



EL7025/EL761/CI6308



Control Inteligente para Problemas  
Dinámicos de Transporte

Cristián Cortés, Doris Sáez\*

Departamento de Ingeniería Civil - Transporte

\*Departamento de Ingeniería Eléctrica

Universidad de Chile

2011

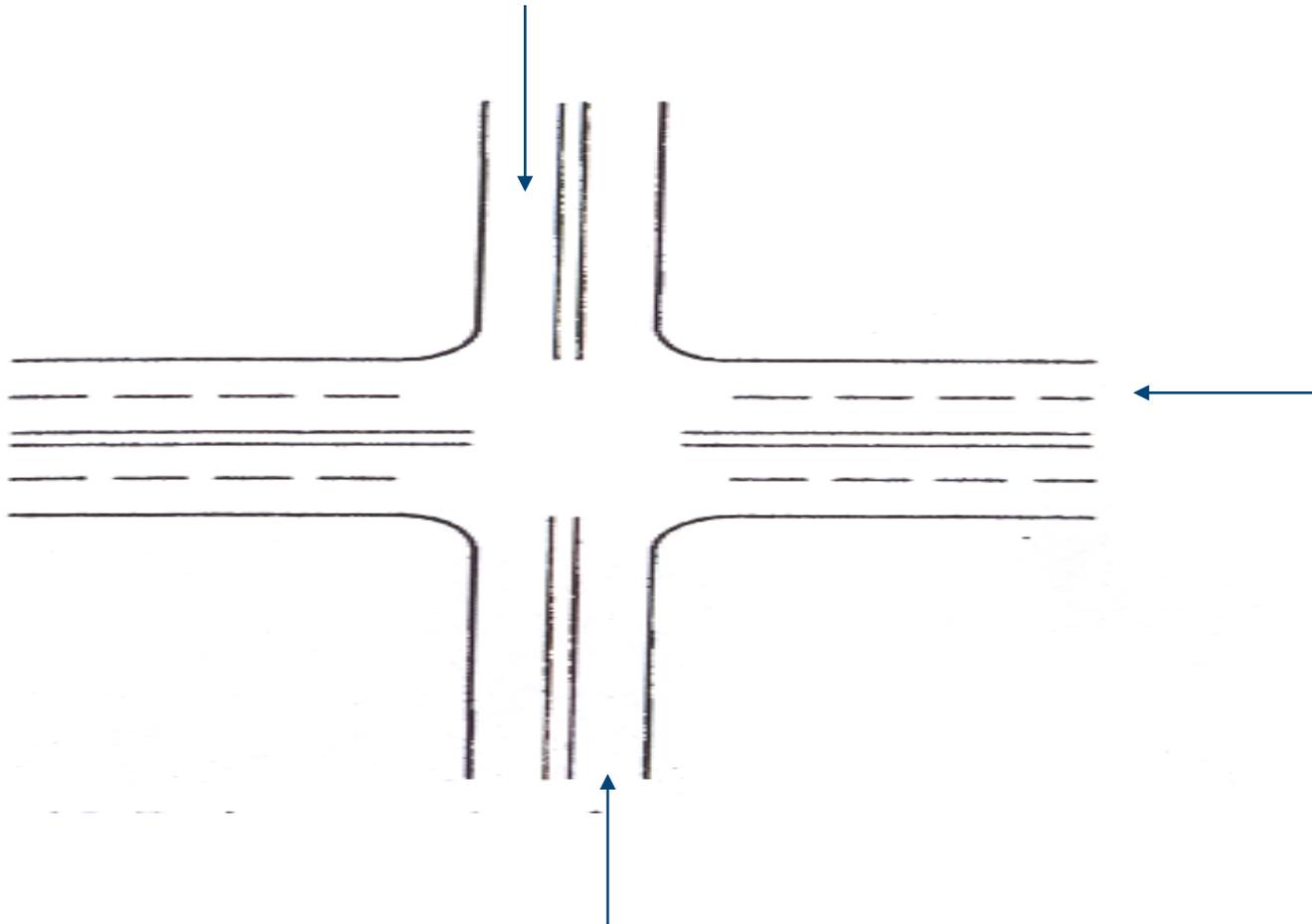
# Control de Tráfico

- ◆ Flujo de tráfico interrumpido
  - Control de semáforos actuados (tradicional y fuzzy)
- ◆ Flujo de tráfico ininterrumpido (3 clases adicionales)
  - ramp metering: control de acceso a autopistas

# Tipos de señalización

- ◆ Prestablecida por período
- ◆ Actuada (semi o completamente actuada)
- ◆ Coordinación de semáforos en arteria
- ◆ Coordinación de semáforos en red
- ◆ Actuada coordinada
- ◆ Optimización a nivel de arteria o a nivel de red

# Conceptos básicos de señalización en intersecciones



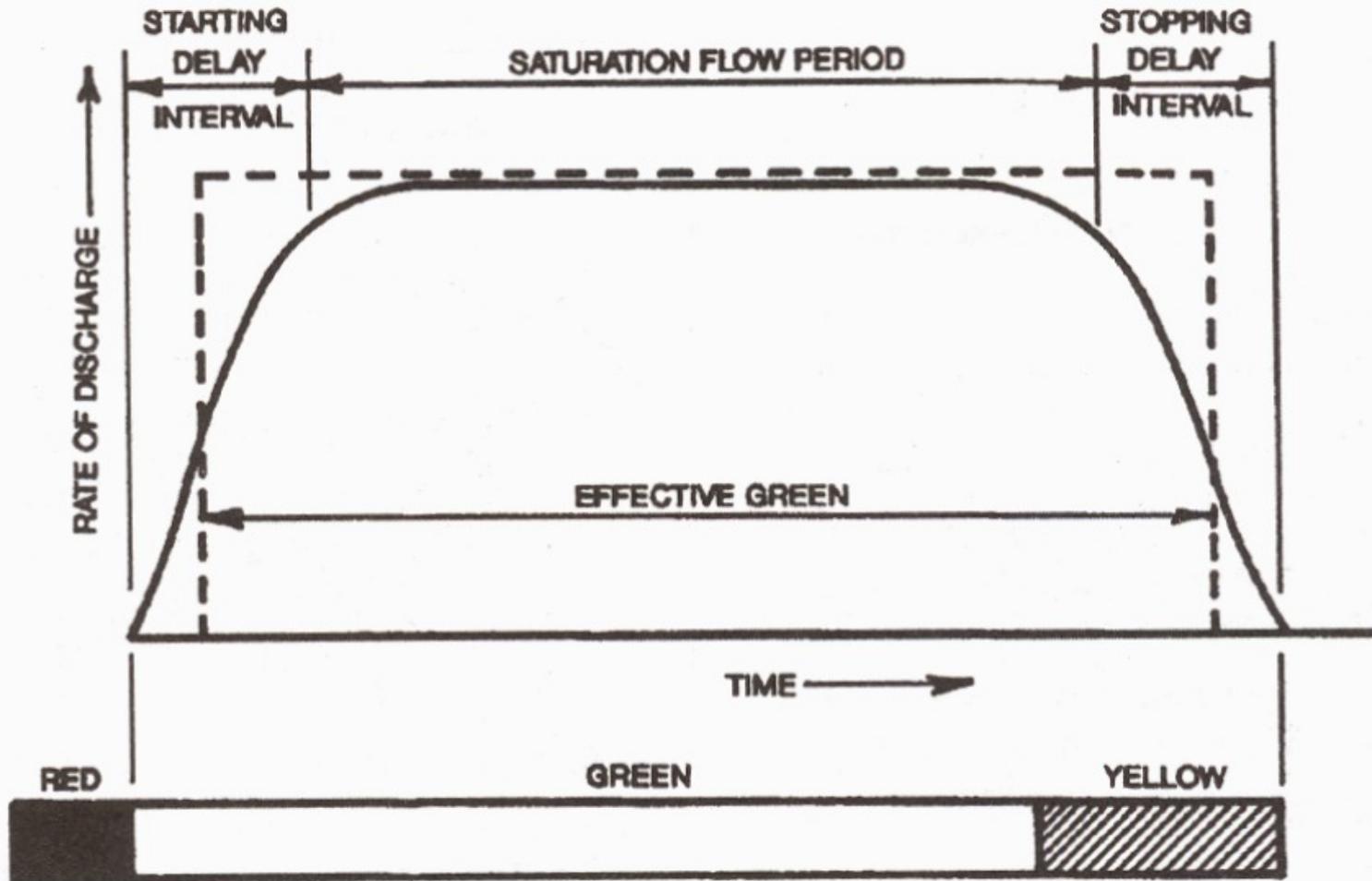
# Conceptos básicos de señalización en intersecciones

- ◆ Ciclo: rotación completa a través de todas las indicaciones provistas.
  - Largo de ciclo  $C$
  - Intervalo: período durante el cual ninguna lámpara cambia (cambio, clearance, verde, rojo)
    - $Y_i$  :Cambio + clearance
    - $G_i$  verde
    - $R_i$  rojo

# Conceptos básicos de señalización en intersecciones

- ◆ Fase: porción del ciclo que le entrega derecho a vía a conjunto de movimientos sin conflicto con el resto
- ◆ Tiempo perdido: tiempo durante el cual la intersección no es usada muy eficientemente (durante la partida del verde y al final del verde/amarillo)

# Conceptos básicos de señalización en intersecciones



# Conceptos básicos de señalización en intersecciones

- ◆ Tasa de flujo de saturación  $s = 3600/h$  (vph/pista)
- ◆  $h$ : headway de saturación
- ◆ Tiempo de verde efectivo: tiempo usado en cálculos, como el período cuando flujo de saturación puede efectivamente existir

$$g_i = G_i + Y_i - t_L$$

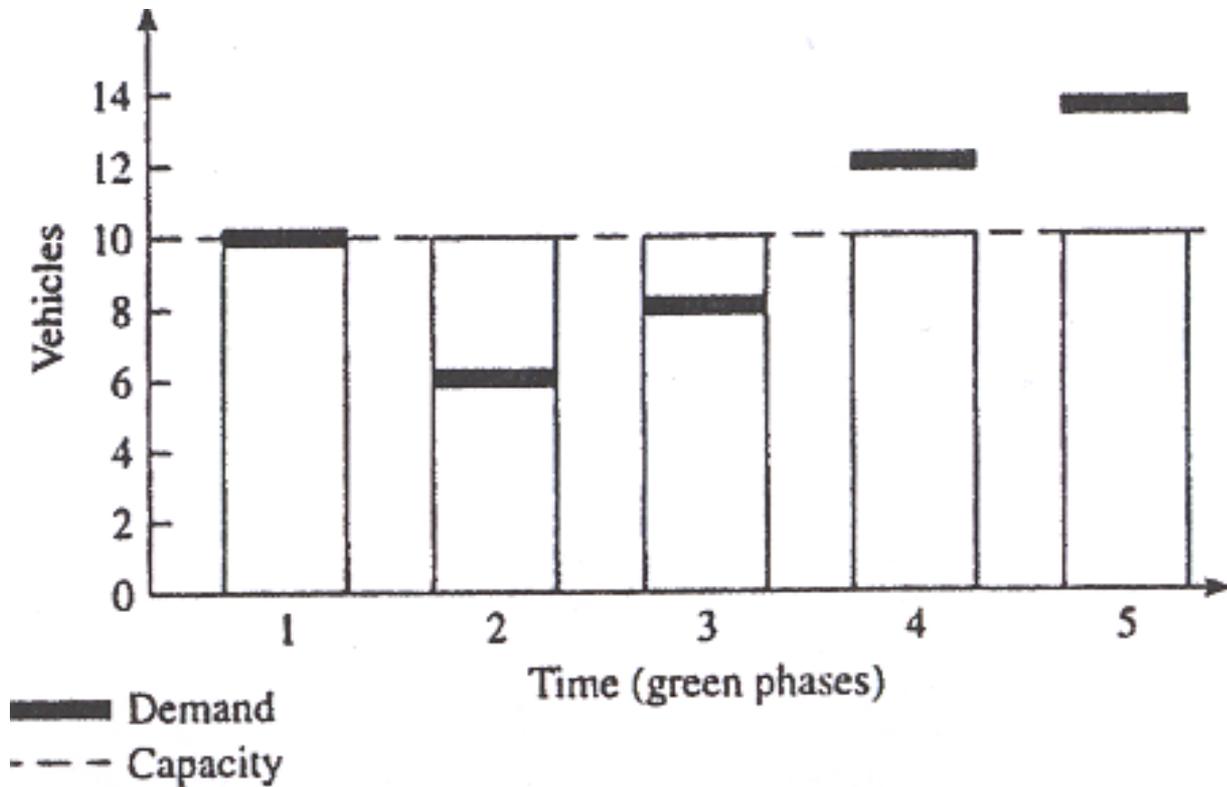
- ◆ Ratio de verde :  $g_i / C$

- ◆ Capacidad movimiento  $i$   $c_i = s_i \frac{g_i}{C}$

# Conceptos básicos de señalización en intersecciones

- ◆ Simple diseño de dos fases preestablecido, Webster encontró fn de demora por vehículo, como fn. de  $v$  (volumen),  $c$  (capacidad),  $g$ ,  $C$  y  $s$ .
- ◆ Objetivo: minimizar demoras
- ◆ Fórmulas empíricas que se aproximan al óptimo encontrado por Webster

# Semáforos actuados y detección



# Semáforos actuados y detección

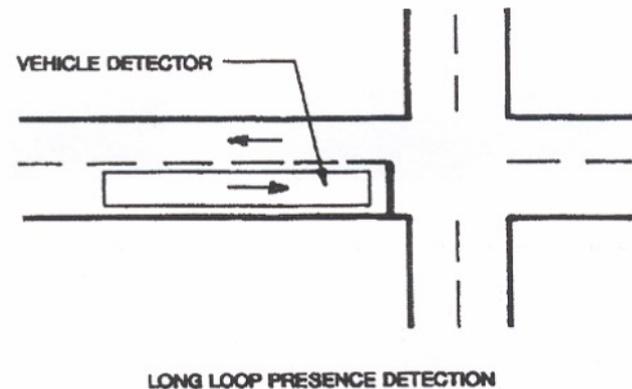
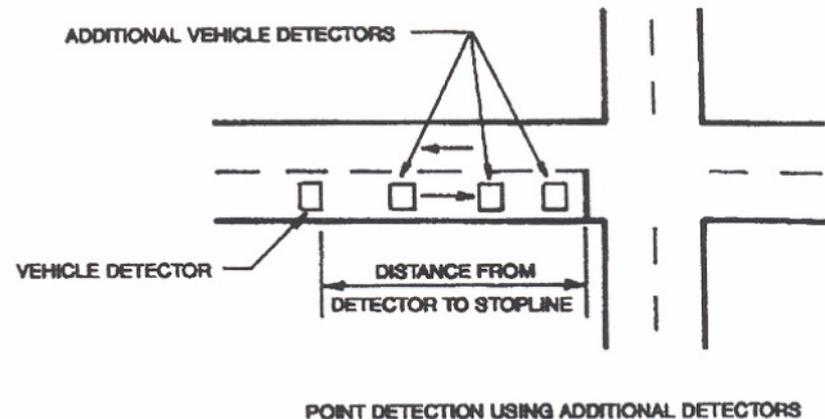
- ◆ Control actuado utiliza información de operaciones y demanda que ocurren en tiempo real, obtenida de detectores dentro de la intersección, y que alteran uno o más aspectos de los repartos bajo una bases ciclo a ciclo.
- ◆ Controladores actuados se programan para acomodar:
  - Secuencias variables de fase.
  - Tiempos de verde variables dentro de cada fase.
  - Largo de ciclo variable, causado por tiempos de verde variables.

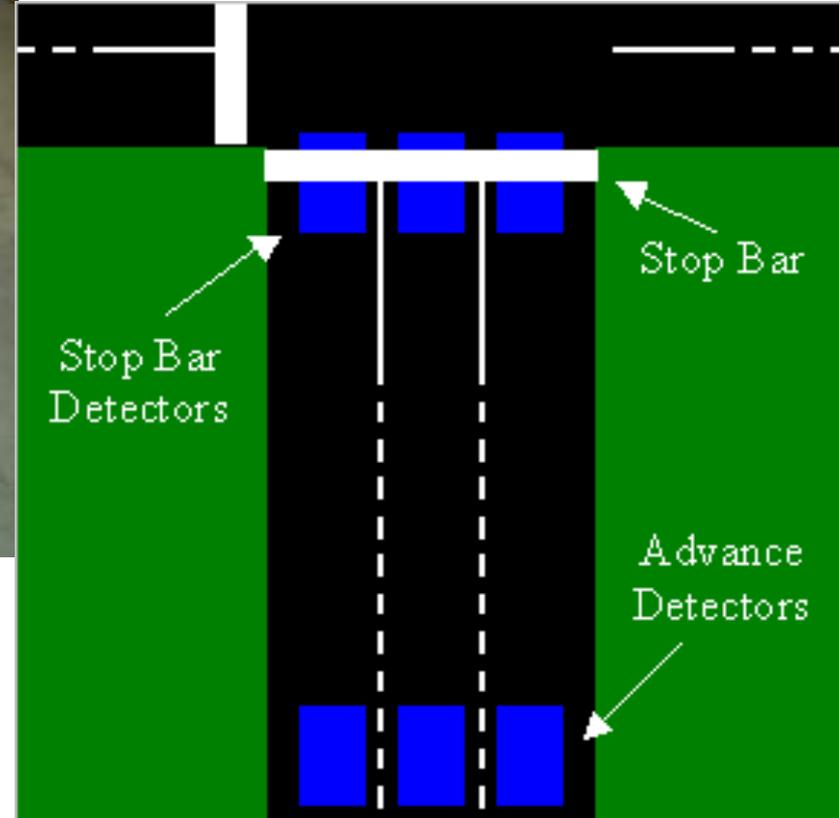
# Semáforos actuados y detección

- ◆ Control semi-actuado.
- ◆ Control completamente actuado.
- ◆ Control volumen-densidad: similar al anterior pero con detección más precisa de la demanda.

# Semáforos actuados y detección

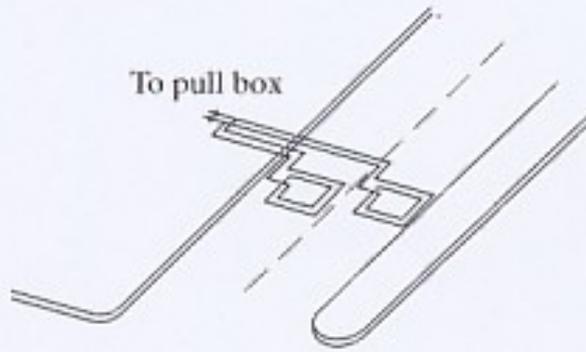
- ◆ Detección para intersecciones actuadas:
  - Passage o Point detection
  - Presence o Area detection: long induction loop





- Inductive loop
- Microloop
- Magnetic

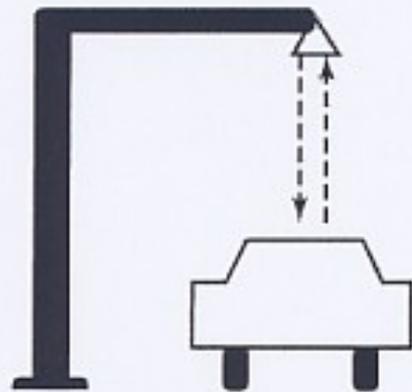
# Loop detector and Ultrasonic detector



(a) Loop Detector Installation



(b) Loop Detector at Intersection



(c) Ultrasonic Detector Operation



(d) Ultrasonic Detector Unit

# Características del control actuado y operación

- ◆ Tiempo de verde mínimo ( $G_{\min}$ )
- ◆ Intervalo de tiempo de travesía (Unit or vehicle extension, U)
  - Permite a un vehículo viajar entre el detector y la línea de detención.
  - Define el gap máximo entre vehículos que permita retener una fase en verde.
  - Representa la cantidad de tiempo agregado a la fase de verde cuando una actuación adicional es recibida dentro de la unidad de extensión U.

# Características del control actuado y operación

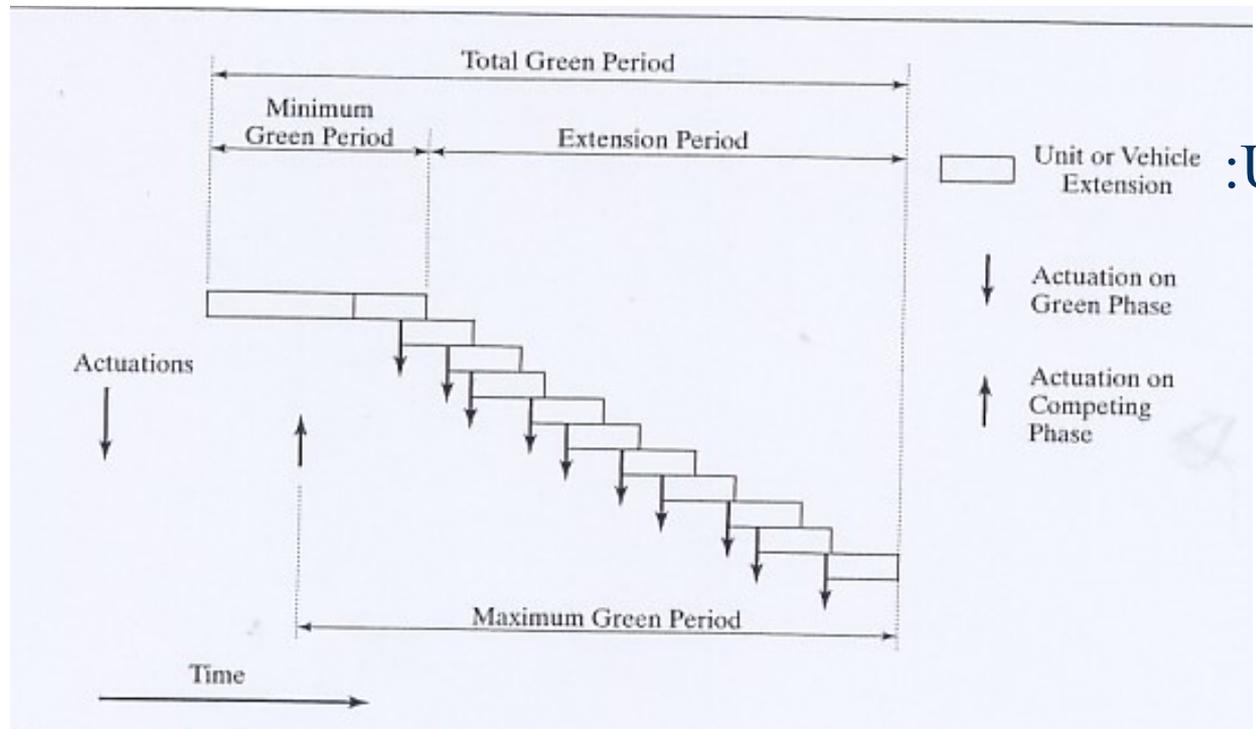
- ◆ Máximo tiempo de verde ( $G_{\max}$ )
  - Este tiempo empieza a contarse cuando una actuación ocurre e alguna fase que le compite.
- ◆ Recall switches
  - Determina que ocurre con el semáforo cuando no hay demanda.
- ◆ Amarillo y Rojo-Rojo (cambio + clearance) se establecen fijos tal como en señales preestablecidas
- ◆ Intervalos para peatones (WALK, Celarence, DON'T WALK). En señales actuadas, dado que el tiempo de verde no es conocido, se establecen de acuerdo con verde mínimo de cada fase (botoneras)

# Características del control actuado y operación

- ◆ Controladores volumen-densidad: usados en intersecciones con velocidades de aproximación altas ( $\geq 45$  mi/hr.) y con la instalación de detectores de área.
  - Verde mínimo variable (para ser capaz de servir a toda la cola que se va a descargar)
  - Reducción de gap: requiere 4 medidas ( $U_1, U_2, t_1, t_2$ )

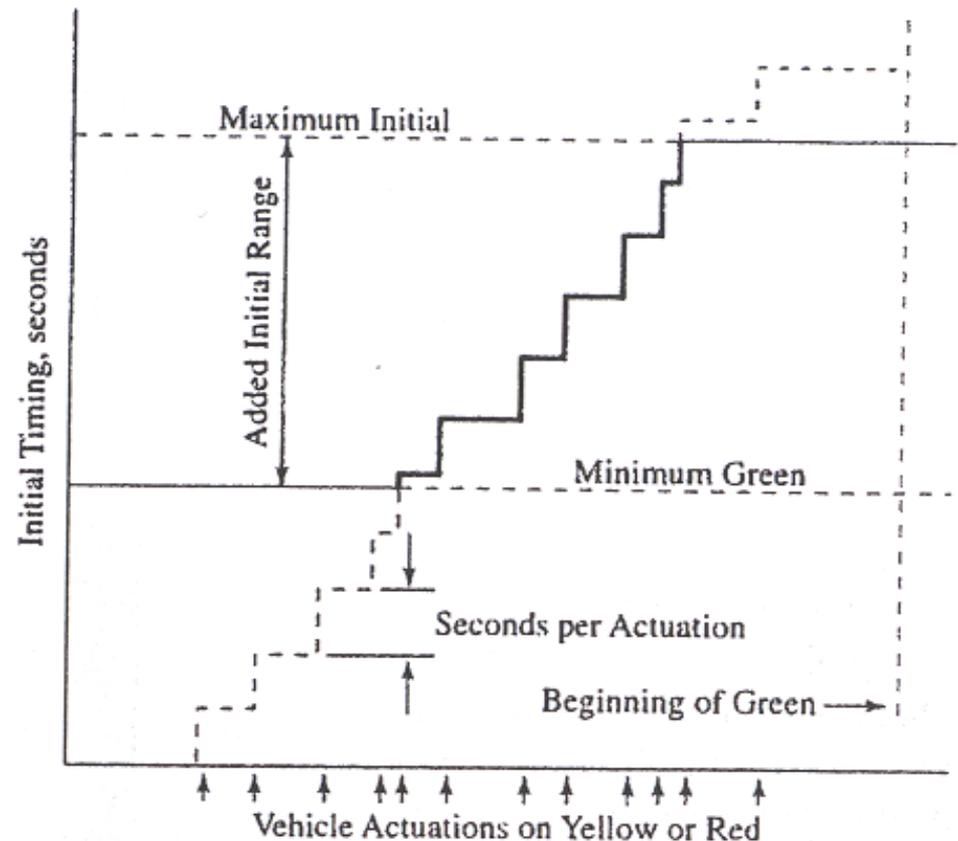
# Características del control actuado y operación

- ◆ Verde termina si: tiempo de travesía transcurre sin actuación adicional o porque se alcanza verde máximo y hay una llamada por la otra fase
- ◆ Largo de la fase se restringe al rango entre mínimo y máximo verde.
- ◆ Máximo verde podría ser violado sólo si el recall switch de la siguiente fase está en "off".



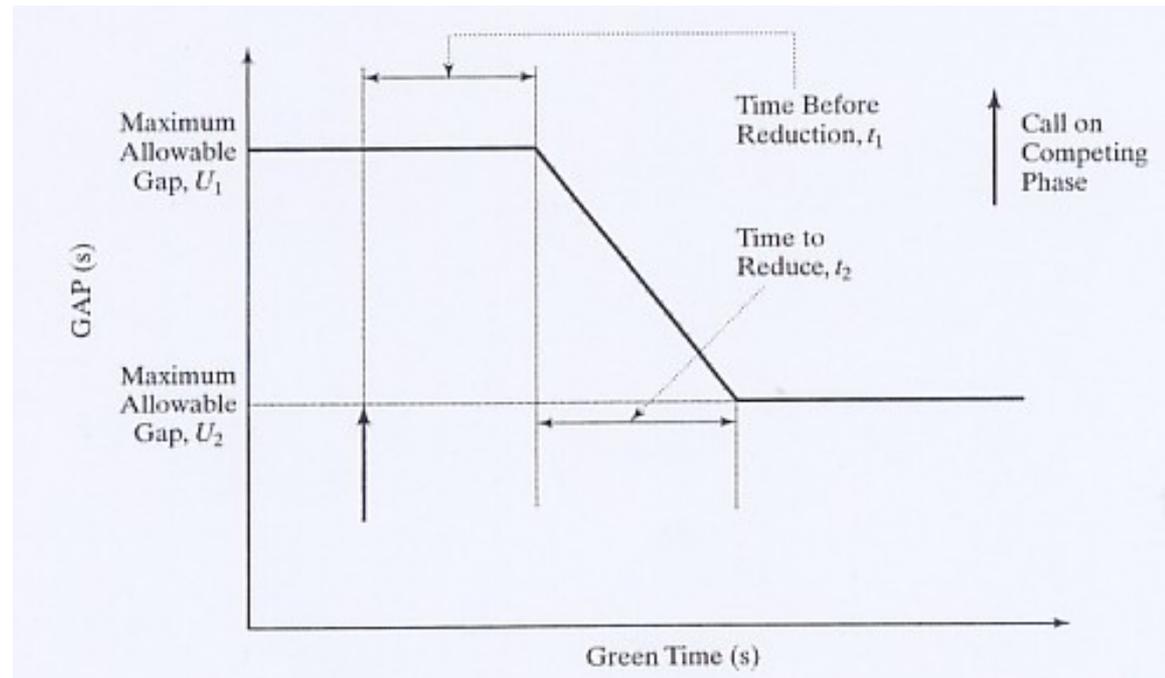
# Controladores volumen-densidad

- ◆ Initial timing variable: verde mínimo + segundos por actuación + intervalo inicial máximo
- ◆ Setting de segundos por actuación define en cuanto aumento el verde mínimo inicial por cada actuación almacenada
- ◆ Verde mínimo se deja en rango de 5 a 8 segundos
- ◆ Máximo intervalo inicial define el fin absoluto del verde mínimo total



# Controladores volumen-densidad: Reducción de gap

- ◆ Controladores volumen-densidad se usan en conjunto con detectores localizados aguas arriba lejos de la intersección
- ◆ Aminora el efecto de sobreestimación de tiempos de travesía: gap mínimo ineficiente para retener fase en verde
- ◆ En este caso, tiempo de travesía y gap mínimo deseable se establecen separadamente, y el controlador gradualmente reduce el gap mínimo (desde  $U_1$ ) hasta alcanzar valor deseable ( $U_2$ ).



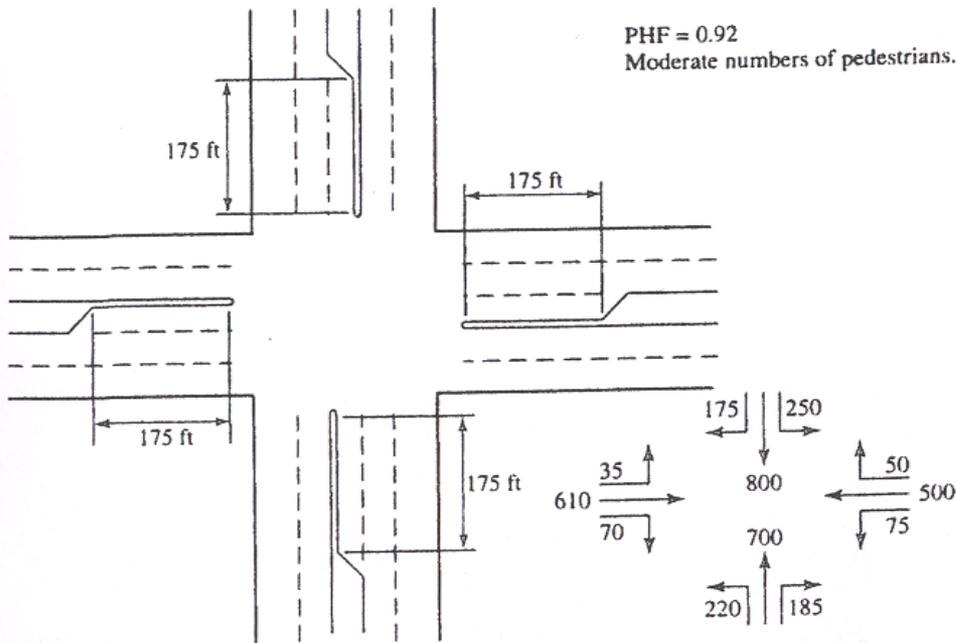


# Determinación de tiempos de semáforo y diseño de intersecciones actuadas

# Diseño de fase

- ◆ Se establecen de igual forma que en el caso de señales pre-establecidas
- ◆ Entregan mayor flexibilidad en secuencia de fases en caso de controladores actuados
- ◆ Fases para virajes izquierda (flujo bajo) podrían saltarse cuando no hay detección de tal demanda

# Ejemplo Diseño de fase



$\Phi A$		
	231	263
$\Phi B$		
	472	516
$\Phi C$		
	140	283
	351	375

$$V_c (A) = 263 \text{ tcu's}$$

$$V_c (B) = 516 \text{ tcu's}$$

$$V_c (C) = 375 \text{ tcu's}$$

$$V_c = \frac{263}{516}{375} = 1,154 \text{ tcu's}$$

# Control actuado de ocho fases

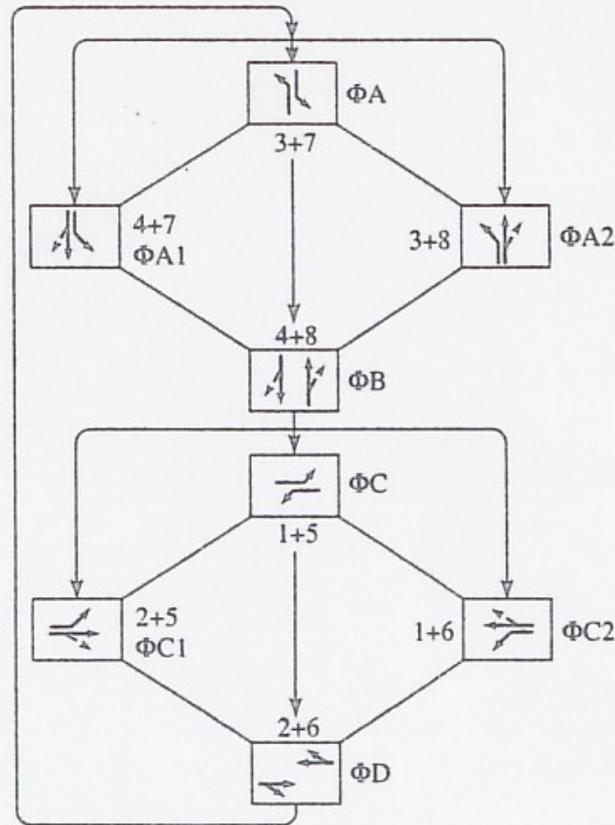
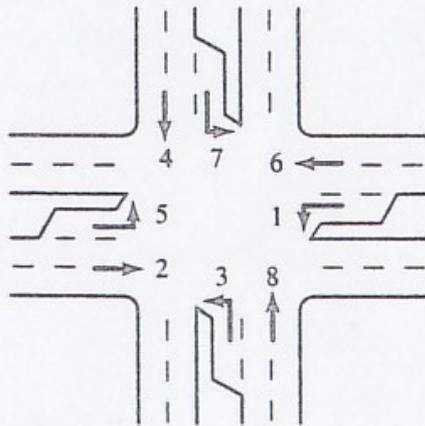


Figure 17-5 An eight-phase, actuated phase plan (with NEMA numbering) illustrated.

# Tiempo de verde mínimo

$$G_{\min} = \ell_1 + \left[ 2 \times \text{Integer} \left( \frac{d}{20} \right) \right]$$

- ◆  $G_{\min}$ : Intervalo inicial (segundos)
- ◆  $d$ : distancia entre detector y línea de parada (ft)
- ◆ 20: distancia asumida entre vehículos en cola (ft)
- ◆  $\ell_1$  : tiempo de partida asumido (2.0 a 4.0 segs.)
- ◆ 2: Frecuencia de saturación asumida (seg.)

Caso de detectores de area o presencia (n vehículos en cola)

$$G_{\min} = \ell_1 + 2n$$

# Extensión unitaria (Tiempo de travesía y gap permitido)

$$U \geq P = \frac{d}{1.47 \cdot S_{15}}$$

- ◆ U: unit extension
- ◆ P: tiempo de travesía (seg.)
- ◆ D distancia desde el detector al la línea de parada (ft.)
- ◆  $S_{15}$  15% percentil de velocidad de vehiculos aproximándose (mph)
  
- ◆ Notar que el tiempo de travesía son usados para establecer el gap máximo entre vehículos en el detector para retener el verde. En casos donde tal gap resulte inapropiadamente bajo, se aumenta arbitrariamente hasta un valor aceptable.

# Estrategias de localización de detectores

- ◆ Dos estrategias para localizar detectores:
  - Ubicar detector para que se alcance un tiempo de verde mínimo deseado
  - Ubicar detector tal que el passage time a línea de detención iguale  $U$ .
- ◆ Límite práctico para tiempo de verde mínimo es 4.0 a 6.0 segs ( $\ell_1 + 2.0$ )

- ◆ Situación 1: asuma  $G_{\min} = 6.0$  segs

$$G_{\min} = 6.0 = 4.0 + 2 \cdot \text{Int}(d/20)$$

$$\text{Int}(d/20) = \frac{6.0 - 4.0}{2} = 1.0$$

Detector puede localizarse entre 0.1 y 20 ft de línea de detención

# Estrategias de localización de detectores

- ◆ Situación 2: En una aproximación a una intersección actualda, un detector será instalado tal que la unidad de extensión de 3.5 segs iguale el passage time (asuma  $S_{15} = 40$  mph)

$$U = 3.5 = \frac{d}{1.47 \cdot 40}$$

$$d = 3.5 \cdot 1.47 \cdot 40 = 205.8 \text{ ft}$$

Desventaja de este enfoque es que puede dejar muy altos los tiempos de verde mínimo (se usa en situaciones donde verde mínimo puede modificarse)

$$G_{\min} = 4.0 + 2 \cdot \text{Int}(205.8/20) = 26.0 \text{ s}$$

# Tiempo de verde máximo, y tiempo de cambio y clearance

- ◆ Generalmente establecidos a partir de largo de ciclo óptimo y repartos como si el controlador fuera preestablecido.
- ◆ Modelo HCM (se explicará en ejemplos).
- ◆ Verde máximo: se incrementa el verde preestablecido, amplificando este valor por un factor 1.25 a 1.50

# Requerimiento para peatones

- ◆ De igual forma que en control preestablecido
- ◆ Problema: mínimo verde muy rara vez acomoda cruce de peatones en forma segura
- ◆ Se incorpora botoneras para peatones, y una fase actuada específica para peatones
- ◆ Semáforos actuados son inapropiados cuando existe un número significativo de peatones en la intersección

Pedestrian Signals	Walk (4⇒7 sec)	Flashing DON'T WALK	DON'T WALK	
Traffic Signals	Green		Yellow	Red