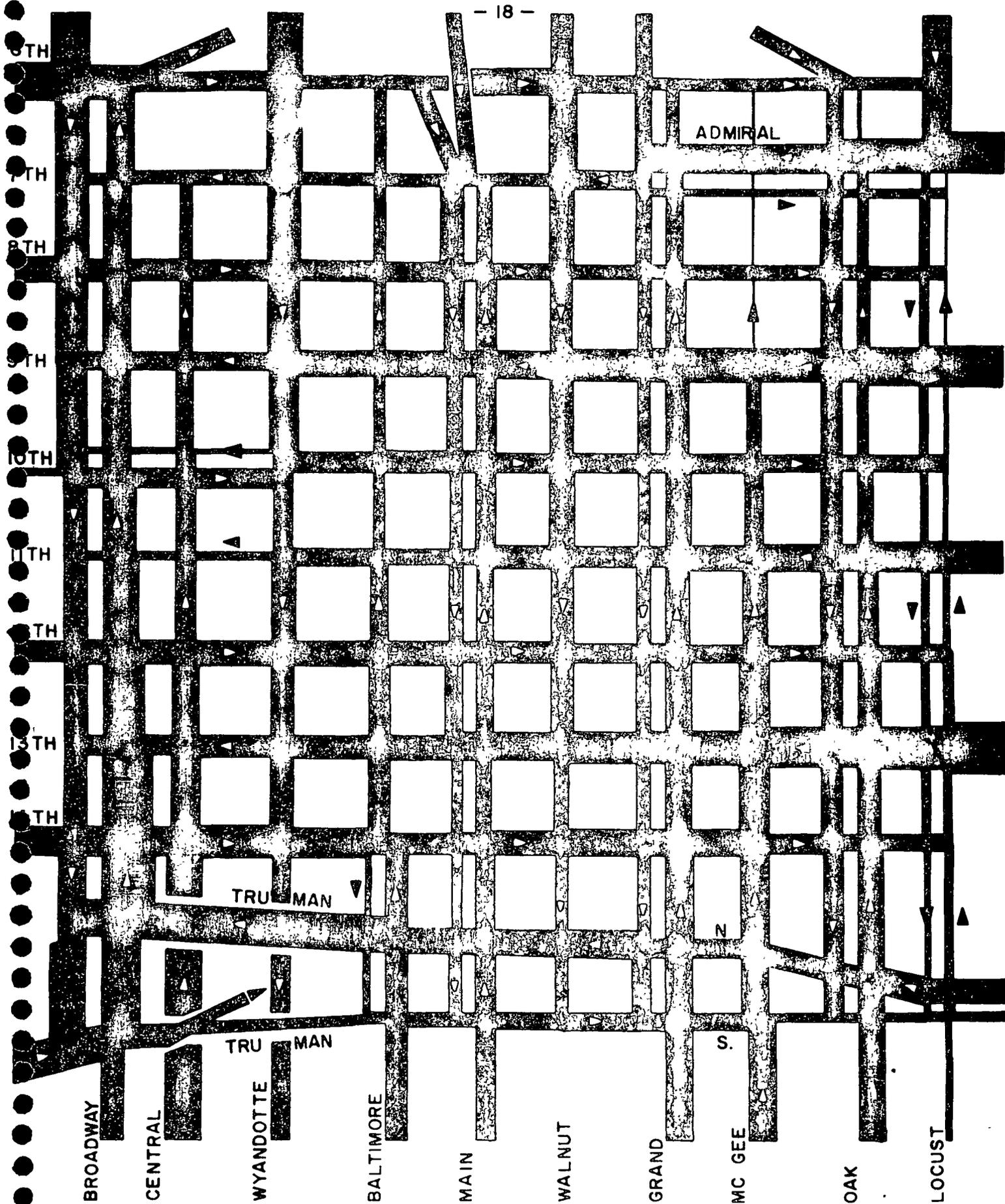
ILUSTRACION 6-10 3537



MAPA DE FLUJO OTP 2 4:30 TO 5:30 PM

3537

449



MAPA DE FLUJO OTP 3 7:30 TO 8:30 AM

3537

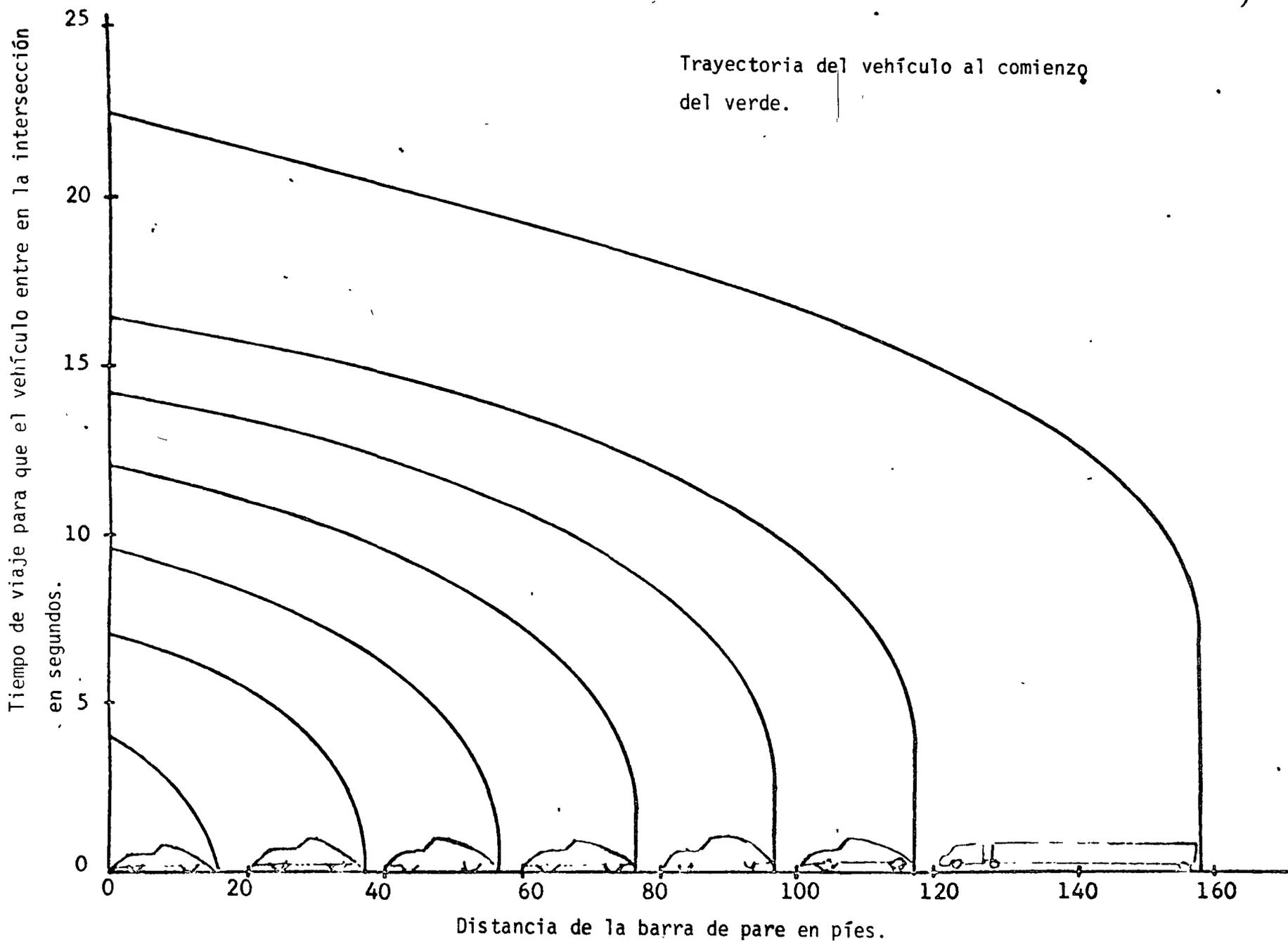
Ilustración 6-12

450

Efecto de tiempo "Sigop" en paradas de vehículos y tiempo de viaje.

DNK	N° AVERAGE DE PARADAS			TIEMPO AVERAGE DE VIAJE		
	OTP-1	OTP-2	OTP-3	OTP-1	OTP-2	OTP-3
	10-11AM	4:30-5:30PM	7:30-8:30AM	10-11AM	4:30-5:30PM	7:30-8:30AM
Broadway, Truman a 5°	NB - 15.8%	- 17.7%	- 25.8%	- 12.0%	- 23.1%	- 22.1%
5° a Truman	SB + 25.0	- 20.5	- 22.5	+ 7.3	- 30.6	- 20.3
Central, 14° a 10°	NB - 40.0	- 36.4	+ 33.3	- 23.1	- 39.5	+ 3.2
Wyandotte, 6° a 14	SB - 25.0	—	+100.0	- 3.4	+ 14.0	+ 3.1
Baltimore, Truman a 10°	NB - 62.5	- 62.5	- 71.5	- 6.4	- 25.4	- 38.4
Main, Truman a 7°	NB - 31.5	+ 1.5	- 32.7	- 18.0	- 4.8	- 26.2
7° a Truman	SB - 50.0	- 50.0	- 41.7	- 30.4	- 36.4	- 32.8
Walnut, 6° a Truman	SB - 26.4	- 25.4	+ 28.6	- 12.0	- 22.6	- 1.8
Grand, Truman, a 6°	NB - 64.2	- 56.8	- 17.6	- 9.8	- 37.5	- 31.1
8° a Truman	SB -100.0	- 33.3	- 42.8	- 32.9	- 31.7	- 19.0
McGee, Truman a 8°	NB -100.0	- 33.3	- 14.3	- 22.8	- 1.1	- 3.8
Oak, Truman a Admiral	NB + 87.5	- 25.0	+ 15.4	+ 9.1	- 25.1	- 0.1
Admiral a Truman	SB + 66.7	- 69.0	- 23.5	- 19.4	- 40.6	- 13.4
Locust, Truman a 9°	NB - 38.0	- 24.2	+ 50.0	- 21.0	- 6.3	+ 62.5
9° a Truman	SB +216.0	+ 44.2	+ 1.8	+ 84.7	+ -69.4	+ 14.1
6, Broadway a Oak	EB -100.0	- 75.0	—	- 31.1	- 13.8	+ 16.1
Admiral/7°, Locust a Bdwy.	WB - 23.1	- 10.0	- 1.7	+ 17.2	- 9.3	- 21.0
8, Broadway a Charlotte	EB - 39.1	- 41.2	- 15.4	- 2.3	- 24.7	- 9.5
9, Holmes a Washington	WB + 44.4	+ 11.1	- 21.0	+ 23.7	+ 10.1	- 18.7
10, Central a Washington	WB + 12.5	- 33.3	—	+ 54.8	- 16.9	+ 2.9
Wash. a Charlotte	EB - 9.9	- 7.2	+ 55.0	+ 2.1	- 17.2	+ 42.7
11, Holmes a Penn	WB - 25.0	- 11.4	- 29.4	- 18.1	- 9.3	- 16.4
12, Wash. a Charlotte	EB + 58.1	+ 10.2	+ 16.7	+ 10.6	+ 18.7	- 14.8
13, Holmes a Penn	WB +134.4	—	+ 27.2	+ 32.1	+ 3.7	- 16.7
14, Wash. a Charlotte	EB - 68.1	- 6.7	- 50.0	- 31.6	- 6.3	- 21.5
Truman N., Holmes a Balt.	WB + 33.3	- 10.5	- 70.0	+ 0.9	- 0.1	- 45.0
Truman S., Balt. a Char.	EB - 5.7	+ 25.0	- 25.0	- 25.5	+ 21.0	- 10.4
TOTAL DE SISTEMAS	- 13.4	- 21.0	- 17.4	- 5.7	- 13.8	- 13.8

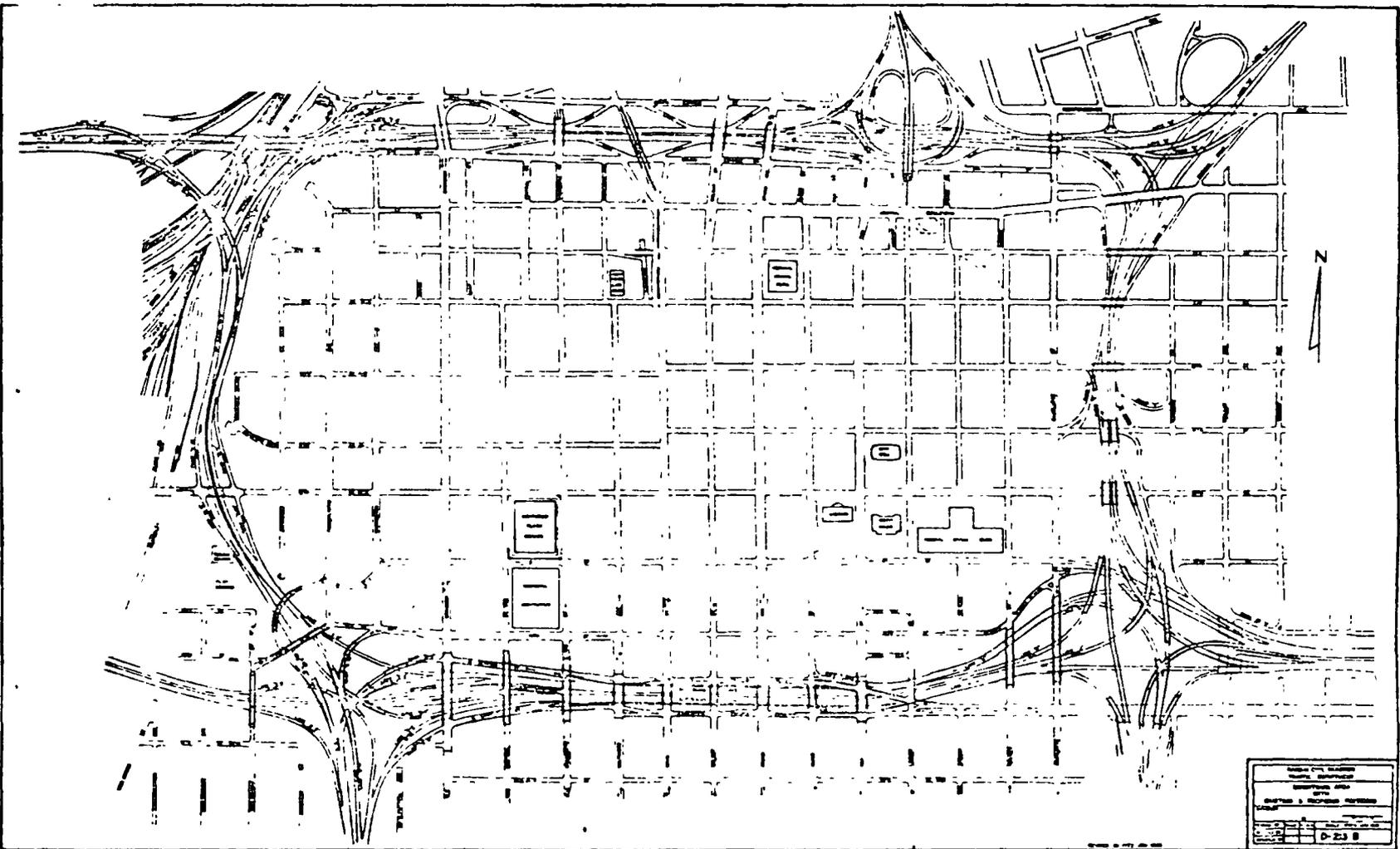
451



- 20 -

Tiempo de viaje para que el vehículo entre en la intersección en segundos.

Distancia de la barra de pare en pies.

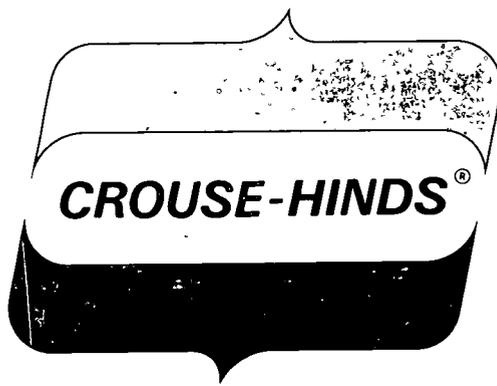


Ilustración

1-1

3537

4/8/53



Calz. del Moral 277

México 13, D. F.

Tel. 582-33-00